

# รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัย

ISBN: 974-656-072-7

## การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลอง การเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย

อรรถชัย จันทะนา และ เจลินพล ไหลรุ่งเรือง  
เขษณาภิบาล

สนับสนุนโดยโครงการทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)  
Supported by Thailand Research Fund (TRF)



วิทยาลัยเชียงใหม่

วิทยาลัยขอนแก่น

วิชาการเกษตร



ICASA

องค์การนาชาติในการวิจัยเชิงระบบ

## สารบัญ

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| คำนำ.....                            | ๓ |
| บทนำ.....                            | ๔ |
| คำนิยาม.....                         | ๕ |
| คณะผู้วิจัย.....                     | ๖ |
| คำย่อ.....                           | ๗ |
| สรุปความก้าวหน้าสำหรับผู้บริหาร..... | ๘ |
| คำถามในการวิจัย.....                 | ๙ |

### ส่วนที่ 1: การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลอง

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| แนวคิดและหลักการ.....                                                 | 2   |
| โครงสร้างงานทดลองวันปลูกอ้อยชุดที่หนึ่งและสอง.....                    | 16  |
| การทดลองวันปลูกอ้อยชุดที่หนึ่งและสอง ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี..... | 20  |
| การทดลองวันปลูกอ้อยชุดที่หนึ่งและสอง มหาวิทยาลัยขอนแก่น.....          | 32  |
| การทดลองวันปลูกอ้อยชุดที่หนึ่งและสอง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.....        | 44  |
| พัฒนาการของอ้อย.....                                                  | 56  |
| ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมและพัฒนาการของอ้อย.....                 | 66  |
| การตอบสนองของอ้อยที่มีต่อความหนาแน่นของพืช.....                       | 76  |
| ชนิดของเชื้อที่ติดมากับท่อนพันธุ์อ้อย.....                            | 88  |
| PCR-RAPD: A GENETIC TOOL FOR SUGARCANE RESEARCH.....                  | 96  |
| การวิเคราะห์หาปริมาณซูโครส (SUCROSE) ในน้ำอ้อย.....                   | 98  |
| แบบจำลองอ้อย THAICANE 1.0.....                                        | 102 |

### ส่วนที่ 2: การทำแผนที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| แนวคิดและหลักการ.....                        | 114 |
| วิธีการวิจัย.....                            | 120 |
| กรณีศึกษาระวางน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น.....     | 128 |
| กรณีศึกษาระวางอุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี..... | 132 |
| ระบบการผลิตอ้อยในตำบลโนนท่อน.....            | 152 |

## สารบัญ (ต่อ)

### ส่วนที่ 3: การประมาณผลผลิตย่อยในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้โปรแกรม THAISIS 1.0

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| แนวคิดและหลักการ .....          | 162 |
| ระบบฐานข้อมูล THAISIS 1.0 ..... | 166 |

### ส่วนที่ 4: การขยายหลักการ

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| หลักการของอักษรสัมพันธ์และหนังสือ ..... | 172 |
| หนังสือสารานุกรมย่อย CANEFOPIA .....    | 176 |
| โครงสร้างการฝึกอบรม THAISIS 1.0 .....   | 182 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| เอกสารอ้างอิง ..... | 187 |
| ภาคผนวก .....       | 191 |

## คำนำ

องค์กรวิจัยจำเป็นต้องมีโครงสร้างพื้นฐานที่สนับสนุนให้กิจกรรมการวิจัยได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องในทิศทางที่กำหนดขึ้น โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญประกอบด้วยโครงสร้างทางกายภาพและคุณภาพทางวิชาการและจริยธรรมของทรัพยากรบุคคลในองค์กร โครงสร้างพื้นฐานนี้เป็นพลังขับเคลื่อนที่สำคัญต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของงานวิจัยต่อสังคมในช่วงเวลาที่กำหนด

ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ปรับใช้แนวทางระบบศาสตร์ในการวิจัยเกี่ยวกับระบบพืช ระบบฟาร์มและระบบเกษตร ตลอดจนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติเพื่อพัฒนาการเกษตรตามลำดับ กลุ่มนักวิจัยภายในศูนย์วิจัยฯ ได้ร่วมกันปรับใช้และพัฒนาวิธีการใหม่ ๆ ที่จะตอบคำถามซึ่งจะนำไปสู่การปฏิบัติทั้งแนวนโยบายและขั้นตอนการดำเนินงานได้ หนึ่งในวิทยากรนี้คือ การนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการวิจัยและพัฒนาการเกษตร ซึ่งศูนย์วิจัยได้เริ่มพัฒนางานนี้มาตั้งแต่ปลายทศวรรษที่ 80 และได้เติบโตจนสามารถก้าวนำไปใช้ในการเรียนการสอนระดับปริญญาโท ตลอดจนการวิจัยเพื่อพัฒนา หลังจากปี 1992 เป็นต้นมา เมื่องานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบการสนับสนุนการตัดสินใจได้รวมตัวเป็นหน่วยวิจัยย่อยเกิดขึ้นในศูนย์วิจัยฯ

โครงการวิจัย “การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย” เป็นโครงการแรกภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัยฯ ที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยเพื่อใช้แก้ปัญหาการคาดการณ์ของผลผลิตอ้อยในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่แปลงจนถึงภูมิภาคและประเทศอย่างเป็นระบบ โดยวิธีการแบบจำลองพืช ระบบข้อมูลระยะไกล และสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยมีสามสถาบันภายในประเทศดำเนินการร่วมกันได้แก่ ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สังกัดสถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ความสำคัญของโครงการนี้ ประการแรกได้แก่ การแก้ไขปัญหาการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยด้วยแนวทางระบบศาสตร์โดยปรับใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ของการวิจัยเกษตรไทย ประการที่สองคือ การพัฒนาเครือข่ายวิจัยระหว่างสถาบันการศึกษาและกรมวิชาการเกษตรอย่างเป็นรูปธรรมมาก ยิ่งขึ้น นอกจากนี้โครงการวิจัยนี้ยังได้สนับสนุนงานวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาโทในสาขาวิชาเกษตรศาสตร์เชิงระบบและสาขาวิชาพืชไร่ ซึ่งทั้งหมดเป็นกระบวนการการเรียนรู้ในด้านพัฒนาสาระทางวิชาการ พัฒนาเครือข่ายงานวิจัยและเพิ่มทักษะการวิจัยด้วย

ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตรมีความภูมิใจที่ได้มีส่วนร่วมในกระบวนการสร้างสรรพัฒนางานวิจัยแนวทางใหม่นี้ด้วย

พฤกษ์ ยิบมันตะศิริ

รองผู้อำนวยการศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## บทนำ

รายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้เป็นรายงานเล่มแรกในประเทศไทยที่เสนอแนวคิด หลักการ และผลการวิจัยตามวิธีการของแบบจำลองพืชและการจำลองสถานการณ์ (crop modeling & simulation) เทคนิคข้อมูลระยะไกล (remote sensing) และสื่อดิจิทัล (multimedia) เป็นรายงานที่รวบรวมผลการวิจัยของคณะวิจัยจาก กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะผู้วิจัยเชื่อว่าผลการวิจัยนี้จะเป็นก้าวเล็กๆ ก้าวหนึ่งสำหรับการวิจัยทางเกษตรในประเทศไทย เป็นก้าวของการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการวิจัยทางเกษตร ซึ่งจะทำให้งานวิจัยมีความแม่นยำมากขึ้น สามารถตรวจสอบได้ และประการสำคัญเป็นการวิจัยเพื่อมุ่งแก้ปัญหาในทางปฏิบัติของอุตสาหกรรมอ้อยน้ำตาล เพื่อการประมาณการผลิตอ้อยในระดับต่าง ๆ ของการผลิตอย่างเป็นระบบ โดยการรวบรวมอิทธิพลของสภาพดินฟ้าอากาศที่มีต่อการผลิตอ้อยให้อยู่ในรูปแบบเชิงปริมาณให้มากที่สุด

รายงานฉบับนี้แบ่งออกเป็นสี่ส่วน ส่วนแรกรายงานผลการทดลองที่ทำการจัดเก็บข้อมูลสำหรับการพัฒนาการทดลองแบบจำลองอ้อย ส่วนที่สองรายงานผลการศึกษาวិธีการทำแผนที่แบบ digital จากข้อมูลดาวเทียม ส่วนที่สามเกี่ยวกับระบบเชื่อมโยงฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ เชิงอรรถ และแบบจำลองอ้อยเพื่อสนับสนุนการประมาณการผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ และส่วนที่สี่เกี่ยวกับการขยายแนวความคิด วิธีการวิจัย และผลการวิจัยโดยแนว modeling & simulation, remote sensing, และ multimedia ในประเทศไทย

## บรรณาธิการ

**อรรถชัย จินตะเวช**

ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์  
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์**

ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง**

ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี อู่ทอง สุพรรณบุรี

## คำนิยม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่พิจารณาเห็นความสำคัญของการวิจัยโดยวิธีการแบบ system modeling & simulation ทางเกษตร และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม

ในระดับนโยบาย คณะผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก ดร. วิจิตร เบญจสลิ อธิบดีกรมวิชาการเกษตร และคุณณรงค์ศักดิ์ เสนาณรงค์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร รศ. ดร. อารันต์ พัฒนอินทร์ คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รศ. ดร. พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ อ.พฤษัช ยิบมันตะศิริ รองผู้อำนวยการศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ในระดับแปลงทดลอง คณะผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายไร่ของศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร เจ้าหน้าที่ฝ่ายไร่ของหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สถาบันวิจัยและฝึกอบรมแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ เจ้าหน้าที่ฝ่ายไร่สถานีวิจัยเกษตรชลประทาน ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ในวิชาการและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์บางส่วน คณะผู้วิจัย ได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก อ.ดร.เมธิ เอกะสิงห์ และเจ้าหน้าที่ของหน่วยวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางเกษตร ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้แก่ คุณพนมศักดิ์ พรหมบุญมย์ คุณจุไรพร แก้วทิพย์ และคุณมณฑนา เหมยน้อย

ในระดับส่วนตัว กิจกรรมที่ผ่านมาได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากครอบครัวของคณะผู้วิจัย เจ้าหน้าที่โครงการ คุณภาวิดา สุดใจ และเจ้าหน้าที่ในสำนักงานเลขานุการของศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทุกท่าน

ในระดับนานาชาติ คณะผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนด้านวิชาการจาก Drs. Goro Uehara และ Gordon Y. Tsuji มหาวิทยาลัยฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา

คณะผู้วิจัยโครงการ พทอ.

กรกฎาคม 2540

## คณะผู้วิจัย

|                         |                                                                                                                              |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง    | นักบริหาร ผู้อำนวยการ ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี อ.อุททอง จ.สุพรรณบุรี                                                       |
| ถาวร อ่อนประไพ          | นักวิชาการสำรวจข้อมูลระยะไกล ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                           |
| ทินกร กลมสอาด           | นักวิจัยโครงการ ประจำสถานีมหาวิทยาลัยขอนแก่น (กค 2537 - กย 2539)                                                             |
| นิพนธ์ เอี่ยมสุภาษิต    | นักปรับปรุงพันธุ์พืช ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี อ.อุททอง จ.สุพรรณบุรี                                                        |
| บุญมี ศิริ              | นักสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น                                                           |
| ปรัชญา นาสวยวงศ์        | นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเกษตรศาสตร์เชิงระบบ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                                                           |
| ปรีชา พรหมณีย์          | นักวิชาการปฐพีวิทยา ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี อ.อุททอง จ.สุพรรณบุรี                                                         |
| ผาสุข ถัมรุ่งเรืองรัตน์ | นักวิจัยโครงการ ประจำสถานีศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี                                                                         |
| ภาวิดา สุดใจ            | เลขานุการโครงการ พทอ. (ตั้งแต่ กค 2538)                                                                                      |
| ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา    | นักวิชาการนิเวศวิทยาของพืชและการจำลองระบบ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                                  |
| ศิริทิพย์ พรหมฤทธิ์     | นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเกษตรศาสตร์เชิงระบบ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                                                           |
| สุวิทย์ เลานศิริวงศ์    | นักปรับปรุงพันธุ์พืชและการจำลองระบบ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น                                          |
| อรรถชัย จินตะเวช        | นักวิชาการแบบจำลองพืชและการจำลองระบบ ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (หัวหน้าโครงการฯ) |
| อ้อยทิณ จันทร์เมือง     | นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                                                                        |
| อัปสร เปลี่ยนสินไชย     | นักวิชาการโรคพืช ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี อ.อุททอง จ.สุพรรณบุรี (ตั้งแต่ พย 2539)                                          |
| อิสริ เก่งนอก           | นักวิจัยโครงการ ประจำสถานีมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ตั้งแต่ มค 2540)                                                               |
| Gernt Hoogenboom        | System Agronomist and Assoc. Prof., University of Georgia at Griffin, USA                                                    |
| Danial T. Imamura       | Programmer/Computer specialist, University of Hawaii, USA                                                                    |
| N. Geoff Inman-Bamber   | Senior Agronomist, South African Sugar Association Experiment Station, South Africa.                                         |
| Jim W. Jones            | Professor of Agricultural Engineer, University of Florida, USA.                                                              |
| Gregory A. Kiker        | Agronomist, Dept. of Agricultural Engineering, University of Natal, Republic of South Africa                                 |
| Richard M. Ogoshi       | System Agronomist, University of Hawaii, USA.                                                                                |
| Phillip Thornton        | Farm economist, International Fertilizer Development Center., USA.                                                           |
| Gordon Y. Tsuji         | Soil Science & IBSNAT Project Manager, University of Hawaii, USA.                                                            |
| Paul K. Wilkens         | International Fertilizer Development Center, USA.                                                                            |

## คำย่อ

|              |                                                                          |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ศ.วร.        | ศูนย์วิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร                                         |
| พทอ.         | โครงการวิจัย การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย |
| ตร.กม.       | ตารางกิโลเมตร                                                            |
| CCT          | Computer Compatible Tape                                                 |
| CD-ROM       | Compact disc Read Only Memory                                            |
| CERES        | Crop-Environment Resource Synthesis                                      |
| CMU          | Chiang Mai University                                                    |
| DAE          | Days after emergence                                                     |
| DoD          | The US. Department of Defense                                            |
| DSSAT        | Decision Support System for Agrotechnology Transfer                      |
| EDP          | Electronic Data Processing                                               |
| GCP          | Ground Control Points                                                    |
| GDD          | Growing Degree Days                                                      |
| GIS          | Geographic Information System                                            |
| GPS          | Global Positioning System                                                |
| HRV          | High Resolution Visible                                                  |
| IBSNAT       | International Benchmark Site Network for Agrotechnology Transfer         |
| ICASA        | International Consortium for Agricultural Systems Applications           |
| IT           | Information Technology                                                   |
| K            | K 84-200 sugarcane cultivar                                              |
| KKU          | Khon Kaen University                                                     |
| MMS          | Multiplespectral                                                         |
| NAVSTAR      | NAVigation, Satellite, Timing And Ranging (NAVSTAR)                      |
| PPS          | Precise Positioning Service                                              |
| RADAR        | Radio detector and ranging                                               |
| RMS Error    | Root Mean Square Error                                                   |
| RS           | Remote sensing                                                           |
| SARP         | Simulation and systems analysis for rice production                      |
| SP           | Suphan Buri Field Crop Research Center                                   |
| SPS          | Standard Positioning Service                                             |
| TBASE        | Base temperature                                                         |
| ThaiCane 1.0 | Thailand sugarcane growth model                                          |
| ThaiSIS 1.0  | Thailand Sugarcane Information System                                    |
| TM           | Thematic mapper                                                          |
| U            | U-Thong 2 sugarcane cultivar                                             |

## สรุปความก้าวหน้า (15 ก.ค. 2537 - 14 ก.ค 2540)

### ปัญหาที่โครงการเน้น

การประเมินผลผลิตย่อยในประเทศในปัจจุบันยังมีความคลาดเคลื่อนจากรายงานผลผลิตจริง จึงเน้นการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาดังกล่าว

### แนวการวิจัย และ ผลการวิจัย

#### ส่วนที่ 1: การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองย่อย

- ติดตามและเก็บข้อมูลงานทดลองย่อยชุดที่หนึ่งและชุดที่สองในสามสถานี
- ติดตามและเก็บข้อมูลงานทดลองเรื่องพัฒนาการของใบย่อย
- ดำเนินการปลูก ติดตามและเก็บข้อมูลงานทดลองเรื่อง fan design
- ศึกษาความสัมพันธ์ของสภาพแวดล้อมและพัฒนาการของย่อย
- ได้แบบจำลองย่อย ThaiCane1.0

#### ส่วนที่ 2: พัฒนาวิธีการในการแปลภาพถ่ายดาวเทียม

- พัฒนารูปแบบการแปลข้อมูลจากดาวเทียมเพื่อผลิตแผนที่พื้นที่การปลูกย่อย
- สำรวจพื้นที่การปลูกย่อยในตำบลโนนท่อน อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น และตำบลกระเจียน อำเภอยุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ด้วยระบบ GPS
- ได้วิธีการแปลภาพถ่ายดาวเทียมและระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ในสองพื้นที่ดังกล่าว

#### ส่วนที่ 3: พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ค้นแบบชื่อ ThaiSIS 1.0 เพื่อเชื่อมโยงฐานข้อมูล

- พัฒนาโปรแกรมเชื่อมโยงฐานข้อมูลเชิงพื้นที่และฐานข้อมูลเชิงพรรณนาแบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0
- พัฒนาและได้คู่มือแบบการใช้งานโปรแกรม ThaiSIS 1.0 เพื่อคาดการณ์ผลผลิตย่อย
- พัฒนาและได้คู่มืออ้างอิงแบบการใช้งานโปรแกรม ThaiSIS 1.0 เพื่อคาดการณ์ผลผลิตย่อย

#### ส่วนที่ 4: พัฒนารูปแบบและจัดฝึกอบรม

- พัฒนาเอกสารบางส่วนเพื่อใช้ประกอบการบรรยายในโครงสร้างการฝึกอบรม ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการผลผลิตย่อยในประเทศไทย
- พัฒนาโครงสร้างของสื่อ (multimedia) สำหรับโรคย่อย พันธุ์ย่อย และการจัดการ
- จัดทำ homepage ของโครงการเพื่อให้ผู้ใช้งานระบบ internet WWW ทั่วโลกสามารถ access ความก้าวหน้าของงานโครงการได้ที่ URL <http://mcc.aggie.cmu.ac.th/Cane1.html>

## คำถามในการวิจัย

อ้อย (*Saccharum officinarum* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศ ในแต่ละปีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยได้พยายามคาดการณ์ผลผลิตอ้อยของประเทศ ด้วยวิธีการทางสถิติต่าง ๆ แต่พบว่ามีความเหลื่อมล้ำระหว่างตัวเลขที่ได้จากการประมาณและตัวเลขการผลิตจริง ปัญหาหลักปัญหานึงของวิธีการคำนวณทางสถิติ คือไม่ได้นำปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการผลิตพืช เช่น พัฒนาการของพืช ปริมาณน้ำฝน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดิน การระบาดของโรคและแมลง เป็นต้น เข้ามาประกอบการคำนวณ ปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการให้ผลผลิตและน้ำตาลของอ้อย และเป็นปัจจัยที่มีความแปรปรวนสูง

นอกจากนี้ วิธีการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศขั้นมูลฐานในการจัดเก็บข้อมูลและการประมวลผล คือเทคโนโลยีสารสนเทศประเภท EDP ซึ่งเน้นการจัดเก็บและการใช้ข้อมูลเป็นกิจกรรมหลักของเทคโนโลยี ในทางตรงกันข้าม การคาดการณ์ผลผลิตอ้อยต้องการเทคโนโลยีสารสนเทศที่เน้นความต้องการของผู้ใช้งานเป็นหลัก นั่นคือเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ข้อมูลที่มีอยู่ประกอบการจัดการทรัพยากรและสนับสนุนการตัดสินใจในการผลิตอ้อย โดยถ้ามีความยืดหยุ่นเพื่อสะดวกต่อการปรับปรุงระบบฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอ้อยซึ่งมีข้อมูลในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ รวมทั้งต้องเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศที่รวมแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยซึ่งได้รับการพัฒนาจากงานวิจัยพื้นฐาน แบบจำลองอ้อยจะเอื้อให้ผู้ใช้งานระบบสามารถประเมินผลผลิตอ้อยในแต่ละฤดูและแต่ละพื้นที่โดยมีพื้นฐานจากข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศเกษตร ข้อมูลการผลิตอ้อย และข้อมูลเฉพาะของพันธุ์อ้อย ซึ่งจะทำให้การประเมินผลผลิตอ้อยของผู้ผลิตอ้อยในแต่ละระดับมีความแม่นยำมากขึ้น สามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้ และสามารถปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นได้อย่างเป็นระบบตามความต้องการของผู้ใช้ในอนาคต

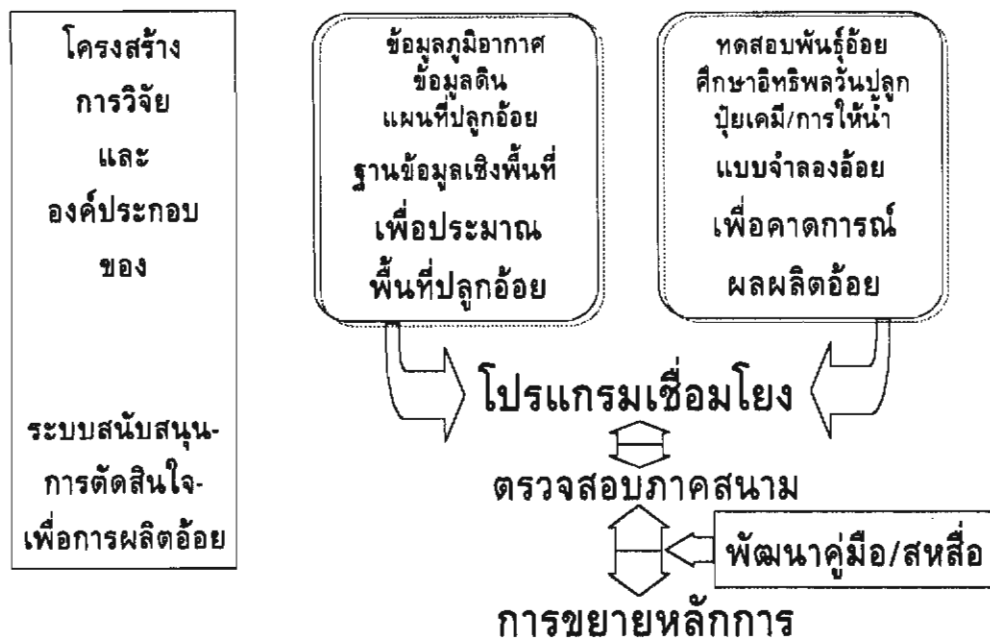
คำถามแรกที่โครงการ พทอ. เน้นคือจะนำปัจจัยการผลิตที่ได้กล่าวมาแล้วประกอบการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยได้อย่างไร ในระยะแรกเน้นความสามารถที่จะคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในแต่ละฤดูการผลิตของพันธุ์อ้อยหลักบางพันธุ์ การตอบคำถามส่วนนี้โครงการ พทอ. ได้ให้ความสนใจที่จะพัฒนาและทดสอบแบบจำลองอ้อยที่มีพื้นฐานจากความเข้าใจด้านวิทยาศาสตร์เกษตร รวมทั้งพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลปัจจัยการผลิตเพื่อเอื้อต่อการประเมินผลผลิตอ้อยในพื้นที่การผลิตจริง

คำถามส่วนที่สอง คือ จะประมาณพื้นที่การผลิตอ้อยในแต่ละฤดูและแต่ละพื้นที่ได้อย่างไร โครงการฯ ให้ความสนใจการใช้ข้อมูลดาวเทียม และเน้นพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตแผนที่ปลูกอ้อยจากภาพถ่ายดาวเทียม และเป็นแผนที่ที่ผู้ใช้สามารถนำไปประกอบการประเมินผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดกว้างร่วมกับแบบจำลองอ้อย

## แนวทางการวิจัย

แนวทางการวิจัยของโครงการ พทอ. ได้ออกแบบเพื่อนำมาซึ่งการแก้ปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นนั้น ประกอบไปด้วยกิจกรรมสี่ส่วน (รูปที่ 1) คือ

รูปที่ 1: แนวการวิจัยของโครงการ พทอ. (Project's research framework)



ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- 1) การพัฒนาและทดสอบแบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อย
- 2) การพัฒนาวิธีการในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อผลิตแผนที่การปลูกอ้อยในพื้นที่ที่สนใจ
- 3) การพัฒนาโปรแกรมเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลองอ้อยและฐานข้อมูลเชิงพื้นที่
- 4) การเผยแพร่ผลงานการวิจัยและการขยายหลักการวิจัยแบบ modeling แนววิจัยของโครงการฯ เน้นการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อสนับสนุนการวิจัย

#### ส่วนที่ 1: การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองอ้อย

โครงการฯ เน้นการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย โดยให้ความสนใจการพัฒนาการของประเด็นต่าง ๆ ในการผลิตอ้อย การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตต่าง ๆ โดยสมการคณิตศาสตร์ และอธิบายในระดับกระบวนการ (process-oriented) ทั้งนี้ให้ความสนใจผลงานเหล่านี้ของหน่วยงานทั้งในและต่างประเทศ งานย่อยส่วนหนึ่งคือการประสานงานกับนักวิชาการอ้อยในและต่างประเทศเพื่อสืบค้นให้ทราบถึงความก้าวหน้าและพัฒนาการของการสร้างแบบจำลองอ้อย โดยมีหน่วยเชื่อมโยงที่มหาวิทยาลัยฮาวาย โครงการฯ ได้ตัดสินใจร่วมพัฒนาและทดลองแบบจำลองอ้อย CANEGRO ซึ่งโปรแกรมต้นแบบได้รับการพัฒนาโดย Dr. Inman-Bamber เพื่อใช้ในการจัดการน้ำชลประทานของอ้อยในประเทศอัฟริกาใต้ ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับการผลิตอ้อยในประเทศไทยมาก รวมทั้งเป็นแบบจำลองที่สามารถปรับปรุงให้สามารถใช้งานร่วมกับระบบ DSSAT 3.0 ได้อย่างสะดวก ดังนั้นงานที่เกี่ยวกับพัฒนาการของแบบจำลองจึงกำหนดไป

มาก ปัจจุบันแบบจำลอง CANEGRO มีโครงการสร้างแฟ้มข้อมูลมาตรฐานเช่นเดียวกันกับแบบจำลองพืชอีก 12 พืช กิจกรรมหลักอีกประการในส่วนการทดลองแบบจำลองอ้อย CANEGRO คือการพิสูจน์ว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์การผลิตอ้อยในระดับแปลงปลูกอ้อยได้ คณะวิจัยได้ดำเนินงานติดตั้งงานทดลองอ้อยมาตรฐาน โดยมีหน่วยงานร่วมกิจกรรมทั้งสามหน่วยงาน พร้อมกันนี้ได้พัฒนาระบบงานวิจัยมาตรฐานเพื่อการสร้างฐานข้อมูลการวิจัยอ้อยอย่างเป็นระบบ รวมไปถึงการสร้างเครือข่ายของงานทดลองร่วมที่จะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์ระหว่างผู้ปฏิบัติงานของแต่ละหน่วยงาน งานทดลองนี้ใช้อ้อยสองพันธุ์คือ K และ U โดยปลูกเป็นสองงานทดลอง คือ ปลูกต้นฤดูฝน และปลายฤดูฝน งานทดลองปลูกต้นฤดูฝนมีวันปลูกต้นเดือนมีนาคมและต้นเดือนพฤษภาคม 2538 ส่วนงานทดลองปลูกปลายฤดูฝนดำเนินการเพาะกล้าอ้อยในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2538 และทำการย้ายปลูกประมาณปลายเดือนธันวาคม 2538

งานวิจัยอีกงานหนึ่งที่คณะผู้วิจัยสนใจและได้ดำเนินการ คือ การศึกษาการแยกพันธุ์อ้อยโดยวิธีการ genetic engineering ของอ้อยทั้งสองพันธุ์ คือ K และ U โดย ดร.วิลลา ดิษฐพงษ์พิชญ์ แห่งภาควิชาโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นพื้นฐานในการแยกความแตกต่างของพันธุ์อ้อยโดยเฉพาะในด้านพัฒนาการ (development) และการเจริญเติบโต (growth) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญต่อการใช้แบบจำลองอ้อยเพื่อการคาดการณ์ผลผลิตในพื้นที่ขนาดต่าง ๆ ปัจจุบันได้มีการบรรจุความแตกต่างของพันธุ์อ้อยใน CANEGRO และ ThaiCane โดยเฉพาะความแตกต่างในด้านพัฒนาการของใบอ้อย

## ส่วนที่ 2: การพัฒนาวิธีการทำแผนที่การปลูกอ้อย

ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมในการทำแผนที่การปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม ปัจจุบันมีสถานีรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งมีกำหนดวงโคจรผ่านพื้นที่ประเทศไทยทุก 16 วัน ข้อมูลแสดงประเภทของการใช้ที่ดินผิวพื้นที่ได้ถูกเก็บไว้อย่างต่อเนื่องโดยหน่วยงานภายใต้การดูแลของสทอิจแห่งชาติ ในทางปฏิบัติแล้วสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาประกอบการใช้งานในหลายรูปแบบ และการใช้เพื่อประเมินพื้นที่การปลูกอ้อยเป็นการใช้งานแบบหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูง และเชื่อว่าจะมีความแม่นยำน่าเชื่อถือ

## ส่วนที่ 3: การพัฒนาโปรแกรมเชื่อมโยง

การพัฒนาโปรแกรมเชื่อมโยงฐานข้อมูลเชิงพื้นที่และแบบจำลองอ้อยสำหรับประกอบการประเมินผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่เป็นกิจกรรมหลักของงานในส่วนนี้ โปรแกรมเชื่อมโยงได้รับการออกแบบเพื่อเอื้อให้ผู้ใช้งานเลือกพื้นที่ที่จะทำการประเมินผลผลิตอ้อยโดยใช้ชื่อตำบล หรือหมู่บ้าน หรือขอบเขตแปลงอ้อย จากนั้นผู้ใช้งานสามารถเลือกกระบวนการผลิตอ้อย พันธุ์อ้อย วันปลูก การใส่ปุ๋ยเคมี ฯลฯ โปรแกรมเชื่อมโยงชื่อ ThaiSIS 1.0 ได้รับการพัฒนาต้นแบบเป็นที่เรียบร้อย โดยได้รับการสนับสนุนจาก IFDC ซึ่งมี Dr. P.K. Thornton และ Dr. P.W. Wilkens เป็นผู้ผลักดัน คณะผู้วิจัยได้นำเสนอโปรแกรมเชื่อมโยงนี้ในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 5 ต้นปี 2540

#### ส่วนที่ 4: การขยายหลักการวิจัยโดยแนว modeling ในประเทศ

การเข้าร่วมประชุมกับผู้อยู่ในวงการอ้อย การพิมพ์เอกสารเผยแพร่ การพัฒนากลุ่มนักวิจัยสาขาเกษตรที่สามารถใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษาวิจัยและการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ และการจัดอบรมปฏิบัติการให้แก่เจ้าหน้าที่ของรัฐ ฝ่ายไร่ของชาวไร่อ้อยระดับแนวหน้า คณะผู้วิจัยมั่นใจว่าการฝึกอบรมจะมีส่วนเสริมให้การเผยแพร่ประสบการณ์ของผู้วิจัยเป็นไปอย่างคุ้มค่า งานในส่วนนี้เป็นกิจกรรมต่อเนื่อง ผู้ร่วมวิจัยในโครงการทุกท่านได้ปฏิบัติหน้าที่ในส่วนนี้อย่างสม่ำเสมอ แนวการวิจัยของโครงการเป็นแนวใหม่ในวงการเกษตรไทยโดยเฉพาะความใหม่ในด้านการปฏิบัติจริง ในระดับโครงการคณะผู้วิจัยได้ร่วมหารือกับผู้ร่วมโครงการจากศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีเพื่อดำเนินการประชุมนักวิชาการอ้อยในประเทศไทยเพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้ในด้านการผลิตอ้อยโดยมีจุดมุ่งหวังเพื่อประมวลสถานะภาพองค์ความรู้ในแต่ละประเด็นของการผลิตอ้อย รวมทั้งชี้แนะประเด็นที่น่าสนใจเพื่อการวิจัยเพิ่มเติม

---

# ส่วนที่ 1

---

## การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้ แบบจำลองพัฒนาการและ การเจริญเติบโตของอ้อย

- แนวคิดและหลักการ (principles & concepts)
- โครงสร้างงานทดลองวันปลูก
  - ◆ การทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี
  - ◆ การทดลองมหาวิทยาลัยขอนแก่น
  - ◆ การทดลองมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- พัฒนาการของอ้อย
- ความสัมพันธ์ของสภาพแวดล้อมและพัฒนาการอ้อย
- การตอบสนองของอ้อยต่อความหนาแน่น
- ชนิดของเชื้อที่ติดมากับท่อนพันธุ์อ้อย
- PCR-RAPD: A genetic tool for sugarcane research
- การวิเคราะห์ปริมาณ sucrose ในน้ำอ้อย
- แบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

แนวคิดและหลักการ (principles & concepts)

อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เลหาหศิริวงศ์  
เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง และ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา

การประมาณผลผลิตอ้อยเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญต่อการกำหนดราคาอ้อยขึ้นต่ำของประเทศ กิจกรรมนี้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องในหลายองค์กรทั้งของภาครัฐและของภาคเอกชน วิธีการที่ใช้ส่วนใหญ่มีพื้นฐานจากการสำรวจภาคสนามและจากข้อมูลการผลิตในปีที่ผ่านมา เป็นวิธีการที่ยังไม่สะดวกต่อการผนวกปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศเกษตร ลักษณะทางพันธุกรรมของอ้อย ความชื้นดิน ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน พัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อยแต่ละพันธุ์ในระดับการจัดการที่แตกต่างกันตามสภาพสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของอ้อยเป็นอย่างมาก

โครงการ พทอ. วิจัยเพื่อพัฒนาและทดสอบแบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อยมุ่งหวังที่จะนำปัจจัยดังกล่าวประมวลกันอย่างเป็นระบบ และสามารถนำแบบจำลองอ้อยไปใช้ประมาณการผลผลิตอ้อยได้ โดยใช้หลักการของแนวคิดและวิธีการแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ ร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และเทคโนโลยีข้อมูลระยะไกล

## หลักการของแบบจำลองและใช้แบบจำลอง (modeling and simulation)

การเผยแพร่แนวคิด หลักการ และวิธีการวิจัยแบบนี้เริ่มต้นโดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์เกษตรชาว Dutch นำโดย Dr.Penning de Vries และคณะ ได้จัดการฝึกอบรมครั้งแรกที่เมืองวากเคะนิงเกิน (Wageningen) ระหว่างปี 2529 (1986) จากนั้นมีนักวิทยาศาสตร์เกษตรจากประเทศไทยได้เข้าร่วมกิจกรรมมากขึ้น ทั้งจากมหาวิทยาลัยและกรมวิชาการเกษตร โดยเฉพาะในช่วงที่กลุ่ม Dr.Penning de Vries และคณะ ได้จัดตั้งเครือข่ายวิจัยแนวนี้ขึ้นที่สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ การเผยแพร่ในประเทศไทยมีการฝึกอบรมโดยกลุ่มคณาจารย์ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และขอนแก่น และภายใต้โครงการการจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์ระบบการผลิตข้าว (Simulation and Systems Analysis for Rice Production: SARP)

การพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัยในยุโรปก้าวหน้าไปมาก มหาวิทยาลัยเกษตรแห่งเมืองวากเคะนิงเกินได้ตั้งวิทยาลัยบัณฑิตศึกษาโดยเน้นการเรียนการสอนตามหลักการและวิธีการ modeling มีการสร้างทีมงานในด้าน modeling ร่วมร่วมกับ IRRI มีผลงานการวิจัยในภาคพื้นเอเชียหลายฉบับ ในประเทศไทยยังไม่มีเปิดสอนในระดับมหาวิทยาลัยอย่างจริงจัง ส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับปริญญาโท (Jongkaewwatana, 1995) มีเพียงคนกลุ่มน้อยเท่านั้น Ekasingh et al (1992) ได้เสนอโครงสร้างงานวิจัย modeling ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในการประชุมทางวิชาการของกรมวิชาการเกษตร นอกจากนี้นักกลุ่มวิจัยที่ภาควิชาชีพไร่นาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ใช้วิธีการดังกล่าวเช่นกัน

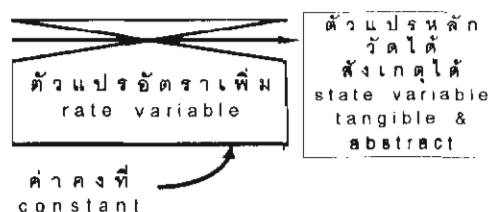
หลักการใหญ่ ของงานวิจัยทางเกษตรที่ให้นักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อการสร้างความรู้ความเข้าใจ (understanding) ในระดับกระบวนการ (process) หรือกลไก (mechanisms) ที่สำคัญของพืช และ/หรือ สัตว์ ที่มีอยู่เพื่อเพิ่มพูนความสามารถในการคาดการณ์ (predict) การตอบสนองของพืช และ/หรือ สัตว์ เมื่อมีการเพิ่มหรือลดปริมาณของปัจจัยการผลิต และสุดท้ายผลประโยชน์ของการวิจัยคือการนำความรู้ที่ได้ในการคาดการณ์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการจัดการ (management) ทรัพยากรการเกษตร และทรัพยากรธรรมชาติเพื่อการผลิตทางเกษตรที่มีประสิทธิภาพ (Dent and Blackie, 1979)

### ลักษณะเฉพาะของวิธีการ modeling

ในวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านอื่น เช่น การพัฒนายานยนต์รุ่นใหม่หรือยานอวกาศแบบใหม่ นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้ใช้แบบจำลองในการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้แทนการทดลองกับระบบจริง วิธีการวิจัยนี้มีคำศัพท์เกี่ยวข้องอยู่ 3 คำ (Penning de Vries, 1982) ได้แก่ ระบบ (system) แบบจำลองระบบและการพัฒนาแบบจำลองระบบ (model and modeling) และ การจำลองสถานการณ์ (system simulation) คำจำกัดความในเชิงปฏิบัติงานของคำว่าระบบ (system) หมายถึง ส่วนหนึ่งของสภาพธรรมชาติจริงประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สัมพันธ์กัน มีขอบเขตจำกัดที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพธรรมชาติรอบด้าน แต่การทำงานตามกระบวนการของระบบไม่ได้ส่งผลกระทบถึงสภาพธรรมชาติ เช่น ระบบการผลิตย่อยในพื้นที่ภาคเหนือเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศน์ภาคเหนือ ประกอบไปด้วยที่ดิน ต้นอ้อย แรงงาน เครื่องจักร ระบบการผลิตนี้ไม่ได้มีผลต่อสภาพอากาศ หรือฤดูกาล คือสภาพอากาศไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของการผลิตย่อย ในทางตรงกันข้ามถ้าพิจารณาการทดลองผลิตอ้อยในเรือนทดลอง จะเห็นได้ว่าสมมุติฐานเช่นที่กล่าวมาแล้วต้องได้รับการปรับปรุง นั่นคือสภาพอากาศเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิต เนื่องจากระบบการผลิตย่อยสามารถเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ Model หรือ แบบจำลองระบบเป็นตัวแทนระบบธรรมชาติ ทำให้เรามีความเข้าใจอยู่ในขณะนั้น อาจเป็นแบบจำลองกายภาพ (physical model) ของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่แจ่ม หรืออาจจะเป็นแผนที่ เช่น แผนที่โลกซึ่งเป็นตัวแทนของระบบโลกทั้งหมด เป็นต้น System simulation หรือ การจำลองสถานการณ์ หมายถึง การใช้แบบจำลองที่มีอยู่หรือที่พัฒนาได้ในการศึกษาการตอบสนองของระบบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

หลักการสำคัญประการหนึ่งของการวิจัยแนวนี้คือการสร้างแบบจำลองระบบและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ โดยใช้ Forrester diagram ตามหลักการของ state variable approach (รูปที่ 2) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลัก (state variables) และตัวแปรอัตราเพิ่ม (rate variables) ของระบบที่สนใจ ตัวอย่างของตัวแปรหลักในระบบการผลิตอ้อยได้แก่ น้ำหนักใบ น้ำหนักลำต้น ปริมาณน้ำและปริมาณธาตุอาหารในชั้นดินต่าง ๆ เป็นต้น และตัวอย่างของตัวแปรอัตราเพิ่มคือค่าคงที่ที่จะกำหนดการเพิ่มขึ้นของตัวแปรหลักดังกล่าวในระยะเวลาหนึ่ง (DELTA หรือ DURATION) ดังนั้นน้ำหนักลำต้นอ้อยในหนึ่งวันเท่ากับ  $DELTA \times rate$  ปัจจัยภายนอกจะเป็นตัวกำหนดค่าตัวแปรอัตราเร่ง เช่น ในสภาพอุณหภูมิอากาศสูงพืชมีอัตราการหายใจและอัตราการคายน้ำสูงกว่าในสภาพอุณหภูมิอากาศต่ำ

รูปที่ 2: Forrester diagram ของตัวแปรหลักและตัวแปรอัตราเพิ่ม

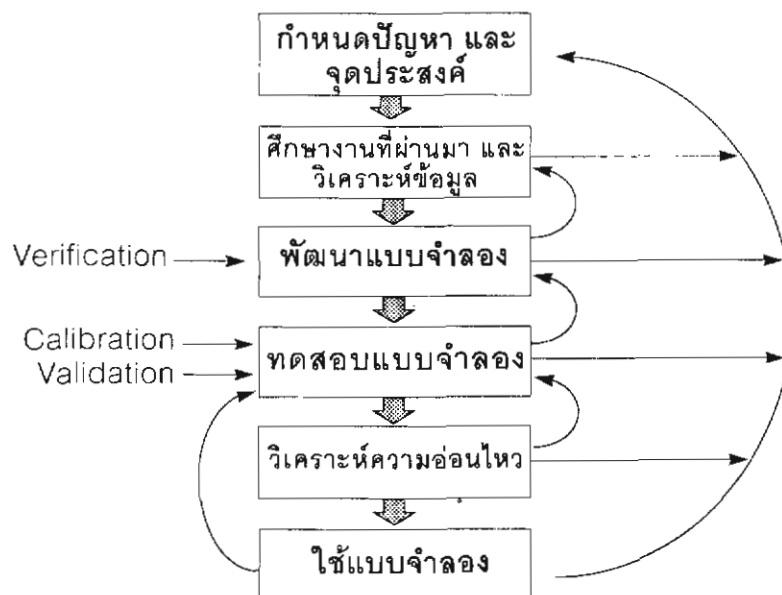


### ขั้นตอนการดำเนินงานของการใช้แบบจำลอง

ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีการวิจัย modeling แสดงไว้ในรูปที่ 3 (Dent and Blackie, 1979) เป็นกระบวนการสองขั้นตอน คือ กระบวนการออกแบบและการพัฒนาแบบจำลองของระบบที่ศึกษา และกระบวนการใช้แบบจำลองระบบในการจัดการทรัพยากรในระบบจริง

ขั้นตอนแรก เป็นการกำหนดจุดประสงค์และปัญหาที่จะทำการศึกษามีโอกาสในการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองหรือไม่? (system definition and objectives of modeling) โดยการกำหนดขอบเขตของเรื่องที่ทำการศึกษา เช่น ศึกษาการตอบสนองของอ้อยที่มีต่อระดับปุ๋ยไนโตรเจนในระดับไร่นา หรือ ในระดับต้นอ้อย เป็นต้น การกำหนดขอบเขตจะช่วยให้การจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องเป็นไป

รูปที่ 3: กระบวนการวิจัยตามแนว modeling (Dent and Blackie, 1979)



อย่างมีประสิทธิภาพ หลักใหญ่ขั้นตอนนี้คือการแยกให้ชัดว่าจะใช้แนวทางนี้เพื่อ 1) ช่วยประมวลความหมายหรือผลการทดลองโดยใช้แบบจำลอง 2) ใช้แบบจำลองในการกำหนดทิศทางในการวิจัยของหน่วยงาน และ 3) ใช้แบบจำลองในการสนับสนุนการตัดสินใจจัดสรรทรัพยากรการผลิต

ขั้นตอนที่สอง เป็นการศึกษาเพื่อทราบองค์ความรู้และวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ (analysis of data) เป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากจะเป็นการกำหนดความต้องการของข้อมูลและความสามารถของแบบจำลอง ในเบื้องต้นอาจจะสามารถสร้างแบบจำลองประเภท empirical เมื่อมีความเข้าใจดีแล้วจึงจะสามารถสร้างแบบจำลองประเภท process-based ได้ ซึ่งต้องการข้อมูลปริมาณมากและมีขีดความสามารถในการคาดการณ์ได้ดีกว่าแบบแรก แต่ต้องการข้อมูลหลักเป็นปริมาณมากกว่าแบบจำลองแบบ empirical

ขั้นตอนที่สาม เป็นการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์จากข้อมูลที่ได้ (model development) การพัฒนาแบบจำลองต้องคำนึงถึงโครงสร้างของแบบจำลอง ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้พัฒนา ปริมาณข้อมูลที่ต้องการในการใช้งาน ความแม่นยำในการใช้งาน และความสะดวกในการใช้งาน ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องทดสอบแบบจำลองว่าสามารถคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ถูกต้องตามที่คิดไว้หรือไม่ (model verification)

ขั้นตอนที่สี่ เป็นส่วนที่สำคัญและใช้เวลานานมากกว่ากิจกรรมอื่น เป็นช่วงที่ต้องทำการทดสอบว่าแบบจำลองคาดการณ์สิ่งที่เกิดขึ้นกับระบบจริงเพียงใด (model validation) มีวิธีการทดสอบหลายวิธี (Xingming, 1995) ในทางปฏิบัติ จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแปลงทดลอง (observed values) กับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง (simulated values) การทดสอบแบบจำลองพืชในระบบ DSSAT 3.0 ต้องการข้อมูลภูมิอากาศเกษตรรายวัน ข้อมูลดินตามชั้นดิน ข้อมูลดินเมื่อเริ่มต้นงานทดลอง และข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชในระหว่างฤดูปลูกและช่วงการเก็บเกี่ยว

ขั้นตอนที่ห้า เป็นการทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรในแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยการผลิต (sensitivity analysis) จะดำเนินการเมื่อแบบจำลองได้ผ่านขั้นตอนที่สามและสี่มาแล้ว ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวมากเป็นจุดที่เราสามารถจัดการได้มากเพื่อประสิทธิภาพในการผลิต หรือช่วยกำหนดทิศทางในการวิจัย

ขั้นตอนที่หก เป็นขั้นตอนสำคัญของวิธีการวิจัยแนวนี้ เป็นการใช้งานแบบจำลองเพื่อใช้คาดการณ์ระดับการผลิตเมื่อผู้ผลิต (เกษตรกร) ปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยการผลิต เช่น การเปลี่ยนพันธุ์อ้อย การปรับระดับน้ำชลประทาน และระดับการให้ปุ๋ยเคมี ผลกระทบของ global warming ต่อการผลิตพืช เพื่อประโยชน์สูงสุดในการตัดสินใจจัดสรรทรัพยากรการผลิต (decision support with model) งานวิจัยโดยใช้แนวทางนี้ส่วนใหญ่มีการกลับไปกลับมาอยู่ในระหว่างขั้นตอนที่สามถึงขั้นตอนที่หก

### ผลลัพธ์ของการใช้แบบจำลอง

ผลลัพธ์หรือผลผลิตของวิธีการวิจัยแบบ modeling มีสองส่วน ส่วนแรกได้แก่ความเข้าใจกระบวนการของพืช รวมทั้งเทคโนโลยีการผลิตพืชที่ได้จากการรวบรวมองค์ความรู้ และส่วนที่สองได้แก่แบบจำลองคอมพิวเตอร์การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช และ/หรือ กระบวนการที่สนใจศึกษา ทำให้นักวิจัยสามารถประสาน (integrate) ผลงานวิจัยและองค์ความรู้ของแต่ละสาขาวิชาได้ดีขึ้น แบบจำลองก็คือตัวแทนองค์ความรู้ ณ. เวลานั้น เป็นตัวแทนที่ดีที่สุด ตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ เป็น intermediate product ของกระบวนการวิจัย เราสามารถใช้แบบจำลองที่ได้เพื่อการคาดการณ์ (predict) สภาพของระบบตามกระบวนการที่มีที่แบบจำลองว่าระบบจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร? ให้ผลผลิตเป็นมากน้อยเพียงไรภายใต้การจัดการต่าง ๆ

## ข้อเสียเปรียบของการใช้แบบจำลอง

วิธีการนี้มีข้อเสียเปรียบอยู่มากโดยเฉพาะในบ้านเรา เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใหม่มาก ยังไม่ได้รับการบรรจุเข้าในหลักสูตรการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรีสาขาเกษตร เป็นวิธีการที่ต้องใช้แนวทางเชิงปริมาณ (quantitative approach) ในการทำงานทดลอง และต้องการความเข้าใจเรื่องคอมพิวเตอร์อีกด้วย

นอกจากนี้ เรามีแนวโน้มว่าจะมีผู้ที่ใช้แบบจำลองพืชสำเร็จรูปมากกว่าผู้ที่พัฒนาแบบจำลองพืช ดังนั้นโปรแกรมแบบจำลองพืชจึงมีอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่ำ ยกตัวอย่างเช่น ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางเกษตร DSSAT 3.0 มีแบบจำลองพืชเพียง 15 พืช (Tsui et al, 1994) ทำให้ศักยภาพของการใช้แบบจำลองพืชเพื่อคาดการณ์ระบบการผลิตจริงจึงมีอุปสรรคมากมาย เนื่องจากระบบการผลิตจริงแม้จะเป็นเพียงในระดับไร่นาเกษตรก็มีองค์ประกอบมากมายหลายชนิด เป็นการยากมากที่จะสร้างแบบจำลองของทุกองค์ประกอบได้ ยกเว้นแต่ที่เราร่วมมือกันพัฒนาอย่างจริงจังโดยมีกรอบ (research framework) เดียวกัน และโปรแกรมแบบจำลองพืชที่มีอยู่ในวงการปัจจุบันนี้ยังเป็นระบบที่ไร้ความสนุกเมื่อใช้งาน คือ เป็นโปรแกรมที่ยากต้องรู้เรื่องมากมายเหลือเกินจึงจะสามารถ master โปรแกรมเหล่านี้ได้

อันตรายที่อาจจะเกิดจากการใช้แนวทางนี้ในการวิจัยก็มีได้มากเช่นกัน นักวิจัยที่ทำงานทดลองอยู่ในแปลงทดลองกลายเป็นผู้เก็บข้อมูลให้แก่ นักพัฒนาแบบจำลอง ในบางสถานการณ์การดำเนินงานวิจัยแบบเป็นทีมอาจจะไม่ได้ผลิตอะไรที่เด่นชัดเลย หรือไม่ทราบว่าจะเริ่มต้นที่ใด เงินทุนวิจัยส่วนหนึ่งต้องใช้เพื่อการพัฒนาเครื่องมือเครื่องมือ hi-tech และผลลัพธ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากกว่าการค้นพบสิ่งใหม่ ๆ หรือค้นพบองค์ความรู้ใหม่ทางเกษตร สุดท้ายคือศัพท์แสงของทาง modeling เป็นศัพท์ที่ไม่คุ้นหูอาจจะทำให้เกิดความเข้าใจผิดพลาด

ถ้าจะนำวิธีการนี้มาใช้จริง จะต้องพิจารณาทำให้การจัดสรรงบประมาณและทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดความสมดุลระหว่างงานวิจัยเดิมกับงานวิจัยแนว modeling นอกจากนี้อาจจะมีคำถามว่าจะร่วมมือกันดำเนินงานวิจัยแบบ active อย่างไรระหว่างผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาวิชาการ

## ลำดับขั้นระบบการผลิตพืชของการใช้แบบจำลอง

ขั้นตอนการวิจัยโดยใช้วิธีการ modeling มีลักษณะใกล้เคียงกับขั้นตอนงานวิจัยเชิงระบบอื่น เช่น งานวิจัยระบบการปลูกพืช งานวิจัยระบบการทำฟาร์ม (อาร์นัต พัฒนินัย, 2528) เป็นต้น เริ่มต้นด้วยการกำหนดประเด็นปัญหาที่จะทำการวิจัย ออกแบบการแก้ปัญหา ทดสอบการแก้ปัญหา และสิ้นสุดด้วยการขยายผลรูปแบบการแก้ปัญหาที่ได้ผลไปสู่ผู้ประกอบการรายอื่นต่อไป อย่างไรก็ตาม ข้อแตกต่างอย่างหนึ่งของวิธีการ modeling กับวิธีการวิจัยเชิงระบบอย่างอื่นคือในขั้นตอนการออกแบบเพื่อแก้ปัญหานั้นมีผลลัพธ์เป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของระบบที่ทำการแก้ปัญหาอยู่ นอกจากนี้แบบจำลองที่พัฒนาได้จะเป็นเครื่องมือสำคัญในการทดสอบวิธีการแก้ปัญหาของระบบ การออกแบบเพื่อแก้ปัญหาของวิธีการวิจัยระบบการทำฟาร์มหรือการวิจัยระบบการปลูกพืชเป็นขั้นตอนที่นักเกษตรคิดค้นระบบการปลูกพืช และ/หรือ ระบบการผลิตสัตว์ กำหนดเป็นชุดงานทดลอง มีดำรับทดลอง มีจำนวนซ้ำ ดำเนินการทดลองในสภาพจริงเพื่อทราบผลของการแก้ปัญหา

ในวงการ modeling ขั้นตอนที่สำคัญมากที่สุดได้แก่ขั้นตอนการออกแบบและการพัฒนาแบบจำลองของระบบที่สนใจ เนื่องจากเป็นขั้นตอนในการกำหนดโครงสร้างและกรอบการวิจัย โครงการวิจัยบางโครงการเน้นการพัฒนาแบบจำลอง บางโครงการเน้นการทดสอบแบบจำลอง หรือบางโครงการดำเนินเน้นทั้งสองกิจกรรม ในด้านการพัฒนาแบบจำลองระบบนั้นเป็นที่ยอมรับกันในวงการว่ากรอบการวิจัยแบ่งออกตามลำดับขั้นของระบบการผลิตพืช (Penning de Vries, 1982) โดยแบ่งเป็น 4 ระบบการผลิต ได้แก่

1. ระบบการผลิตพืชขั้นสูงสุด (potential crop production systems)
2. ระบบการผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด (water limited crop production systems)
3. ระบบการผลิตพืชที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (nitrogen limited crop production systems)
4. ระบบการผลิตพืชที่มีธาตุอาหารอื่น ศัตรูพืช และปัจจัยสังคมเป็นปัจจัยจำกัด (other plant nutrients, pest, and social factors limited crop production systems)

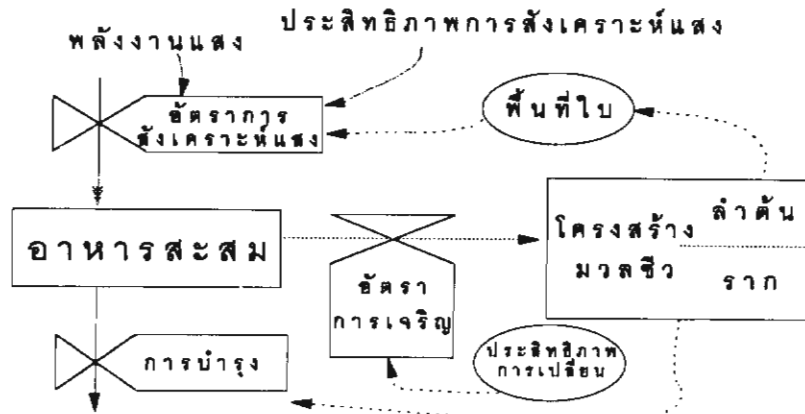
นักวิจัยแยกวิจัยเพื่อทำความเข้าใจกระบวนการพัฒนาการของพืช (crop development) และการเจริญเติบโตของพืช (crop growth) โดยให้ความสนใจวิจัยกระบวนการทั้งสองมากกว่ากระบวนการพัฒนาด้านโครงสร้างของพืช (crop morphology) การศึกษาที่ผ่านมาเน้นการตอบสนองของพืชต่อระดับการจัดการทรัพยากรการผลิต นอกจากนี้การแบ่งระบบการผลิตตามลำดับขั้นการผลิตทำให้การพัฒนาแบบจำลองพืชและสัตว์ดำเนินไปอย่างมีระบบไม่ซ้ำซ้อน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทราบขอบเขตของปัญหาที่ประสบอยู่และทำให้การแก้ไขปัญหาดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ

### **ระบบการผลิตพืชขั้นสูงสุด (potential crop production system)**

ในระบบการผลิตพืชระบบนี้ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการพัฒนาการของพืชได้รับปัจจัยการผลิตอย่างเต็มที่ หมายถึงมีปริมาณน้ำและระดับธาตุอาหารของพืชเกินความต้องการแต่ไม่เป็นพิษต่อพืช พืชมีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 24-56 กิโลกรัมแห้ง/ไร่/วัน เมื่อมีพื้นที่ใบครอบคลุมพื้นที่ดินอย่างสมบูรณ์ และเป็นอัตราที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเกษตรโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ และในบางสถานการณ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอากาศหนาว แบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของพืชในระดับนี้สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรหลักซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืชได้แก่ ใบ ลำต้น ราก เมล็ด ตามกระบวนการสังเคราะห์แสง การบำรุงรักษาส่วนต่าง ๆ และการกระจายสารสังเคราะห์ (รูปที่ 4)

ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้สามารถสร้างได้ในห้องปฏิบัติการ ในสภาพการผลิตจริงก็มีเช่นกัน เช่น ระบบการผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย การผลิตข้าวสาลีและมันฝรั่งในประเทศฮอลแลนด์ เป็นต้น

รูปที่ 4: ระบบการผลิตพืชขั้นสูงสุด (potential crop production system) (ดัดแปลงจาก Penning de Vries, 1982 และ J.T. Ritchie, 1991)



#### ระบบการผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด (water limited crop production systems)

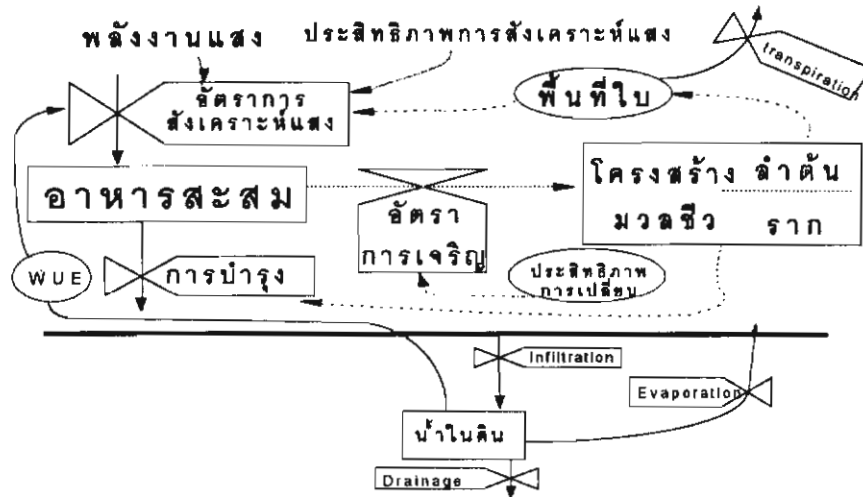
การเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้มีข้อจำกัดเรื่องน้ำในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช แต่อัตราการเจริญเติบโตสามารถดำเนินได้อย่างเต็มที่เหมือนในระบบการผลิตที่หนึ่งเมื่อมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อความต้องการของพืช (รูปที่ 5) กระบวนการเพิ่มเติมในระบบการผลิตนี้ได้แก่ พลวัตรของน้ำในดินและพืช การสูญเสียน้ำในกระบวนการ runoff และ drainage ที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในระบบการผลิตนี้ได้แก่การถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างอากาศ พืช และดิน แบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของพืชในระดับนี้สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรหลักเพิ่มเติมขึ้นจากแบบจำลองระดับแรกคือสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในชั้นดินต่าง ๆ ได้ รวมทั้งคำนวณการดูดตรึงน้ำของพืชในแต่ละช่วงของการพัฒนาการ

ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว

#### ระบบการผลิตพืชที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (nitrogen limited crop production systems)

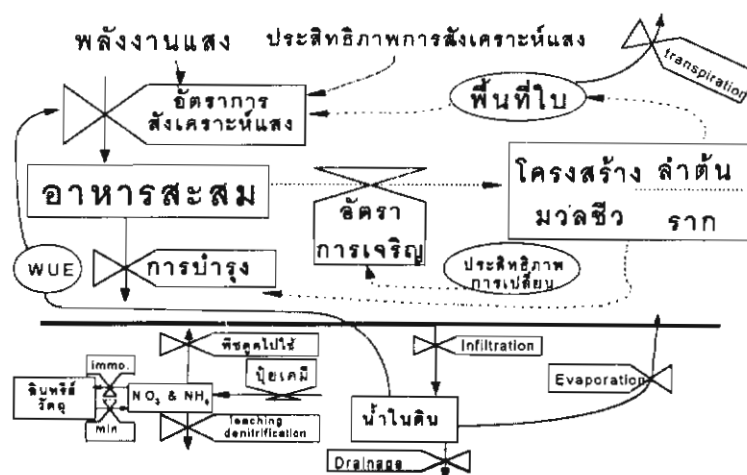
การเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้มีข้อจำกัดเพิ่มเติมจากเรื่องน้ำในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช คือระดับของธาตุไนโตรเจนต่ำกว่าความต้องการของพืชในบางช่วงของการพัฒนาการ โดยเฉพาะในช่วงปลายฤดูการผลิตพืช (รูปที่ 6) กระบวนการเพิ่มเติมในระบบการผลิตนี้ได้แก่พลวัตรของธาตุไนโตรเจนในดินและในพืช การสูญเสียของธาตุไนโตรเจนในกระบวนการ leaching และ denitrification การตอบสนองของพืชต่อธาตุไนโตรเจน และการเคลื่อนย้ายธาตุไนโตรเจนจากส่วนที่มีอายุมากไปยังส่วนของพืชที่เกิดใหม่

รูปที่ 5: ระบบการผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด (water limited crop production systems) (ดัดแปลงจาก Penning de Vries, 1982 และ J.T. Ritchie, 1991)



ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนถึงหนาว หลักการงานวิจัยในระดับกระบวนการเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับระดับการผลิตทั้งสามที่กล่าวแล้ว มีผู้พัฒนาไว้แล้วมากมาย (ตารางที่ 1) เป็นความเข้าใจที่ได้ทำการรวบรวมในรูปแบบจำลองพืชหลายพืช

รูปที่ 6: ระบบการผลิตพืชที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (ดัดแปลงจาก Penning de Vries, 1982 และ J.T. Ritchie, 1991)

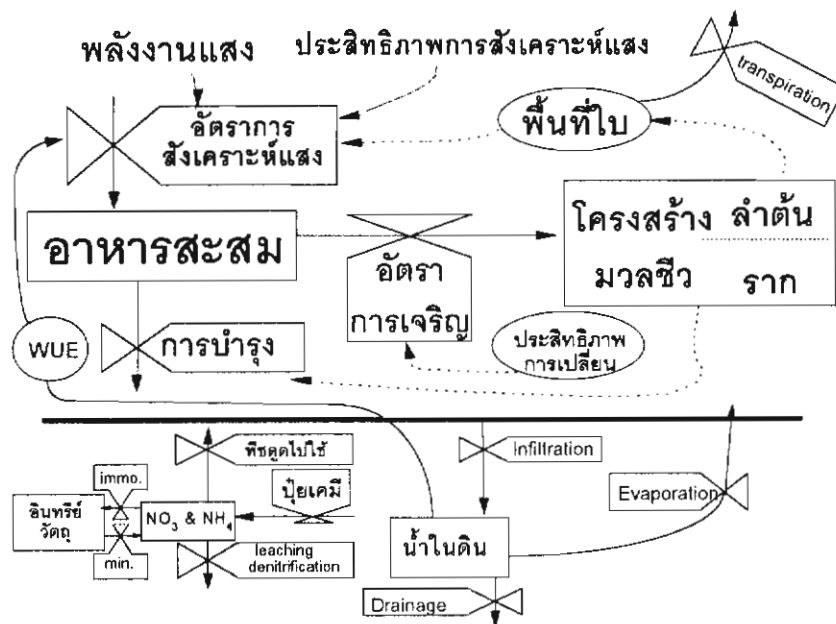


**ระบบการผลิตพืชที่มีธาตุอาหารอื่น ศัตรูพืช และปัจจัยสังคมเป็นปัจจัยจำกัด (other plant nutrients, pest, and social factors limited crop production systems)**

การเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้มีข้อจำกัดเพิ่มเติมจากเรื่องน้ำและเรื่องธาตุไนโตรเจนคือการขาดธาตุฟอสฟอรัส (phosphorus) ธาตุโพแทสเซียม (potassium) ในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช การขาดธาตุฟอสฟอรัสมีความเกี่ยวข้องกับการ metabolism ของธาตุไนโตรเจน (รูปที่ 7) อัตราการเจริญเติบโตของพืชมีเพียง 1.6-8.0 กิโลกรัมแห้ง/ไร่/วัน ในช่วงการเจริญเติบโตน้อยกว่า 100 วัน

ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว

รูปที่ 7: ระบบการผลิตพืชที่มีฟอสฟอรัสเป็นปัจจัย (ดัดแปลงจาก Penning de Vries, 1982 และ J.T. Ritchie, 1991)



**สัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (crop genetic coefficients)**

แบบจำลองพืชของกลุ่มนักวิทยาศาสตร์เกษตรในประเทศสหรัฐอเมริกา มีข้อแตกต่างจากแบบจำลองของกลุ่มสโตนแลนดตรงที่แบบจำลองของกลุ่มแรกบรรยายความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ของพืชต่าง ๆ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (crop genetic coefficients) (Hunt et al, 1989) โดยแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ ออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้บรรยายความแตกต่างด้านพัฒนาการของพืช และกลุ่มที่ใช้บรรยายความแตกต่างด้านการเจริญเติบโตของพืช

### ค่าสัมประสิทธิ์พัฒนาการของพืช (crop phenology coefficients)

เป็นค่าอุณหภูมิสะสมในแต่ละช่วงพัฒนาการของพืชตั้งแต่ปลุกถึงเก็บเกี่ยว บางค่าแสดงความอ่อนไหวของพันธุ์พืชต่อช่วงแสงซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการควบคุมการออกดอก ในกรณีของแบบจำลองข้าว CERES-rice มีค่าสัมประสิทธิ์พัฒนาการอยู่สี่ค่า (ตารางที่ 1) ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้หาได้ทั้งจากแปลงทดลอง (field experiment) และจากห้องทดลองควบคุมสภาพแวดล้อม (growth chamber) ความเข้าใจที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้มีผลในทางปฏิบัติมากมาย ในอ้อยเป็นตัวอย่างหนึ่ง การทดลองของโครงการ พทอ. ระหว่างปี 2538 พบว่าหลังจากที่อ้อยสองพันธุ์มีพัฒนาการถึงใบที่ 18-25 อ้อยมีการสลับหน่อทิ้งและเริ่มเข้าสู่ระยะที่มีจำนวนลำอ้อยต่อกอค่อนข้างคงที่ ระยะนี้เป็นระยะที่อ้อยมีการยืดปล้องและมีความต้องการธาตุอาหารเป็นปริมาณมากเพื่อการสร้างส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 1: สัมประสิทธิ์กรรมพันธุ์ข้าวในระบบ CERES

| รหัส                              | ความหมาย                                                                                                  |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>สัมประสิทธิ์พัฒนาการ</b>       |                                                                                                           |
| P1                                | GDD จากโผล่พ้นผิวดิน ถึง สิ้นสุดระยะแตกกอ ที่อุณหภูมิพื้นฐาน 8 °C ค่า P1 อยู่ในระหว่าง 350-900 GDD.       |
| P5                                | GDD จากระยะออกดอก ถึง สิ้นสุดระยะเมล็ดโตเต็มที่ ที่อุณหภูมิพื้นฐาน 8 °C ค่า P5 อยู่ในระหว่าง 430-550 GDD. |
| P2O                               | ความยาววันวิกฤตต่อการออกดอก อยู่ระหว่าง 10-13 ชั่วโมง                                                     |
| P2R                               | สัมประสิทธิ์ความไวต่อแสง 50-250 GDD                                                                       |
| <b>สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต</b> |                                                                                                           |
| G1                                | จำนวนเมล็ดสูงสุดต่อต้น                                                                                    |
| G2                                | น้ำหนักเมล็ดเดี่ยวสูงสุด (กรัม)                                                                           |
| G3                                | การแตกกอ (0.6-1.0)                                                                                        |
| G4                                | การทนความร้อน                                                                                             |

### ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของพืช (crop growth coefficients)

เป็นค่าคงที่แสดงอัตราการเจริญเติบโตของแต่ละส่วนของพืช ในกรณีของแบบจำลองข้าวมีค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตสี่ค่า (ตารางที่ 2) ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้หาได้ทั้งจากแปลงทดลอง (field experiment) และจากห้องทดลองที่สามารถควบคุมสภาพ (growth chamber) ในกรณีของอ้อยต้องมีการศึกษาในประเด็นนี้อีกมาก การกำหนดความแตกต่างระหว่างพันธุ์พืชที่พร้อมจะกระจายสู่เกษตรกร หรือการทดลองในหลายพื้นที่เป็นประโยชน์ต่องานปรับปรุงพืช (Hunt et al, 1989) นักวิจัยสามารถประเมินระดับการผลิตของสายพันธุ์พืชใหม่ได้ถ้ามีสัมประสิทธิ์กรรมพันธุ์

ตารางที่ 2: *ผังการกระจายสารสังเคราะห์ในแบบจำลองข้าว CERES-Rice*

| รหัส | ระยะพัฒนาการ                    | ส่วนของพืช          |
|------|---------------------------------|---------------------|
| 7    | เตรียมดิน ถึง ปลุก              | -                   |
| 8    | ปลุก ถึง งอก                    | เมล็ด ราก           |
| 9    | งอก ถึง โผล่พ้นผิวดิน           | ราก ใบ              |
| 1    | งอก ถึง หมดระยะหนุ่มสาว         | ราก ใบ ลำต้น        |
| 2    | หมดระยะหนุ่มสาว ถึง แหว่งช่อดอก | ราก ใบ ลำต้น        |
| 3    | แหว่งช่อดอก ถึง ออกดอก          | ราก ใบ ลำต้น ช่อดอก |
| 4    | ออกดอก ถึง เริ่มสร้างเมล็ด      | ราก ใบ ลำต้น ช่อดอก |
| 5    | เริ่มสร้างเมล็ด ถึง เมล็ดเต็ม   | ราก ช่อดอก เมล็ด    |
| 6    | เมล็ดเต็ม ถึง สุกแก่ทางสรีระ    | ราก ลำต้น เมล็ด     |

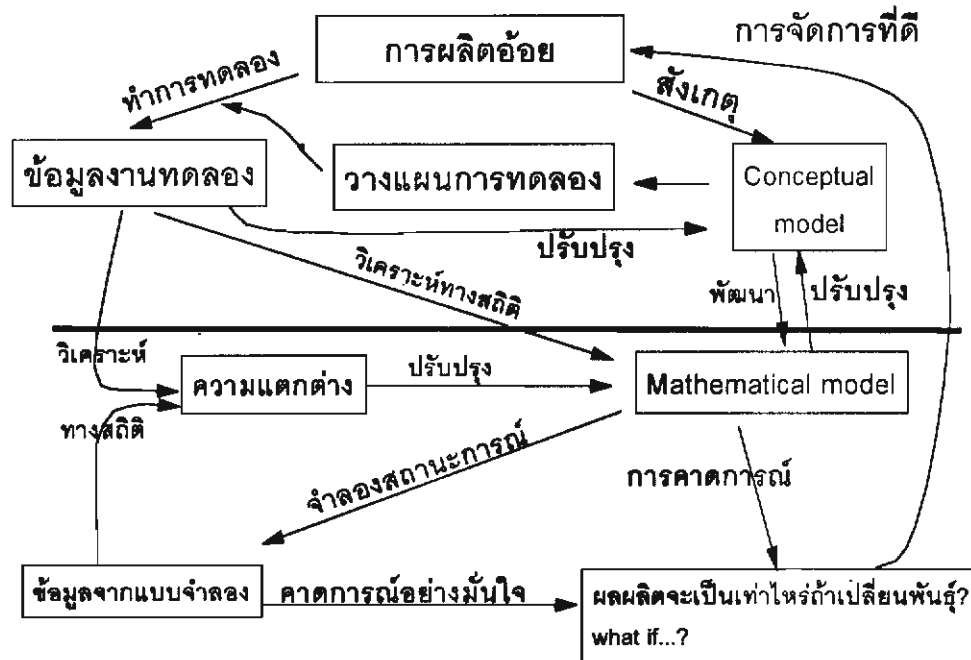
## แบบจำลองพืชช่วยเสริมงานวิจัยปัจจุบันได้อย่างไร?

การสร้างหัวข้อวิจัยของงานวิจัยสายชีวภาพหรืองานวิจัยสายสังคมเกษตรมีพื้นฐานจากการสังเกตระบบจริงที่สนใจ (ในกรณีของเราคือเป็นระบบที่สนใจ รูปที่ 8) และสร้างแบบจำลองเชิงความคิดขึ้น กำหนดส่วนต่าง ๆ ของระบบ และกำหนดความสัมพันธ์ แบบจำลองเชิงความคิดนำไปสู่การพัฒนาแผนงานวิจัยและสามารถวางแผนงานทดลองเพื่อแก้ไขปัญหาของระบบการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่องานทดลองได้รับการออกแบบตามหลักการทางสถิติและได้ลงมือทดลองจริงในสนามทำให้กลุ่มผู้วิจัยสามารถสร้าง รวมทั้งปรับปรุงข้อมูลและแบบจำลองเชิงความคิดให้ดีขึ้น และสามารถใช้อธิบายการอธิบายพฤติกรรมของระบบได้ดีกว่าระยะเริ่มแรก

แนววิจัยด้วยแบบจำลองจะสนับสนุนและเพิ่มประสิทธิภาพงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นได้โดยนำผลการศึกษาและผ่านการวิเคราะห์ตามวิธีการทางสถิติมาประกอบการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพืชและสัตว์ (mathematical model) นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากงานทดลองที่มีอยู่ทั่วประเทศก็สามารถใช้ประกอบการเปรียบเทียบกับแบบจำลองฯ ได้หากมีการจัดเก็บข้อมูลตามความต้องการของแบบจำลองฯ ทำให้การปรับปรุงแบบจำลองเป็นไปอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว สามารถคาดการณ์ระบบจริงได้มากขึ้นในทุกสภาพการผลิตแบบ-จำลองที่สามารถคาดการณ์ได้ใกล้เคียงกับระบบการผลิตจริงสามารถนำไปประกอบการแก้ไขปัญหาการผลิตทางเกษตรได้หลายแง่มุม (Jintrawet, 1991)

ดังนั้นงานวิจัยย่อยที่จะเกิดใหม่ควรพิจารณาใช้แนวทางวิจัยโดยใช้แบบจำลองเป็นกรอบเพื่อวางแผนการวิจัยโดยเฉพาะในประเด็นของการจัดเก็บข้อมูลการทดลองในสนามเพื่อทดสอบแบบจำลองพืชที่มีอยู่แล้ว ในทำนองเดียวกัน สำหรับงานทดลองที่กำลังจะดำเนินการในฤดูเพาะปลูกที่จะถึง เราสามารถใช้วิธีการ modeling เข้าสนับสนุนการจัดเก็บข้อมูลได้

รูปที่ 8: ความสัมพันธ์ของการวิจัยที่ใช้แบบจำลองและการวิจัยอื่น



## สรุป

บทนี้กล่าวถึงความต้องการผลงานวิจัยทางเกษตรในสถานการณ์การผลิตที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง และโอกาสในการสร้างผลงานวิจัยโดยนักวิจัยไทยด้วยวิธีการใช้แบบจำลอง โดยการพัฒนางานวิจัยที่มุ่งเป้าประกอบที่เหมาะสมในการสนับสนุนการใช้วิธีการวิจัยแนวนี้

การเกษตรเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบชีวภาพของธรรมชาติมากที่สุดกิจกรรมหนึ่ง ผู้ทำการศึกษาทำความเข้าใจระบบชีวภาพส่วนใหญ่ถูกฝึกให้มองภาพของระบบเป็นโครงสร้างที่มีลำดับชั้นต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับยีน เซลล์ ต้นพืช สัตว์ แปลงพืช ป่าไม้ และระบบนิเวศน์ ในแต่ละส่วนมีพฤติกรรมเป็นผลจากพฤติกรรมร่วมระหว่างองค์ประกอบในระดับชั้นที่เล็กกว่าโดยได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกหลายปัจจัย การศึกษาระบบชีวภาพโดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือการแยกศึกษาส่วนต่าง ๆ โดยอิสระ การใช้แบบจำลองเป็นแนวทางหนึ่งและเครื่องมือชนิดหนึ่งในการวิจัยเกษตรสมควรได้รับการพิจารณาเลือกใช้ในระบบงานวิจัยการผลิตอ้อยในประเทศไทยในอนาคตอันใกล้ ในกรณีที่เป็นผู้ใช้แบบจำลองควรที่จะต้องทำความเข้าใจสมมุติฐานของแบบจำลองที่ตนเองใช้อยู่

หลักการสำคัญของการวิจัยอย่างเป็นระบบคือต้องมีความเข้าใจของระบบทั้งหมดเท่าที่จะทำได้ อาจจะโดยการรวบรวมองค์ความรู้ทั้งในและต่างประเทศในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำความเข้าใจนั้น ๆ ไปประกอบการคาดการณ์การตอบสนองของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการผลิต ความเข้าใจระบบมีความแตกต่างกันตามลำดับชั้นของระบบ ซึ่งต้องมีความถูกต้องและความละเอียดตามมาตรฐานในแง่เวลา (temporal

dimension) และระยะทาง (spatial dimension) เช่นความละเอียดและมาตส่วนของระบบพลวัตรของน้ำในดิน อาจจะมีควมละเอียดในด้านเวลาเป็นรายชั่วโมง ในขณะที่ระบบการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักพืชมีความละเอียดเป็นรายวัน เป็นต้น ในบางโอกาสเราสามารถพิจารณาความละเอียดของแปลงปลูกอ้อยที่มีขนาดหลายพันไร่มีความสม่ำเสมอเปรียบเสมือนต้นอ้อยต้นเดียวกัน และในทางตรงกันข้ามต้นอ้อยเพียงกอเดียวก็มีความละเอียดถึงระดับเซลล์และยีน นักพัฒนาแบบจำลองระบบสามารถพัฒนาแบบจำลองให้มีความละเอียดได้ในทุกระดับขึ้นอยู่กับฐานข้อมูลงานทดลองที่นำมาประกอบการพัฒนาแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาจากมุมของการใช้งานแบบจำลองเพื่อการคาดการณ์ผลลัพธ์ของระบบจะเห็นได้ว่าเรามีขอบเขตธรรมชาติให้สร้างแบบจำลองที่มีความละเอียดเฉพาะส่วนที่จำเป็นเท่านั้น

การปฏิบัติงานให้เป็นระบบ สามารถประสานผลงานวิจัยของแต่ละส่วนได้นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ผู้ชำนาญการจากหลายสาขาวิชา (inter and multidisciplinary approach) ทุกสาขาวิชามีส่วนร่วมในการพัฒนาองค์ความรู้หรือมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาอย่างเท่าเทียมกัน ในระดับที่เล็กกว่าต้นพืชนักวิชาการสรีระวิทยาพืช และนักวิชาการชีวเทคโนโลยีมีส่วนในการค้นหาคำตอบมากกว่านักเขตกรรม หรือนักปฐพีศาสตร์ ในขณะที่นักเศรษฐศาสตร์มีส่วนมากกว่าสาขาวิชาอื่นถ้าเกี่ยวข้องกับการวางแผน การตลาดของสินค้าการเกษตรแบบจำลองพืชที่กล่าวมาแล้วนั้นไม่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิต การตลาด และการขนส่งสินค้าการเกษตรได้ทั้งหมด แบบจำลองระบบไม่ได้หยุดที่แบบจำลองพืช และ/หรือแบบจำลองสัตว์เท่านั้น

วิธีการนี้เป็นที่ยอมรับอย่างรวดเร็วในวงการเกษตรต่างประเทศ อัตราการเพิ่มขึ้นของโปรแกรมแบบจำลองพืชต่าง ๆ มีสูงมาก คำถามที่น่าสนใจในประเทศไทย คือ เราพร้อมที่จะเริ่มใช้แบบจำลองหรือไม่และเมื่อใดเพื่อให้เป็นเครื่องมือและเป็นโครงสร้างงานวิจัยร่วมกันในช่วงปี 2000

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

โครงสร้างงานทดลองวันปลูกอ้อยชุดที่หนึ่ง  
และสอง

ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

(อ้อยปลูก และอ้อยตอ 1 ของชุดที่หนึ่ง และ  
อ้อยปลูก ของชุดที่สอง)

เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง อรรถชัย จินตะเวช และสุวิทย์ เลหาศิริวงศ์

**งาน**ทดลองอิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อยปลูกและอ้อยตอปีหนึ่งและอ้อยตอปีที่สองเป็นงานทดลองที่มีจุดประสงค์หลักเพื่อการสร้างฐานข้อมูลขั้นต่ำสำหรับการพัฒนาการและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย ฐานข้อมูลที่จะพัฒนาในเมื่อจบการทดลองประกอบไปด้วย ข้อมูลภูมิอากาศเกษตรรายวัน ข้อมูลการจัดการผลิ้อ้อย ข้อมูลสัมประสิทธิ์พันธุกรรมอ้อย และข้อมูลดิน ฐานข้อมูลทั้งสี่ฐานนี้มีโครงสร้างเดียวกันกับฐานข้อมูลในระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางเกษตร (DSSAT 3.0 และ 3.1) จากการสำรวจและการตรวจสอบพบว่ายังไม่มีหน่วยงานทั้งของภาครัฐและภาคเอกชนได้ดำเนินงานทดลองเพื่อจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวสำหรับอ้อยในประเทศไทย

จุดประสงค์จำเพาะของงานทดลองนี้มีสามประการคือ 1) เพื่อศึกษาการตอบสนองของอ้อยสองพันธุ์คือ พันธุ์ K และพันธุ์ U ที่มีต่อวันปลูกสัปดาห์ปลูก 2) เพื่อรวบรวมข้อมูลจากสนามที่มีความสมบูรณ์เพียงพอต่อการพัฒนาและทดลองแบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0 และ 3) เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ความสัมพันธ์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรสภาพแวดล้อมและตัวแปรองค์ประกอบผลผลิตอ้อย รวมทั้งพยายามชี้แนวทางที่ควรดำเนินการวิจัย

## สถานที่ทดลอง

ดำเนินการทดลองในสามจุดตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

| หน่วยงาน                                                           | จุดที่ทำแปลงทดลอง                      | ชื่อชุดดิน |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------|
| • ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร                       | 14°18'N 99°52'E<br>593213 1581374 UTM  | กำแพงแสน   |
| • แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น         | 16°28'N 102°48'E<br>265940 1821986 UTM | ยโสธร      |
| • สถานีวิจัยและฝึกอบรมแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | 18°45'N 98°55'E<br>492508 2074117 UTM  | สดีก       |

## การตรวจวัดสภาพอากาศเกษตร

ได้ทำการติดตั้งเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศเกษตรทั้งสามจุดที่ดำเนินการทดลอง โดยเครื่องของบริษัท UNIDATA ทำการตรวจวัดเป็นราย 10 นาที และคำนวณเป็นรายวันตามโครงสร้างแฟ้มข้อมูลของ DSSAT 3.0 ทำการตรวจวัดระดับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ระดับอุณหภูมิอากาศสูงสุด-ต่ำสุด และปริมาณน้ำฝน

## วิธีการทดลองและวิธีการวัดค่าตัวแปร

วางแผนงานทดลองเป็นสองงานทดลอง ๆ ละ สองวันปลูก งานทดลองทั้งสองชุดวางแผนงานทดลองแบบ split plot มีสามซ้ำ วันปลูกเป็น main plot และพันธุ์อ้อยเป็น sub plot งานทดลองชุดที่หนึ่งมีวันปลูกที่ทำการเปรียบเทียบสองวันปลูก คือ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ หรือ 2 มีนาคม 2538 (D1) และ วันที่ 28 เมษายน 2538 (D2) งานทดลองชุดที่สองมีสองวันปลูก คือ วันที่ 1 หรือ 19 พฤศจิกายน 2538 (D3) และ วันที่ 10 หรือ 16 มกราคม 2539 (D4)

ใช้อ้อยสองพันธุ์คือ K และ U แปลงย่อยมีขนาด  $16.9 \times 15.0$  เมตร โดยมีระยะระหว่างแถวเป็น 130 ซม. ระยะระหว่างต้นอ้อยในแต่ละแถว 50 ซม. แปลงย่อยหนึ่งมี 14 แถว ๆ ละ 31 ต้น แบ่งแถวอ้อยทั้ง 14 แถว เป็นสามส่วน ๆ ละ สี่แถว เพื่อทำการติดตามพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อยตลอดเวลาสามปี ปีแรกเก็บเกี่ยวแถวที่สามและแถวที่สี่ ปีสองเก็บเกี่ยวแถวที่เจ็ดและแปด ปีสามเก็บเกี่ยวแถวที่ 11 และ 12

ในแถวคู่ที่สำรองไว้เพื่อการเก็บเกี่ยวในแต่ละปีนั้นทำการกำหนดต้นอ้อยไว้ 14 ต้น เพื่อเป็นตัวแทนในการติดตามพัฒนาการของอ้อยทั้งสองพันธุ์ ให้นำสับดาห้ละสองครั้งในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2538 และ 2539 ครั้งละประมาณ 20 มม. ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ เมื่ออ้อยมีอายุได้สองและสามเดือนตามลำดับ มีการกำจัดวัชพืชทั้งแบบวิธีกลและใช้สารเคมี รวมทั้งมีการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูอ้อยตามความจำเป็น

ทำการบันทึกข้อมูลรายต้น ได้แก่ วันที่ใบแต่ละใบแผ่เต็มที่ โดยตรวจวัดจาก 14 ต้น ของแต่ละแปลงย่อย จดวันที่ร้อยละ 50 ของต้นในแปลงย่อยมีใบแผ่เต็มที่ เก็บเกี่ยวกออ้อยตัวอย่างทั้งกอจำนวนสองกอ ในระหว่างการเจริญเติบโต ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละปีระหว่างปี 2538 2539 2540 และ 2541 เพื่อหาพื้นที่ใบ นับจำนวนลำอ้อย แล้วทำการแยกส่วนต่าง ๆ ออกเป็น ส่วนของต้นอ้อย ส่วนของใบอ้อย ส่วนของกาบใบอ้อย และ ส่วนของรวงอ้อย ทำการตากแห้งและชั่งน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน

การวิเคราะห์องค์ประกอบความหวานได้จัดส่งลำต้นของอ้อยไปที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีเพื่อตรวจวัดค่าองค์ประกอบความหวาน ได้แก่ %polarity, %brix, และ %fiber คำนวณค่า CCS และ ปริมาณ monosaccharides โดยวิธีการวิเคราะห์เดียวกันเพื่อลดความคลาดเคลื่อนซึ่งอาจเกิดจากวิธีวิเคราะห์ ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตจาก 14 กอ ของแต่ละปีในแปลงย่อย และบันทึก จำนวนลำอ้อยทั้งหมด น้ำหนักสดของต้นอ้อย สุ่มตัวอย่างลำอ้อยหนึ่งลำต่อกอเพื่อส่งที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ทำการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบความหวาน และปริมาณ monosaccharides.

## การเก็บข้อมูลดิน

ก่อนการปลูกอ้อยทำการเก็บตัวอย่างดินทุกแปลงย่อยตามระดับความลึกของชั้นดิน และส่งห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าเริ่มต้นของปริมาณธาตุไนโตรเจนในรูปของไนเตรทและแอมโมเนียม ค่าระดับความเป็นกรด-เป็นด่างของดิน (pH) และค่าความชื้นดิน

### การรายงานผลการทดลอง

เนื่องจากงานทดลองทั้งสองชุดยังอยู่ในระหว่างการดำเนินการทดลอง รายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการ พทอ. ระยะแรกประกอบด้วยรายงานผลการทดลองอิทธิพลของวันปลูก (D1 และ D2) ที่มีต่ออ้อยปลูกและอ้อยตอปีหนึ่งของงานทดลองชุดที่หนึ่ง และ ผลการทดลองอิทธิพลของวันปลูก (D3 และ D4) ที่มีต่ออ้อยปลูกของงานทดลองชุดที่สอง (อรรถชัย และคณะ, สุวิทย์ และคณะ, และเฉลิมพล และคณะ ในรายงานฉบับนี้)

---

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

การทดลองวันปลูกอ้อยชุดที่หนึ่งและสอง  
ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี

(อ้อยปลูก และอ้อยตอ 1 ของชุดที่หนึ่ง และ  
อ้อยปลูก ของชุดที่สอง)

เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง นิพนธ์ เอี่ยมสุภาชาติ ปรีชา พราหมณีย์ และ  
ผาสุข ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์

**ใบ** ต.ภาคกลางและเขตภาคตะวันตกของประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยรวมกัน 2,637,898 ไร่ (ฤดูการผลิต 2536/2537 หรือประมาณร้อยละ 53 ของพื้นที่ปลูกอ้อยรวมทั้งประเทศ แหล่งปลูกอ้อยดังกล่าวจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการผลิตอ้อย และน้ำตาลของประเทศ ในการพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย จำเป็นต้องนำปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการผลิตพืช เข้ามาประกอบในการคำนวณ ดังนั้น การศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยภายใต้สภาพแวดล้อมในเขตภาคกลางและเขตภาคตะวันตก จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีตั้งอยู่ในเขตปลูกอ้อยแหล่งใหญ่ของประเทศ ซึ่งถือเป็นตัวแทนของการปลูกอ้อยเขตตะวันตกทั้งหมด จึงได้เข้าร่วมศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยภายใต้โครงการการพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองของอ้อยในสภาพแวดล้อมดังกล่าว การศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อยดำเนินการกับอ้อยสองพันธุ์ในเขตตะวันตก ที่มีวันปลูกในเดือนต่าง ๆ กัน คือเดือนมีนาคมและพฤษภาคม 2538 (อ้อยชุดที่หนึ่ง) และเดือนพฤศจิกายน 2538 และเดือนมกราคม 2539 (อ้อยชุดที่สอง) เพื่อทำความเข้าใจอิทธิพลของวันปลูกและพันธุ์อ้อยที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย

### อุปกรณ์ทดลองและวิธีการวัดค่าตัวแปร

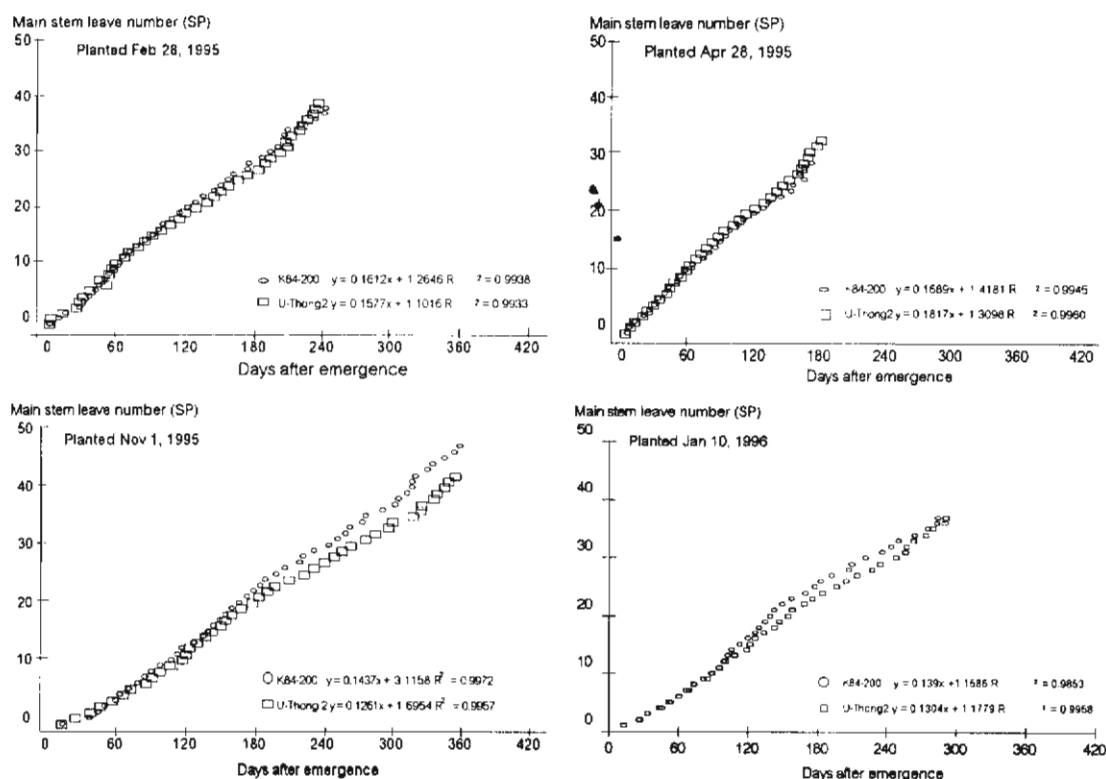
ดำเนินการทดลองในดินชุดกำแพงแสน ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Typic Haplustalfs; fine-silty mixed ตามระบบอนุกรมวิธานดิน Soil Taxonomy (1975) งานทดลองชุดที่หนึ่งมีสองวันปลูกคือวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2538 วันที่ 28 เมษายน 2538 งานทดลองชุดที่สองมีสองวันปลูกคือวันที่ 1 พฤศจิกายน 2538 และวันที่ 10 มกราคม 2539 แปลงทดลองอ้อยมีการไถกลบตอซังข้าวฟ่าง ไถดินดาน ไถพรวนแล้วยกร่องให้มีระยะระหว่างร่อง 1.30 เมตร เตรียมท่อนพันธุ์อ้อยเพื่อปลูกในแต่ละชุดโดยตัดพันธุ์ท่อนละหนึ่งตา แช่น้ำร้อนที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลาสองชั่วโมง จากนั้นแช่ท่อนพันธุ์ในสารเคมี bayleton อัตรา 16 มิลลิกรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร เป็นเวลา 20 นาที ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 รองพื้นร่องก่อนปลูกในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้สารเคมี carbofuran ในอัตรา 6 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อป้องกันการทำลายของหนอนเจาะยอดอ้อย จากนั้นกลบบาง ๆ ด้วยดินก่อนวางท่อนพันธุ์อ้อยวางท่อนพันธุ์อ้อยกลางร่องให้มีระยะห่างระหว่างกิ่งกลางท่อนพันธุ์ประมาณ 50 เซนติเมตร ให้น้ำตามร่อง (furrow irrigation) ก่อนอ้อยงอกฉีดพ่นสารเคมี atrazine (เกสาพริม 80) อัตรา 1 กิโลกรัมต่อไร่เพื่อควบคุมวัชพืชเมื่ออ้อยอายุ 2 เดือน ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยเปิดร่องข้างแถวอ้อย โรยปุ๋ยแล้วพรวนดินกลบ ในระยะแรกเก็บตัวอย่างดินทุก 2 สัปดาห์ ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อหาความชื้นโดยวิธี gravimetric เมื่ออ้อยอายุสี่เดือนพ่นสารเคมี endosulfan (อีโอดาน) ในอัตรา 35 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร เพื่อป้องกันหนอนกอทั้งอ้อยปลูกและอ้อยตอ สำหรับการปฏิบัติในอ้อยตอ ซึ่งหลังจากตัดอ้อยปลูกแล้วทำการแต่งตอ โดยใช้จอบและมือแต่งตออ้อยให้ชิดดิน รวมทั้งหน่อที่งอกจากตออ้อยเหนือดิน เพื่อให้หน่ออ้อยที่งอกใหม่เป็นหน่อที่งอกจากใต้ดิน หลังจากแต่งตอแล้วทำการให้น้ำและใส่ปุ๋ยเกรด 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

## ผลการทดลอง

## พัฒนาการของใบอ้อย (cane phenology)

ผลจากงานทดลองอ้อยชุดที่หนึ่งพบว่าอ้อยทั้งสองพันธุ์ (K และ U) มีอัตราการพัฒนาใบที่ใกล้เคียงกัน คือมีอัตราเพิ่มขึ้นของใบเท่ากับ 0.16 และ 0.17 ใบต่อวันสำหรับอ้อยพันธุ์ K และ 0.16 และ 0.18 ใบต่อวันสำหรับอ้อยพันธุ์ U เมื่อปลูกวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2538 และ วันที่ 28 เมษายน 2538 ตามลำดับ ส่วนงานทดลองอ้อยชุดที่สองพบว่าอ้อยทั้งสองพันธุ์ (K และ U) มีอัตราการพัฒนาใบที่ใกล้เคียงกัน คือมีอัตราเพิ่มขึ้นของใบเท่ากับ 0.14 และ 0.14 ใบต่อวันสำหรับอ้อยพันธุ์ K และ 0.13 และ 0.13 ใบต่อวันสำหรับอ้อยพันธุ์ U เมื่อปลูกในวันที่ 1 พฤศจิกายน 2538 และ 10 มกราคม 2539 ตามลำดับ (รูปที่ 12) เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของใบอ้อยในงานทดลองชุดที่สองมีอัตราเพิ่มน้อยกว่าอัตราการเพิ่มในงานทดลองชุดที่หนึ่ง นั่นคือจะสร้างใบได้น้อยกว่าต่อวัน เชื่อว่าน่าจะมีผลมาจากช่วงฤดูปลูก นอกจากนี้พบว่ากาเกิดของใบอ้อยใบที่หนึ่งลดลงจาก 48 วันในเดือนพฤศจิกายนเหลือเพียง 18 วัน

รูปที่ 12: พัฒนาการของใบอ้อยปลูก สถานีศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี (2538)



เมื่อปลูกในเดือนเมษายน ซึ่งให้เห็นได้ชัดเจนขึ้นว่าช่วงปลูกมีผลต่อพัฒนาการของใบอ้อยเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างในส่วนนี้อาจเป็นผลมาจากระยะเวลาการปลูกที่แตกต่างกัน ซึ่งน่าจะมีผลมาจากอุณหภูมิที่ต่างกัน จำนวนวันที่อ้อยทั้งสองพันธุ์ใช้ในการพัฒนาใบหนึ่งใบนั้นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะเห็นได้ชัดในวันปลูก เดือนเมษายน โดยอ้อยพันธุ์ U ใช้เวลาสั้นกว่าในการพัฒนาใบหนึ่งใบ อย่างไรก็ตามในช่วงเก็บเกี่ยวจำนวนใบที่พัฒนาได้ในพันธุ์ U มี 38 ใบ และ 34 ใบ และในพันธุ์ K มี 36 ใบ และ 30 ใบ ในช่วงปลูกที่ 28 กุมภาพันธ์ และ 28 เมษายน ตามลำดับ ส่วนในวันปลูก เดือนพฤศจิกายน และ เดือนมกราคม จำนวนใบทั้งหมดตั้งแต่แรกถึงระยะเก็บเกี่ยวอ้อยพันธุ์ K และ U มีจำนวนใบทั้งหมด 46 และ 43 ใบ ตามลำดับ และในงานทดลองชุดที่สองมีใบรวมทั้งหมด 39 ใบเท่ากันทั้งสองพันธุ์ ความแตกต่างของจำนวนใบจะขึ้นกับช่วงอายุในส่วน of vegetative phase และอายุในการเก็บเกี่ยว

นอกจากนี้ยังพบการออกดอกของอ้อยทั้งสองพันธุ์ในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน 2538 ถึงปลายธันวาคม 2538 พันธุ์ U ส่วนใหญ่จะอยู่ในระยะออกดอกทั้ง 2 ช่วงฤดูปลูก และพันธุ์ K ส่วนใหญ่จะอยู่ในระยะตั้งท้อง (28 กุมภาพันธ์ และ 28 เมษายน) ซึ่งให้เห็นว่า พันธุ์ U น่าจะเป็นพันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive) มากกว่าพันธุ์ K ซึ่งอาจจะเป็นพันธุ์ที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง (photoperiod non-sensitive) นั่นคือ เมื่อปลูกถึงอายุที่เหมาะสมถึงจะออกดอก โดยที่ช่วงแสงไม่มีส่วนในการกระตุ้นกระบวนการออกดอก ซึ่งยืนยันให้เห็นได้จากการปลูกในช่วง 1 พฤศจิกายน และ 10 มกราคม ที่พบว่าพันธุ์ U จะออกดอกในช่วงเดือนพฤศจิกายนเช่นกัน ขณะที่พันธุ์ K ไม่พบการออกดอก

### น้ำหนักลำสัดของอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่หนึ่ง

อ้อยพันธุ์ U ให้ผลผลิตสูงกว่าอ้อยพันธุ์ K (ตารางที่ 3) ทั้งการปลูกอ้อยต้นฝนหรือปลายฝน เนื่องจากอ้อยพันธุ์ U มีการเจริญเติบโตในระยะแรกดีกว่าและมีการแตกกอมากกว่า อย่างไรก็ตาม ผลผลิตอ้อยตอทั้งสองพันธุ์อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน

อ้อยปลายฤดูฝน (วันปลูกเดือนพฤศจิกายนและเดือนมกราคม) ให้ผลผลิตสูงกว่าอ้อยต้นฤดูฝนเนื่องจากมีช่วงระยะเวลาเจริญเติบโตถึงเก็บเกี่ยว (growth duration) ยาวกว่าโดยเฉพาะอ้อยพันธุ์ U ทำให้มีระยะการสะสมมวลชีวภาพเหนือดิน (above ground biomass) ได้มากกว่า

### การเจริญเติบโตของอ้อย (cane growth)

น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพเหนือผิวดิน อ้อยที่ปลูกเดือนกุมภาพันธ์มีการสะสมน้ำหนักแห้งได้รวดเร็วกว่าอ้อยที่ปลูกในเดือนเมษายน (ตารางที่ 6) อย่างไรก็ตาม อ้อยในวันปลูก เดือนกุมภาพันธ์มีการสะสมน้ำหนักแห้งของอ้อยในอัตราสูงโดยเฉพาะช่วงแรกของการเจริญเติบโต และลดลงในระยะหลังซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในรูปของ polynomial ขณะที่การสะสมน้ำหนักแห้งของอ้อย เดือนเมษายน จะเพิ่มขึ้นในลักษณะของเส้นตรง (linear) จนเท่ากับอ้อย เดือนกุมภาพันธ์ เมื่อระยะประมาณเก้าเดือนหลังปลูก อาจเนื่องจากอ้อยทั้งสองวันปลูกออกดอกพร้อมกัน อ้อย เดือนเมษายน มีช่วงการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น (vegetative growth) สั้นกว่า

Table 5: จำนวนลำอ้อย (ลำ/ไร่) และน้ำหนักอ้อยสด (ตัน/ไร่) ของอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่หนึ่ง พันธุ์ K และ U เมื่อเก็บเกี่ยว แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี

| Dates/Cultivars                  | Stalk density rai <sup>-1</sup> |        | Stalk wt. tonnes rai <sup>-1</sup> |      |
|----------------------------------|---------------------------------|--------|------------------------------------|------|
|                                  | K                               | U      | K                                  | U    |
| ----- Plant crop (1995-96) ----- |                                 |        |                                    |      |
| D1                               | 7,509                           | 10,306 | 17.7                               | 19.5 |
| D2                               | 7,443                           | 10,608 | 12.6                               | 20.8 |
| D3                               | 12,568                          | 13,805 | 19.8                               | 26.0 |
| D4                               | 9,641                           | 12,132 | 15.3                               | 20.4 |
| ----- Ratoon 1 (1996) -----      |                                 |        |                                    |      |
| D1                               | 13,761                          | 15,132 | 24.4                               | 21.6 |
| D2                               | 11,875                          | 14,125 | 26.4                               | 28.9 |

ซึ่งถ้าปล่อยให้มิวัชระ vegetative growth เท่ากัน ความสัมพันธ์กับระยะเวลาอาจจะอยู่ในรูปของ polynomial เช่นเดียวกัน

สำหรับอ้อยตอปีที่หนึ่งมีความแตกต่างระหว่างพันธุ์อ้อย อ้อยพันธุ์ U ที่ปลูกในเดือนกุมภาพันธ์และเดือนเมษายน เมื่อตัดในเวลาเดียวกันทำให้อ้อยตอทั้งออกออกมามีการเจริญเติบโตเท่ากัน อ้อยปลูกพันธุ์ K ที่ปลูกในเดือนกุมภาพันธ์เมื่อตัดแล้วมีการเจริญเติบโตของหน่ออ้อยสูงกว่าอ้อยที่ปลูกในเดือนเมษายน แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของหน่ออ้อยตอปีที่หนึ่งของพันธุ์ K ขึ้นอยู่กับอายุของอ้อยปลูก ถ้าอ้อยปลูกอายุมากหน่ออ้อยจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า อาจเนื่องจากการสะสมธาตุอาหารได้สูงกว่า

กล่าวโดยสรุป การสะสมน้ำหนักแห้งรวมของอ้อยพันธุ์ K และ U เมื่อปลูกในเดือนกุมภาพันธ์ เป็นไปอย่างช้า ๆ ในระยะ 6-8 เดือนแรกของการเจริญเติบโต หลังจากนั้น จะเริ่มสะสมในอัตราที่มากขึ้น ซึ่งเป็นช่วงที่อ้อยกำลังยืดปล้องอย่างเต็มที่ ดูเหมือนว่าพันธุ์ U มีการสะสมน้ำหนักแห้งได้สูงกว่าพันธุ์ K ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ทั้งในการปลูกในเดือนกุมภาพันธ์ รวมทั้งในอ้อยตอทั้งสองช่วงฤดูปลูก ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลมาจาก พันธุกรรมที่ต่างกัน ที่น่าสังเกต ในอ้อยปลูกพันธุ์ U จากอายุที่เท่ากันในแต่ละช่วงปลูก จะพบว่า ช่วงปลูกในเดือนพฤศจิกายน สะสมน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด ขณะที่ช่วงปลูก เดือนเมษายน มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากที่สุด ซึ่งให้เห็นว่า ช่วงฤดูปลูกมีผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของอ้อยพันธุ์ U ลักษณะเช่นนี้พบได้ในพันธุ์ K เช่นกัน

**น้ำหนักสดของลำต้น** ตารางที่ 6 และ 7 แสดงการสะสมน้ำหนักสดของลำต้นอ้อยทั้งสี่วันปลูก ในอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่หนึ่งตามลำดับ พบว่าอ้อยที่ปลูกปลายฤดูฝน (วันปลูก D3 และ D4) จะมีการสะสมน้ำหนักสดสูงกว่าอ้อยที่ปลูกต้นฤดูฝนระหว่างเดือนมีนาคมและพฤษภาคม อย่างไรก็ตาม อ้อยปลูกปลายฤดูฝน มีช่วงระยะเวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวยาวนานกว่า ทำให้ช่วงสุดท้ายจะมีน้ำหนักต้นสดสูงกว่า อิทธิพลของช่วงระยะการเจริญเติบโต ต่อการสะสมน้ำหนักสดของอ้อยแสดงให้เห็นชัดเจนในอ้อยตอปีที่หนึ่ง ทั้ง 2 วันปลูก ซึ่งพบว่าอ้อยตอปีที่หนึ่ง มีน้ำหนักสดสูงกว่าอ้อยปลูก นอกจากนี้ยังพบว่า มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์โดยอ้อยพันธุ์ U จะสร้างน้ำหนักสดได้มากกว่าพันธุ์ K ไม่ว่าจะปลูกเมื่อใด รวมทั้งน้ำหนักสดของอ้อยตอด้วย

ตารางที่ 6: น้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพเหนือผิวดินของอ้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่-สุพรรณบุรี 2538-2539

| D1  |      |      | D2  |      |      | D3  |      |      | D4  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
|     |      |      |     |      |      | 117 | 0.03 | 0.03 | 20  | 0.01 | 0.01 |
| 98  | 1.39 | 2.48 | 33  |      |      | 160 | 0.31 | 0.31 | 63  | 0.08 | 0.11 |
| 138 | 2.45 | 2.82 | 73  |      |      | 208 | 1.23 | 1.03 | 111 | 0.38 | 1.65 |
| 172 | 1.71 | 3.00 | 107 | 1.47 | 2.26 | 237 | 1.85 | 2.75 | 140 | 1.50 | 1.37 |
| 200 | 1.96 | 1.96 | 135 |      |      | 266 | 2.22 | 2.01 | 169 | 1.27 | 1.97 |
| 235 | 2.79 | 2.55 | 170 | 1.69 | 4.45 | 299 | 3.33 | 2.89 | 202 | 1.68 | 2.35 |
| 250 | 4.99 | 5.24 | 185 | 3.26 | 4.65 | 334 | 2.00 | 2.25 | 237 | 1.89 | 2.68 |
|     |      |      |     |      |      | 363 | 4.43 | 4.37 | 266 | 2.84 | 4.82 |
|     |      |      |     |      |      | 391 | 3.15 | 5.03 | 294 | 3.40 | 4.80 |

ตารางที่ 7: น้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพเหนือผิวดินของอ้อยตอปีที่หนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่-สุพรรณบุรี 2539

| D1  |      |      | D2  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 97  | 0.22 | 0.21 | 97  | 0.22 | 0.39 |
| 137 | 1.95 | 1.76 | 137 | 1.12 | 1.93 |
| 165 | 3.40 | 3.24 | 165 | 1.54 | 2.63 |
| 204 | 3.40 | 3.55 | 204 | 2.58 | 4.37 |
| 231 | 3.53 | 2.66 | 231 | 1.85 | 2.45 |
| 265 | 3.70 | 2.22 | 265 | 3.01 | 4.90 |
| 307 | 3.01 | 3.07 | 307 | 1.41 | 2.91 |

น้ำหนักแห้งของลำต้น ในอ้อยปลูกพันธุ์ U มีการเพิ่มขนาดของลำได้รวดเร็วกว่าอ้อยพันธุ์ K อย่างมาก (ตารางที่ 10) โดยเฉพาะระยะแรกของการเจริญเติบโต อ้อยพันธุ์ U ถ้าปลูกใน เดือนเมษายน มีการพัฒนาขนาดของลำได้มากกว่าการปลูกใน เดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งอาจจะเพราะอ้อยได้รับน้ำฝนเต็มที่ อย่างไรก็ตามลักษณะ การเจริญเติบโตดังกล่าวจะตรงกันข้ามในอ้อยพันธุ์ K พบว่า อ้อยพันธุ์ K จะเพิ่มขนาดลำได้ในอัตราที่สูงกว่า ถ้าปลูกในเดือนมีนาคม ซึ่งคงจะเป็นธรรมชาติของอ้อยพันธุ์ K เอง ที่มีการเจริญเติบโตช้ามากในระยะแรกของการเจริญเติบโต อ้อยที่ปลูกเดือนมีนาคมจะค่อย ๆ เจริญเติบโตจนถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสูงพอดีกับได้รับน้ำฝนเต็มที่จึงเพิ่มขนาดลำได้เร็วขึ้น ขณะที่อ้อยปลูกเดือนพฤษภาคมกำลังจะเริ่มเจริญเติบโตด้วยอัตราที่ช้ากว่าหลังจากตัดอ้อยปลูกไปแล้วพบว่า ขนาดของลำอ้อยตอปีที่หนึ่งเมื่ออายุหกเดือนไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งสองพันธุ์และสองวันปลูก (ตารางที่ 10) แต่อ้อยพันธุ์ K ที่ปลูกในเดือนพฤษภาคมมีขนาดลำของอ้อยตอปีที่หนึ่งที่อายุหกเดือนต่ำที่สุด

ลักษณะเช่นนี้จะนำไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่า น้ำหนักแห้งของอ้อยตอ วันปลูกที่หนึ่งจะสูงกว่าวันปลูกที่สองอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 11) แสดงว่า อ้อยที่มีระยะเวลากการเจริญเติบโตในอ้อยปลูกยาวนานกว่า ทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งของอ้อยตอสูงกว่า ขณะเดียวกันอ้อยตอพันธุ์ U ทั้งสองวันปลูกมีน้ำหนักแห้งสูงกว่าพันธุ์ K

สำหรับอ้อยปลายฝน (ปลูกเดือนพฤศจิกายนและเดือนมกราคม) จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของลำต้น (ตารางที่ 10) ลักษณะเช่นเดียวกับอ้อยที่ปลูกในเดือนมีนาคม และพฤษภาคม โดยอ้อยพันธุ์ U จะมีการสะสม

น้ำหนักต้นแห้งสูงกว่าพันธุ์ K แต่อ้อยที่ปลูกในเดือนพฤศจิกายนจะมีการสะสมน้ำหนักต้นแห้งสูงกว่าอ้อยที่ปลูกในเดือนมกราคม อาจเป็นเพราะอุณหภูมิต่ำ ในช่วงเดือนมกราคม

ตารางที่ 8: น้ำหนักสดของลำต้นอ้อยปลูก (กิโลกรัม ต่อม<sup>2</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่นาสุพรรณบุรี 2538-2539

| D1  |       |       | D2  |      |       | D3  |       |       | D4  |      |       |
|-----|-------|-------|-----|------|-------|-----|-------|-------|-----|------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K    | U     | DAE | K     | U     | DAE | K    | U     |
| 41  | 0.02  | 0.05  |     |      |       | 117 | 0.00  | 0.00  | 20  | 0.00 | 0.00  |
| 98  | 3.56  | 6.71  | 33  |      |       | 160 | 0.27  | 0.42  | 63  | 0.04 | 0.04  |
| 138 | 8.23  | 10.67 | 73  |      |       | 208 | 5.08  | 3.54  | 111 | 0.96 | 5.16  |
| 172 | 10.21 | 13.67 | 107 | 2.92 | 10.28 | 237 | 5.23  | 9.03  | 140 | 2.21 | 5.13  |
| 200 | 7.77  | 11.87 | 135 |      |       | 266 | 6.03  | 7.18  | 169 | 3.51 | 6.85  |
| 235 | 10.08 | 9.79  | 170 | 4.36 | 41.36 | 299 | 8.97  | 9.62  | 202 | 5.38 | 8.38  |
| 243 | 11.07 | 12.21 | 185 | 7.90 | 13.01 | 334 | 6.82  | 6.26  | 237 | 6.18 | 11.44 |
|     |       |       |     |      |       | 363 | 12.74 | 14.05 | 266 | 8.90 | 16.08 |
|     |       |       |     |      |       | 391 | 9.26  | 15.31 | 294 | 9.79 | 13.28 |

ตารางที่ 9: น้ำหนักสดของลำต้นอ้อยต่อปีที่หนึ่ง (กิโลกรัม ต่อม<sup>2</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่นาสุพรรณบุรี 2539

| Date 1 |       |       | Date 2 |      |       |
|--------|-------|-------|--------|------|-------|
| DAE    | K     | U     | DAE    | K    | U     |
| 97     | 0.13  | 0.19  | 97     | 0.05 | 0.23  |
| 137    | 5.95  | 5.23  | 137    | 2.15 | 5.92  |
| 165    | 9.15  | 8.21  | 165    | 3.72 | 9.18  |
| 204    | 5.23  | 9.03  | 204    | 2.21 | 5.13  |
| 231    | 13.36 | 11.64 | 231    | 3.64 | 9.51  |
| 265    | 12.72 | 7.90  | 265    | 7.49 | 18.00 |
| 307    | 23.18 | 11.33 | 307    | 3.13 | 8.62  |
| 329    | 15.64 | 26.26 | 329    | 6.97 | 19.90 |

**น้ำหนักแห้งของใบและกาบใบ** การสะสมน้ำหนักแห้งของใบและกาบใบอ้อยมีลักษณะเช่นเดียวกับการสะสมน้ำหนักของลำอ้อย ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างของพันธุ์ โดยเฉพาะในอ้อยปลูก อ้อยพันธุ์ U จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของใบได้เร็วกว่าพันธุ์ K ไม่ว่าจะปลูกเดือนมีนาคม หรือพฤษภาคม (ตารางที่ 12 และ 13) อย่างไรก็ตาม หลังจากตัดอ้อยปลูกไปแล้ว การสะสมน้ำหนักแห้งของใบในอ้อยต่อปีที่หนึ่ง ทั้งสองวันปลูก ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ โดยอ้อยปลูกพันธุ์ U จะมีน้ำหนักแห้งสูงกว่า U อ้อยพันธุ์ K ซึ่งปลูกในเดือนพฤษภาคม จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งของใบต่ำที่สุด เมื่อวัดที่อ้อยต่อปีที่หนึ่ง มีอายุ 250 วัน ขณะที่จำนวนใบของอ้อยต่อปีที่หนึ่ง ไม่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง ไม่ว่าจะเป็นระหว่างพันธุ์ หรือระหว่างวันปลูก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าอ้อยปลูกไม่ว่าจะมีอายุเท่าไรถูกตัดเวลาเดียวกัน อ้อยต่อปีที่หนึ่ง ทั้งสองวันปลูกจะมีพัฒนาการของใบใกล้เคียงกัน เนื่องจาก เริ่มต้นเป็นอ้อยต่อพร้อมกัน

สำหรับอ้อยที่ปลูกในเดือนพฤศจิกายนและมกราคม ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน คือมีความแตกต่างระหว่างพันธุ์มากกว่าวันปลูก

**การแตกกอ** อ้อยปลูกพันธุ์ U และพันธุ์ K มีการแตกกอในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างมาก (ตารางที่ 14 และ 15) โดยอ้อยพันธุ์ U มีการแตกกอมากกว่าอ้อยพันธุ์ K แต่เมื่อถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยวแล้ว อ้อยทั้งสองพันธุ์มีจำนวนหน่อเท่ากัน การแตกกอของอ้อยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระยะหกลเดือน หลังจากนั้นจะลด-

ตารางที่ 10: น้ำหนักแห้งลำต้นแห้งย่อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่นาพรหมบุรี 2538-2539

| D1  |      |      | D2  |      |      | D3  |      |      | D4  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 41  |      |      | 24  |      |      | 117 | 0.00 | 0.00 | 20  | 0.00 | 0.00 |
| 98  | 0.98 | 1.85 | 33  |      |      | 160 | 0.03 | 0.03 | 63  | 0.00 | 0.00 |
| 138 | 1.45 | 1.29 | 73  |      |      | 208 | 0.45 | 0.39 | 111 | 0.08 | 0.66 |
| 172 | 0.88 | 1.50 | 107 | 1.00 | 1.03 | 237 | 0.68 | 1.22 | 140 | 1.00 | 0.70 |
| 200 | 1.09 | 1.02 | 135 |      |      | 266 | 1.11 | 1.01 | 169 | 0.48 | 1.11 |
| 235 | 1.78 | 1.63 | 170 | 1.01 | 2.86 | 299 | 2.01 | 1.68 | 202 | 0.83 | 1.22 |
| 243 | 3.91 | 4.00 | 185 | 2.51 | 3.60 | 334 | 1.17 | 1.30 | 237 | 1.01 | 1.32 |
|     |      |      |     |      |      | 363 | 2.58 | 2.66 | 266 | 1.63 | 2.79 |
|     |      |      |     |      |      | 391 | 1.94 | 3.43 | 294 | 2.19 | 3.04 |

ตารางที่ 11: น้ำหนักแห้งลำต้นของอ้อยตอปีที่หนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่นาพรหมบุรี 2539

| D1  |      |      | D2  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 97  | 0.02 | 0.02 | 97  | 0.00 | 0.02 |
| 137 | 0.81 | 0.62 | 137 | 0.27 | 0.83 |
| 165 | 1.65 | 1.58 | 165 | 0.75 | 1.34 |
| 204 | 1.55 | 1.58 | 204 | 1.17 | 2.29 |
| 231 | 1.58 | 1.19 | 231 | 0.68 | 1.10 |
| 265 | 2.24 | 1.14 | 265 | 1.48 | 2.81 |
| 307 | 1.96 | 2.01 | 307 | 0.63 | 1.68 |
| 329 | 2.91 | 5.02 | 329 | 1.43 | 3.32 |

ลงจนถึงเก็บเกี่ยว ทั้งนี้ เพราะหน่ออ้อยที่แตกออกมามากในระยะแรกไม่ได้พัฒนาเป็นลำ เมื่อพิจารณาจำนวนหน่อและลำอ้อยที่ปลูกเดือนมีนาคมและพฤษภาคม พบว่ามีลักษณะการพัฒนาของหน่อและลำอ้อยคล้ายคลึงกัน ยกเว้นในช่วงเก็บเกี่ยว ซึ่งอ้อยที่ปลูกในเดือนพฤษภาคม พันธุ์ U ยังคงมีจำนวนหน่อสูงกว่าอ้อยพันธุ์ K ทั้งนี้ช่วงเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวจะสั้นกว่า อ้อยจะยังมีการพัฒนาการแตกกออ้อยอยู่ เมื่อตัดอ้อยไปแล้ว พบว่า อ้อยตอปีที่หนึ่ง จะแตกกอขึ้นมากและแสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างพันธุ์ แต่ไม่ค่อยมีความแตกต่างกันระหว่างอ้อยที่ปลูกในเดือนมีนาคม และพฤษภาคม โดยที่อ้อยพันธุ์ U มีจำนวนหน่อที่แตกขึ้นมาใหม่มากกว่าอ้อยพันธุ์ K อย่างเห็นได้ชัดชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการแตกหน่อของอ้อยเป็นอิทธิพลของ พันธุ์กรรม แต่การพัฒนาจากหน่อที่แตกออกมาเป็นลำที่ให้ผลผลิต จะต้องมียุทธวิธีของสภาพแวดล้อมมาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งจะต้องศึกษาในรายละเอียดต่อไป

การแตกกอของอ้อยที่ปลูกปลายฝน จะไม่ค่อยมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ้อยที่ปลูกในเดือนมกราคม อาจเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่ต่ำมากร่วมด้วย

**ดัชนีพื้นที่ใบอ้อยปลูก** การพัฒนาของอ้อยที่ปลูกในเดือนมีนาคมจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับอ้อยที่ปลูกในเดือนพฤษภาคม (ตารางที่ 16) แต่การพัฒนาพื้นที่ใบมีความแตกต่างกันมากระหว่างพันธุ์ โดยที่พันธุ์ U มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต จนเมื่ออายุได้ประมาณหกเดือน ค่าพื้นที่ใบจึงเริ่มลดลงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว แตกต่างจากพันธุ์ K ซึ่งพื้นที่ใบจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในระยะแรกแต่เป็นการเพิ่มขึ้นในอัตราที่

ตารางที่ 12: น้ำหนักแห้งของใบและก้านใบของอ้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี-2538-2539

| Date 1 |      |      | Date 2 |      |      | Date 3 |      |      | Date 4 |      |      |
|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| DAE    | K    | U    | DAE    | K    | U    | DAE    | K    | U    | DAE    | K    | U    |
| 41     | 4.46 | 4.33 |        |      |      | 117    | 0.03 | 0.03 | 20     | 0.01 | 0.01 |
| 98     | 0.40 | 0.63 | 33     | 0.02 | 0.06 | 160    | 0.29 | 0.27 | 63     | 0.08 | 0.11 |
| 138    | 1.00 | 1.53 | 73     | 0.00 | 0.67 | 208    | 0.78 | 0.64 | 111    | 0.30 | 0.99 |
| 172    | 0.83 | 1.50 | 107    | 0.47 | 1.23 | 237    | 1.17 | 1.54 | 140    | 0.50 | 0.67 |
| 200    | 0.87 | 0.96 | 135    | 0.00 | 0.00 | 266    | 1.11 | 1.00 | 169    | 0.79 | 0.86 |
| 235    | 1.00 | 0.92 | 170    | 0.67 | 1.59 | 299    | 1.31 | 1.21 | 202    | 0.85 | 1.13 |
| 243    | 1.08 | 1.23 | 185    | 0.75 | 1.05 | 334    | 0.83 | 0.95 | 237    | 0.88 | 1.36 |
|        |      |      |        |      |      | 363    | 1.85 | 1.71 | 266    | 1.21 | 2.03 |
|        |      |      |        |      |      | 391    | 1.21 | 1.59 | 294    | 1.20 | 1.76 |

ตารางที่ 13: น้ำหนักแห้งของใบและก้านใบของอ้อยตอปีที่หนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2539

| D1  |      |      | D2  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 97  | 0.20 | 0.19 | 97  | 0.22 | 0.37 |
| 137 | 1.13 | 1.13 | 137 | 0.85 | 1.10 |
| 165 | 1.75 | 1.67 | 165 | 0.79 | 1.29 |
| 204 | 1.85 | 1.98 | 204 | 1.42 | 2.08 |
| 231 | 1.95 | 1.47 | 231 | 1.18 | 1.36 |
| 265 | 1.46 | 1.08 | 265 | 1.54 | 2.09 |
| 307 | 1.04 | 1.06 | 307 | 0.78 | 1.23 |
| 329 | 1.55 | 2.78 | 329 | 1.33 | 2.74 |

ตารางที่ 14: จำนวนหน่อ/ลำ ของอ้อยปลูก (จำนวน ตม<sup>-1</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2538-2539

| Date 1 |      |       | Date 2 |       |       | Date 3 |       |       | Date 4 |      |      |
|--------|------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|------|------|
| DAE    | K    | U     | DAE    | K     | U     | DAE    | K     | U     | DAE    | K    | U    |
| 41     | 6.21 | 5.49  |        |       |       | 117    | 6.41  | 6.15  | 20     | 2.56 | 1.79 |
| 98     | 9.85 | 11.79 | 33     | 5.64  | 4.62  | 160    | 10.51 | 11.54 | 63     | 8.46 | 8.72 |
| 138    | 8.36 | 8.92  | 73     |       |       | 208    | 6.15  | 6.41  | 111    | 9.23 | 8.97 |
| 172    | 7.13 | 8.87  | 107    | 10.00 | 10.26 | 237    | 5.64  | 7.18  | 140    | 8.72 | 7.44 |
| 200    | 6.92 | 8.67  | 135    |       |       | 266    | 6.15  | 7.18  | 169    | 7.18 | 6.92 |
| 235    | 7.44 | 8.56  | 170    | 6.15  | 8.21  | 299    | 8.72  | 7.69  | 202    | 7.18 | 7.18 |
| 243    | 4.92 | 6.31  | 185    | 4.87  | 6.36  | 334    | 7.44  | 6.41  | 237    | 6.92 | 7.18 |
|        |      |       |        |       |       | 363    | 7.44  | 8.46  | 266    | 7.44 | 6.92 |
|        |      |       |        |       |       | 391    | 7.69  | 9.23  | 294    | 6.92 | 6.92 |

ตารางที่ 15: จำนวนหน่อ/ลำ ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง (จำนวน ตม<sup>-1</sup>) ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2539

| D1  |       |       | D2  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 97  | 9.74  | 12.05 | 97  | 11.03 | 21.03 |
| 137 | 13.33 | 22.05 | 137 | 10.26 | 20.26 |
| 165 | 9.74  | 13.85 | 165 | 10.26 | 12.05 |
| 204 | 8.97  | 10.51 | 204 | 8.46  | 10.26 |
| 231 | 8.72  | 9.49  | 231 | 8.21  | 10.00 |
| 265 | 7.95  | 12.31 | 265 | 6.41  | 9.74  |
| 307 | 7.44  | 11.28 | 307 | 5.90  | 9.74  |
| 329 | 8.21  | 11.28 | 329 | 8.97  | 8.97  |

ตารางที่ 16: ดัชนีพื้นที่ใบของอ้อยปลูก ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2538-2539

| DAE | Date 1 |      | Date 2 |      |      | Date 3 |      |      | Date 4 |      |      |
|-----|--------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
|     | K      | U    | DAE    | K    | U    | DAE    | K    | U    | DAE    | K    | U    |
| 41  | 0.28   | 0.32 | -24    |      |      | 117    | 0.19 | 0.20 | 20     | 0.03 | 0.12 |
| 98  | 1.77   | 2.30 | 33     | 0.08 | 0.20 | 160    | 0.76 | 0.85 | 63     | 0.36 | 0.52 |
| 138 | 1.97   | 3.18 | 73     |      | 5.10 | 208    | 3.02 | 2.44 | 111    | 1.27 | 3.73 |
| 172 | 1.97   | 3.92 | 107    | 2.30 | 3.70 | 237    | 3.61 | 5.45 | 140    | 2.39 | 3.77 |
| 200 | 2.47   | 2.45 | 135    |      |      | 266    | 3.38 | 3.36 | 169    | 2.72 | 3.61 |
| 235 | 2.35   | 2.07 | 170    | 1.97 | 3.95 | 299    | 4.18 | 4.27 | 202    | 3.56 | 4.27 |
| 243 |        |      | 185    |      |      | 334    | 1.71 | 2.48 | 237    | 2.35 | 3.88 |
|     |        |      |        |      |      | 363    | 4.04 | 4.15 | 266    | 3.26 | 5.04 |
|     |        |      |        |      |      | 391    | 2.71 | 3.93 | 294    | 3.08 | 4.14 |

คงที่ตลอดแม้อายุของอ้อยจะมากกว่าหกเดือนไปแล้ว ค่าพื้นที่ใบก็ไม่ได้ลดลง ยังคงเพิ่มขึ้นจนถึงการเก็บเกี่ยว อ้อยที่ปลูกเดือน พฤษภาคมมีการพัฒนาพื้นที่ใบได้เร็วกว่าอ้อยที่ปลูกเดือนมีนาคม ทั้งสองพันธุ์ เนื่องจากปริมาณฝนหลังจากเดือนมิถุนายนจะสูง ดินมีความชื้นเพียงพอสำหรับอ้อยตลอดเวลา สำหรับอ้อยที่ปลูกปลายฝนก็มีการพัฒนาพื้นที่ใบลักษณะเดียวกันคือ อ้อยพันธุ์ U มีการพัฒนาพื้นที่ใบได้มากกว่า และอ้อยที่ปลูกเดือนมกราคมมีการพัฒนาพื้นที่ใบได้ดีกว่าอ้อยที่ปลูกในเดือนพฤศจิกายน

**คุณภาพน้ำอ้อย** คุณภาพของน้ำตาลอ้อยมีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างพันธุ์อ้อย ซึ่งพบว่าพันธุ์ K มีการสะสมน้ำตาลเร็วกว่าพันธุ์ U ทั้งอ้อยปลูกและอ้อยต่อ (ตารางที่ 17-24) ทำให้เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยวอ้อยพันธุ์ K มีปริมาณน้ำตาลซูโครส (polarity) สูงกว่าพันธุ์ U ทำให้ค่า CCS ของพันธุ์ K สูงกว่าพันธุ์ U (ตารางที่ 17 และ 18)

อ้อยปลูกในวันปลูกมีนาคมมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าอ้อยที่ปลูกในพฤษภาคมเนื่องจากมีระยะเวลาเจริญเติบโตในแปลงมากกว่าอ้อย K ส่วนปริมาณเยื่อใย (fiber) ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างทั้งสองพันธุ์ของงานทดลองชุดที่หนึ่ง และพบแนวโน้มเช่นเดียวกันในอ้อยต่อปีที่หนึ่ง

ในการทดลองวันปลูกที่ 3 และ 4 พบว่าการสะสมน้ำตาลของอ้อยพันธุ์ U จะสูงกว่าพันธุ์ K ในทั้งสองวันปลูก ซึ่งให้เห็นว่าการสะสมน้ำตาลอาจจะเป็นปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสภาพแวดล้อม อ้อยพันธุ์ U มีการสะสมน้ำตาลได้ดีกว่าในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ จึงทำให้การสะสมน้ำตาลของอ้อยที่ปลูกในเดือนพฤศจิกายนและเดือนมกราคมมีลักษณะการสะสมน้ำตาลตรงข้ามกับอ้อยที่ปลูกในเดือนกุมภาพันธ์และพฤษภาคม

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเยื่อใยไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์อ้อย และวันปลูกทั้งสี่ วันและไม่มีความแตกต่างระหว่างอ้อยปลูกและอ้อยต่อ

ตารางที่ 17: ค่า CCS อ้อยปลูก ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2538-2539

| D1  |       |       | D2  |       |      | D3  |       |       | D4  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U    | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 41  |       |       | 24  |       |      | 117 | 0.00  | 0.00  | 20  | 0.00  | 0.00  |
| 98  | -1.36 | -2.17 | 33  |       |      | 160 | 0.00  | 0.00  | 63  | 0.00  | 0.00  |
| 138 | -0.08 | -0.49 | 73  | 1.51  |      | 208 | 0.01  | 1.76  | 111 | -0.10 | 0.91  |
| 172 | 2.45  | 0.87  | 107 | -1.71 |      | 237 | 2.44  | 3.06  | 140 | -0.01 | 0.43  |
| 200 | 4.24  | 3.17  | 135 |       |      | 266 | 6.67  | 6.15  | 169 | 4.51  | 4.67  |
| 235 | 8.59  | 6.23  | 170 | 3.35  | 3.71 | 299 | 10.66 | 8.19  | 202 | 4.60  | 6.44  |
| 243 | 9.83  | 8.82  | 185 | 5.72  | 7.12 | 334 | 9.44  | 9.75  | 237 | 7.45  | 10.19 |
|     |       |       |     |       |      | 363 | 11.11 | 10.14 | 266 | 7.82  | 10.07 |
|     |       |       |     |       |      | 391 | 10.88 | 12.45 | 294 | 8.89  | 12.57 |

ตารางที่ 18: ค่า CCS ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2539

| D1  |       |       | D2  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 97  | 0.00  | 0.00  | 97  | 0.00  | 0.00  |
| 137 | -1.32 | -1.68 | 137 | -0.94 | -1.30 |
| 165 | 1.23  | 0.91  | 165 | 2.20  | 0.97  |
| 204 | 4.93  | 2.03  | 204 | 4.51  | 1.84  |
| 231 | 8.22  | 5.23  | 231 | 6.06  | 5.05  |
| 265 | 9.28  | 7.21  | 265 | 12.76 | 8.17  |
| 307 | 11.36 | 9.96  | 307 | 6.48  | 8.80  |
| 329 | 12.92 | 8.56  | 329 | 11.82 | 10.73 |

ตารางที่ 19: ค่า polarity ของอ้อยปลูก ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2538-2539

| Date 1 |       |       | Date 2 |       |      | Date 3 |       |       | Date 4 |       |       |
|--------|-------|-------|--------|-------|------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| DAE    | K     | U     | DAE    | K     | U    | DAE    | K     | U     | DAE    | K     | U     |
| 41     |       |       | 24     |       |      | 117    | 0.00  | 0.00  | 20     | 0.00  | 0.00  |
| 98     |       |       | 33     |       |      | 160    | 0.00  | 0.00  | 63     | 0.00  | 0.00  |
| 138    | 3.97  | 3.43  | 73     |       | 5.26 | 208    | 2.32  | 4.23  | 111    | 0.57  | 3.23  |
| 172    | 5.90  | 4.29  | 107    | 1.78  | 3.95 | 237    | 4.84  | 5.52  | 140    | 0.70  | 2.77  |
| 200    | 7.43  | 5.97  | 135    |       |      | 266    | 9.70  | 8.98  | 169    | 7.29  | 7.37  |
| 235    | 11.73 | 9.02  | 170    | 7.10  | 6.15 | 299    | 14.02 | 11.15 | 202    | 7.28  | 9.36  |
| 243    | 13.60 | 12.36 | 185    | 11.12 | 9.00 | 334    | 12.88 | 12.62 | 237    | 10.14 | 13.30 |
|        |       |       |        |       |      | 363    | 14.80 | 13.61 | 266    | 11.08 | 13.72 |
|        |       |       |        |       |      | 391    | 14.34 | 16.21 | 294    | 12.17 | 16.24 |

ตารางที่ 20: ค่า polarity ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2539

| Date 1 |       |       | Date 2 |       |       |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| DAE    | K     | U     | DAE    | K     | U     |
| 97     | 0.00  | 0.00  | 97     | 0.00  | 0.00  |
| 137    | 1.21  | 0.56  | 137    | 1.51  | 0.97  |
| 165    | 3.78  | 3.34  | 165    | 3.38  | 3.31  |
| 204    | 8.01  | 4.63  | 204    | 7.61  | 4.45  |
| 231    | 11.39 | 8.04  | 231    | 8.19  | 7.76  |
| 265    | 12.59 | 10.15 | 265    | 14.61 | 11.24 |
| 307    | 15.19 | 13.06 | 307    | 9.54  | 11.76 |
| 329    | 16.05 | 9.38  | 329    | 14.89 | 13.71 |

ตารางที่ 21: ค่า brix ของอ้อยปลูก ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2538-2539

| D1  |       |       | D2  |       |       | D3  |       |       | D4  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 41  |       |       | -24 |       |       | 117 | 0.00  | 0.00  | 20  | 0.00  | 0.00  |
| 98  | 6.55  | 6.88  | 33  |       |       | 160 | 0.00  | 0.00  | 63  | 0.00  | 0.00  |
| 138 | 9.83  | 10.03 | 73  |       | 11.87 | 208 | 6.79  | 8.40  | 111 | 1.88  | 7.43  |
| 172 | 11.55 | 10.55 | 107 | 8.03  | 9.29  | 237 | 8.70  | 9.27  | 140 | 2.08  | 7.15  |
| 200 | 11.92 | 10.10 | 135 |       |       | 266 | 13.27 | 12.43 | 169 | 11.13 | 11.14 |
| 235 | 14.74 | 12.33 | 170 | 13.00 | 10.51 | 299 | 16.77 | 14.20 | 202 | 10.90 | 12.82 |
| 243 | 17.49 | 16.26 | 185 | 14.75 | 13.39 | 334 | 15.33 | 14.93 | 237 | 12.68 | 15.61 |
|     |       |       |     |       |       | 363 | 17.48 | 16.22 | 266 | 14.29 | 16.69 |
|     |       |       |     |       |       | 391 | 16.73 | 18.16 | 294 | 14.95 | 18.33 |

ตารางที่ 22: ค่า brix ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2539

| D1  |       |       | D2  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 97  | 0.00  | 0.00  | 97  | 0.00  | 0.00  |
| 137 | 6.49  | 5.39  | 137 | 6.57  | 5.73  |
| 165 | 8.25  | 7.76  | 165 | 6.36  | 7.56  |
| 204 | 12.30 | 9.00  | 204 | 12.06 | 8.90  |
| 231 | 14.89 | 11.86 | 231 | 10.30 | 11.56 |
| 265 | 15.73 | 13.43 | 265 | 17.54 | 14.41 |
| 307 | 17.74 | 17.45 | 307 | 15.92 | 15.89 |
| 329 | 17.78 | 16.43 | 329 | 16.75 | 15.91 |

ตารางที่ 23: ค่า fiber ของอ้อยปลูก ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2538-2539

| D1  |       |       | D2  |       |       | D3  |       |       | D4  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 41  |       |       | -24 |       |       | 117 | 0.00  | 0.00  | 20  | 0.00  | 0.00  |
| 98  | 10.80 | 10.80 | 33  |       |       | 160 | 0.00  | 0.00  | 63  | 0.00  | 0.00  |
| 138 | 11.50 | 11.50 | 73  |       | 11.50 | 208 | 6.83  | 8.45  | 111 | 2.22  | 7.47  |
| 172 | 11.50 | 11.50 | 107 | 11.50 | 11.50 | 237 | 7.58  | 8.22  | 140 | 2.73  | 7.15  |
| 200 | 11.00 | 11.00 | 135 |       |       | 266 | 8.58  | 8.57  | 169 | 8.77  | 7.68  |
| 235 | 8.98  | 8.50  | 170 | 8.58  | 7.78  | 299 | 9.17  | 8.22  | 202 | 8.83  | 8.78  |
| 243 | 8.94  | 8.91  | 185 | 8.87  | 8.82  | 334 | 9.12  | 8.57  | 237 | 9.32  | 9.72  |
|     |       |       |     |       |       | 363 | 11.12 | 11.20 | 266 | 10.80 | 11.37 |
|     |       |       |     |       |       | 391 | 10.95 | 12.22 | 294 | 11.37 | 11.28 |

ตารางที่ 24: ค่า fiber ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2539

| D1  |      |      | D2  |       |      |
|-----|------|------|-----|-------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K     | U    |
| 97  | 0.00 | 0.00 | 97  | 0.00  | 0.00 |
| 137 | 6.40 | 6.60 | 137 | 6.00  | 6.00 |
| 165 | 7.52 | 7.28 | 165 | 5.47  | 6.72 |
| 204 | 8.53 | 7.95 | 204 | 8.85  | 7.93 |
| 231 | 7.95 | 7.33 | 231 | 5.72  | 6.62 |
| 265 | 9.07 | 8.55 | 265 | 11.67 | 8.70 |
| 307 | 9.57 | 8.67 | 307 | 9.25  | 8.50 |
| 329 | 8.67 | 8.98 | 329 | 8.92  | 8.38 |

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

การทดลองวันปลูกอ้อยชุดที่หนึ่งและสอง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

(อ้อยปลูก และอ้อยตอ 1 ของชุดที่หนึ่ง และ  
อ้อยปลูก ของชุดที่สอง)

สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์ ทินกร กลมสอาด บุญมี ศิริ อิศรี เก่งนอก  
และ อรรถชัย จินตะเวช

**งานทดลอง**นี้เป็นงานทดลองหนึ่งที่มีโครงสร้างและวิธีการทดลองเหมือนกับที่ได้เสนอใน เอลิมพล ไทลุงเรื่อง และคณะ ในรายงานนี้ (หน้า 16) เพื่อสนับสนุนการรวบรวมข้อมูลจำเป็นต่อการพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0 ซึ่งออกแบบให้ครอบคลุมสภาพการผลิตย่อยในพื้นที่ต่าง ๆ ให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ระบบการผลิตในประเทศไทยสามารถจัดได้เป็น สองระบบ คือ ระบบการผลิตย่อยในพื้นที่ชลประทานและพื้นที่อาศัยน้ำฝน ในระบบการผลิตทั้งสองแบบเกษตรกรปลูกย่อยต้นฤดูฝน (ประมาณเดือนพฤษภาคม) และปลายฤดูฝน (ประมาณเดือนพฤศจิกายน) ระบบการผลิตย่อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่ปลูกย่อยอาศัยน้ำฝนและเป็นย่อยที่ปลูกในช่วงปลายฤดูฝนและเริ่มฤดูการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคมของทุกปี ส่วนใหญ่เป็นระบบการผลิตย่อยที่มีการปลูกใหม่ทุกปี ระบบการผลิตย่อยในพื้นที่อื่นของประเทศส่วนใหญ่เป็นการผลิตโดยอาศัยน้ำฝนและเริ่มมีการชลประทานในบางพื้นที่ เริ่มการปลูกในระหว่างต้นฤดูฝนและเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาเดียวกันกับเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ข้อแตกต่างที่สำคัญคือเกษตรกรในพื้นที่อื่นของประเทศมีการไถ่อยอด ส่วนใหญ่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตย่อยต่อ 2-3 ครั้งต่อการปลูกหนึ่งครั้ง

### อุปกรณ์ทดลองและวิธีการวัดค่าตัวแปร

ดำเนินการทดลองในดินชุดยโสธร ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Oxic Paleustults ตามระบบอนุกรมวิธานดิน Soil Taxonomy (1975) มีวันปลูกที่ทำการเปรียบเทียบสองวันปลูก คือ วันที่ 2 มีนาคม 2538 และ วันที่ 26 เมษายน 2538

เตรียมแปลงปลูกโดยทำการไถพรวน และใส่  $\text{CaCO}_3$  อัตรา 100 กก. ต่อไร่ เพื่อช่วยปรับสภาพ pH ของดินหลังจากพรวนแล้วทำการยกร่องปลูกย่อย เตรียมท่อนพันธุ์ปลูกท่อนละ 1 ตา แล้วนำท่อนพันธุ์ที่เตรียมไว้ไปแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลาสองชั่วโมง เพื่อป้องกันโรคใบขาว หลังจากนั้นนำท่อนพันธุ์ไปแช่สารเคมีโพธิโกนาซอล (ฟิลล์ 250 cc. หรือ baletol อัตรา 16 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร นานหนึ่งชั่วโมง) เพื่อป้องกันโรค smut การปลูกจะวางท่อนพันธุ์ลึกประมาณห้าเซนติเมตรจากร่องปลูก โดยให้ตาอ้อยหงายขึ้น ในระหว่างการปลูกทำการโรย carbofuran 3%G ในหลุมปลูกอ้อยอัตรา 10 กก./ไร่ หลังปลูกอ้อยแล้วจะทำการให้น้ำแบบ sprinkle และพ่นยาป้องกันกำจัดวัชพืช หลังปลูกอ้อยแล้วหนึ่งเดือน จะทำการปลูกซ่อมในหลุมที่ไม่งอก ซึ่งพบว่าจำนวนต้นอ้อยที่งอกนั้นมีเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำมาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการแช่ท่อนพันธุ์โดยใช้น้ำร้อนและการให้น้ำที่มากเกินไป

ให้น้ำแบบ sprinkle สัปดาห์ละหนึ่งครั้ง นาน 1.30 ชั่วโมง ในช่วงที่ฝนไม่ตกหรือทิ้งช่วงนาน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 150 กก. ต่อไร่ โดยแบ่งใส่สามครั้ง เมื่ออ้อยอายุ 1, 2 และ 3 เดือน ทำการกำจัดวัชพืชโดยใช้คนดายหญ้าเมื่ออ้อยอายุได้สองและสี่เดือน หลังจากดายหญ้าครั้งสุดท้ายทำการกลบโคนอ้อย ทำการพ่นเอ็นโดซัลแฟน (endosulfan) อัตรา 50-60 cc. ต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นเมื่ออ้อยอายุ 2-5 เดือน เพื่อป้องกันกำจัดหนอนเจาะลำต้น โดยทำการพ่นทุกสองสัปดาห์ ทำการเก็บเกี่ยวอ้อยในวันปลูกที่ 2 มีนาคม 2538 และ 26 เมษายน 2538 ในวันที่ 15 พฤศจิกายน 2538 และ 7 ธันวาคม 2538 ตามลำดับ และทำการตัดอ้อยทั้งหมดในวันที่ 29 ธันวาคม 2538 หลังจากนั้นจะทำการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 150 กก. ต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง เมื่ออ้อยอายุ 1, 2 และ 3 เดือนหลังตัดแต่ง และใส่ปุ๋ยเพิ่มอีกทุกเดือนหลังจากนั้น ในอัตรา 100 กก. ต่อไร่ จนถึงเก็บเกี่ยว เฉพาะแถวที่ 10-13 ทำการกำจัดวัชพืชและกลบโคนอ้อย เมื่ออ้อยอายุสี่เดือนหลังตัดแต่ง

ตารางที่ 23: ค่าคุณสมบัติของดินก่อนปลูกแปลงทดลองมหาวิทยาลัยขอนแก่น

| แปลงย่อย | ความลึก | pH   | Total N | P     | K      |
|----------|---------|------|---------|-------|--------|
| 1        | 30      | 6.08 | 0.02    | 51.47 | 143.10 |
|          | 60      | 4.37 | 0.02    | 8.42  | 114.80 |
|          | 100     | 4.38 | 0.02    | 7.63  | 183.60 |
| 2        | 30      | 5.50 | 0.02    | 51.33 | 153.40 |
|          | 60      | 4.22 | 0.02    | 7.82  | 93.60  |
|          | 100     | 4.15 | 0.02    | 5.30  | 105.60 |
| 3        | 30      | 5.83 | 0.02    | 40.95 | 105.50 |
|          | 60      | 4.49 | 0.02    | 8.21  | 109.30 |
|          | 100     | 4.50 | 0.02    | 5.94  | 155.60 |
| 4        | 30      | 6.20 | 0.02    | 30.71 | 110.40 |
|          | 60      | 4.39 | 0.02    | 8.65  | 77.30  |
|          | 100     | 4.57 | 0.02    | 4.79  | 86.10  |
| 5        | 30      | 6.24 | 0.04    | 32.25 | 117.60 |
|          | 60      | 4.84 | 0.02    | 5.29  | 99.50  |
|          | 100     | 4.76 | 0.01    | 4.99  | 91.50  |
| 6        | 30      | 5.86 | 0.02    | 33.07 | 130.50 |
|          | 60      | 5.08 | 0.03    | 7.94  | 101.30 |
|          | 100     | 4.57 | 0.02    | 4.83  | 66.90  |
| 7        | 30      | 6.30 | 0.03    | 40.14 | 13.75  |
|          | 60      | 4.90 | 0.03    | 6.80  | 9.25   |
|          | 100     | 4.76 | 0.03    | 6.59  | 7.20   |
| 8        | 30      | 6.45 | 0.04    | 52.45 | 14.00  |
|          | 60      | 4.70 | 0.03    | 9.26  | 9.65   |
|          | 100     | 4.50 | 0.02    | 5.01  | 8.00   |
| 9        | 30      | 6.31 | 0.03    | 54.31 | 12.50  |
|          | 60      | 4.73 | 0.03    | 7.29  | 11.40  |
|          | 100     | 4.48 | 0.03    | 4.62  | 7.50   |
| 10       | 30      | 6.27 | 0.03    | 50.74 | 11.50  |
|          | 60      | 5.08 | 0.03    | 10.42 | 8.65   |
|          | 100     | 4.52 | 0.03    | 6.06  | 6.10   |
| 11       | 30      | 6.36 | 0.03    | 48.82 | 14.05  |
|          | 60      | 5.01 | 0.02    | 9.36  | 9.45   |
|          | 100     | 4.77 | 0.02    | 5.60  | 7.85   |
| 12       | 30      | 6.35 | 0.03    | 34.75 | 11.00  |
|          | 60      | 4.98 | 0.02    | 5.56  | 9.85   |
|          | 100     | 4.74 | 0.01    | 4.27  | 10.15  |

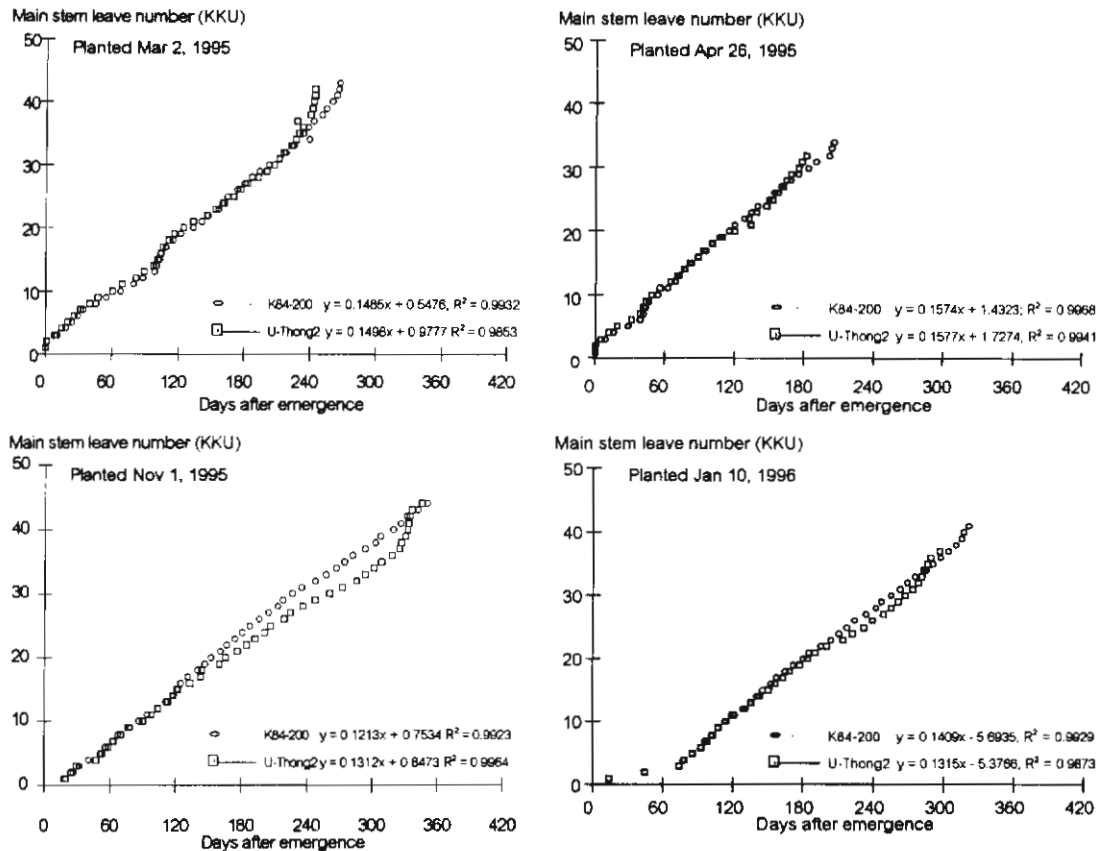
## ผลการทดลอง

### พัฒนาการของอ้อย (cane phenology)

พัฒนาการของใบอ้อย อ้อยทั้งสองพันธุ์มีพัฒนาการของใบอ้อยคล้ายคลึงกันทั้งสี่วันปลูก (รูปที่ 10) โดยในวันปลูก D1 พันธุ์ U และ K มีอัตราการเพิ่มขึ้นเป็น 0.008 ใบต่ออุณหภูมิสะสม  $1^{\circ}\text{C}$  ( $r^2=0.98$  และ  $0.99$  ตามลำดับ) และในวันปลูก D2 พันธุ์ U และ K มีอัตราการเพิ่มขึ้นเป็น 0.0087 ใบ ( $r^2 = 0.99$ ) และ 0.0086 ต่อ  $1^{\circ}\text{C}$  ( $r^2 = 0.99$ ) ตามลำดับ

ในงานทดลองชุดที่สอง อ้อยทั้งสองพันธุ์มีพัฒนาการของใบอ้อยคล้ายคลึงกันทั้งสองวันปลูก (รูปที่ 13) โดยในวันปลูก D3 อ้อยพันธุ์ U และ K มีอัตราการเพิ่มขึ้นของใบอ้อยบนลำหลักเป็น 0.0074 ใบต่อ  $1^{\circ}\text{C}$  ( $r^2=0.99$ )

รูปที่ 10: พัฒนาการของใบอ้อยสถานีมหาวิทยาลัยขอนแก่น



และ 0.0084 ( $r^2=0.99$ ) ตามลำดับ และในวันปลูก D4 (วันที่ 5 มค 2539) อ้อยพันธุ์ U และ K มีอัตราการเพิ่มขึ้นเป็น 0.0081 ใบ ต่อ  $1^\circ\text{d}$  ( $r^2=0.96$ ) และ 0.0084 ( $r^2=0.96$ ) ตามลำดับ เฉลี่ยทั้งสองวันปลูก พันธุ์ U และพันธุ์ K ต้องการอุณหภูมิสะสมอยู่ในช่วง  $123-135^\circ\text{d}$  และ  $119^\circ\text{d}$  ต่อใบหนึ่งใบ ช่วงที่กว้างของอ้อยพันธุ์ U แสดงให้เห็นว่าพันธุ์นี้มีความแปรปรวนสูงมากในการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม พัฒนาการในด้านอื่นยังต้องได้รับการศึกษาเพิ่มเติม เช่น การแตกกอ การรักษาจำนวนลำอ้อย และอื่น ๆ เนื่องจากพัฒนาการในระยะต่าง ๆ เหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักรากในส่วนของอ้อยและผลผลิตลำสัดและปริมาณน้ำตาล

พัฒนาการของใบทั้งสองพันธุ์ใน D1 และ D2 ระหว่างใบที่ 10-14 และ 5-8 ตามลำดับมีอัตราลดลงกว่าพัฒนาการของใบอื่นและใบในตำแหน่งเดียวกันใน D3 และ D4 เนื่องจากเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งและมีระดับความร้อนสูงมาก อ้อยพันธุ์ U มีอัตราการสร้างใบใหม่สูงมากขึ้นในช่วงสุดท้ายของฤดูการเพาะปลูกเนื่องจากเริ่มเข้าสู่ช่วงการออกดอก และเป็นอัตราที่สูงกว่าอ้อยพันธุ์ K

พัฒนาการของใบอ้อยทั้งสองพันธุ์มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเป็นไปตามความคาดหมายและมีผลไปในทางเดียวกันกับงานทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แสดงให้เห็นว่า สามารถให้อุณหภูมิอากาศในการคาดการณ์ผลลัพธ์ของกระบวนการพัฒนาการในอ้อยทั้งสองพันธุ์ได้อย่างมีความมั่นใจ

การศึกษากระบวนการพัฒนาการโดยใช้วิธีการและหลักการแบบจำลองของพืชอื่น เช่น ข้าว (Jintrawet, 1991) ข้าวโพด (Kiniry and Jones, 1986) ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ (Gallagher, 1979) ถั่วลิสง (Boote, 1982) และ ถั่วเหลือง (Fehr et al, 1971) พบว่าพัฒนาการของใบพืชเหล่านี้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้

### การเจริญเติบโต (cane growth)

อิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อผลผลิตอ้อย น้ำหนักลำต้นสดของอ้อยปลูกในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตสุดท้ายของทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มในการตอบสนองต่อวันปลูกที่สี่ไปในทางเดียวกัน (ตารางที่ 24) คือวันปลูก D3 ให้ผลผลิตลำอ้อยสดมากกว่าวันปลูกอื่นทั้งหมด ตามด้วยผลผลิตของวันปลูก D1 และวันปลูก D2 และ D4 ให้ผลผลิตต่ำที่สุด และอยู่ในระดับเดียวกันทั้งสองพันธุ์ ผลผลิตลำสดของพันธุ์ K และ U ในวันปลูก D3 สูงกว่าวันปลูก D1 และ D2 และ D4 คิดเป็นร้อยละ 25, 99 และ 28, 129 ตามลำดับ วันปลูก D3 เป็นวันปลูกที่ใกล้เคียงกับวันปลูกอ้อยข้ามแล้งของชาวไร่ในหลายพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในงานทดลองนี้วันปลูก D3 เป็นวันปลูกที่มีอายุอยู่ในแปลงทดลองมากที่สุดเมื่อเทียบกับวันปลูกอื่น ๆ

ตารางที่ 24: จำนวนลำอ้อย (ลำ/ไร่) และ น้ำหนักอ้อยสด (ตัน/ไร่) ของอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่หนึ่ง พันธุ์ K และ U ของวันปลูกที่หนึ่งถึงสี่ เมื่อเก็บเกี่ยว แปลงทดลองมหาวิทยาลัยขอนแก่น

| Ds/Cultivars                       | Stalk number $\text{rai}^{-1}$ |        | Stalk fresh wt. ( $\text{Mg } \text{rai}^{-1}$ ) |      |
|------------------------------------|--------------------------------|--------|--------------------------------------------------|------|
|                                    | K                              | U      | K                                                | U    |
| ----- Plant crop (1995-1996) ----- |                                |        |                                                  |      |
| D 1                                | 7,520                          | 9,440  | 14.2                                             | 15.4 |
| D 2                                | 8,480                          | 11,573 | 9.9                                              | 8.6  |
| D 3                                | 10,732                         | 16,541 | 28.4                                             | 28.7 |
| D 4                                | 11,348                         | 14,498 | 19.9                                             | 20.5 |
| ----- Ratoon 1 (1996) -----        |                                |        |                                                  |      |
| D 1                                | 10,720                         | 14,773 | 31.8                                             | 31.4 |
| D 2                                | 12,160                         | 16,373 | 33.8                                             | 31.0 |

สำหรับอ้อยตอปีที่หนึ่งเมื่อเก็บเกี่ยวสุดท้ายพบว่า ผลผลิตลำต้นสดของอ้อยทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกใน D3 และ D4 อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน คือผลผลิตลำสดเฉลี่ย 32.8 และ 31.2 ตัน ไร่<sup>-1</sup> สำหรับพันธุ์ K และ U ตามลำดับ อ้อยตอปีที่หนึ่งทั้งสองพันธุ์ของทั้งสองวันปลูกมีช่วงการเจริญเติบโตในแปลงทดลองเท่ากันทำให้มีผลผลิตลำสดอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ผลการทดลองนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลการทดลองในศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและน้ำหนักมวลชีวภาพ ตารางที่ 25 และ 26 แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งมวลชีวภาพเหนือผิวดินของอ้อยทั้งสองพันธุ์ในอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่หนึ่งตามลำดับ ในปี 2538 และ 2539

น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพเหนือผิวดินของอ้อยทั้งสองพันธุ์ ในวันปลูก D3 สูงกว่าวันปลูกอื่น ๆ และเป็นอ้อยที่มีโอกาสอยู่ในแปลงทดลองมากที่สุดเมื่อเทียบกับวันปลูกอื่น ๆ

ตารางที่ 25: น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพเหนือผิวดินของอ้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D1  |      |      | D2  |      |      | D3  |      |      | D4  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 49  | 0.01 | 0.04 | 52  | 0.02 | 0.03 | 97  | 0.11 | 0.18 | 30  | 0.00 | 0.00 |
| 113 | 1.02 | 0.97 | 77  | 0.00 | 0.52 | 123 | 0.37 | 0.46 | 56  | 0.00 | 0.00 |
| 138 | 0.57 | 0.67 | 112 | 1.23 | 0.46 | 154 | 0.64 | 0.80 | 87  | 0.05 | 0.54 |
| 173 | 1.06 | 1.74 | 139 | 0.83 | 0.91 | 185 | 1.58 | 1.47 | 118 | 1.60 | 0.56 |
| 200 | 1.06 | 1.68 | 174 | 1.26 | 1.32 | 212 | 1.63 | 1.73 | 145 | 0.53 | 0.45 |
| 235 | 2.08 | 3.07 |     |      |      | 250 | 1.89 | 1.83 | 183 | 1.20 | 0.95 |
|     |      |      |     |      |      | 286 | 1.94 | 1.87 | 219 | 0.94 | 0.86 |
|     |      |      |     |      |      | 313 | 2.88 | 2.86 | 246 | 1.64 | 1.89 |
|     |      |      |     |      |      | 341 | 2.64 | 3.22 | 274 | 2.11 | 2.15 |

ตารางที่ 26: น้ำหนักแห้งมวลชีวเหนือผิวดินของอ้อยตอปีหนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D1  |      |      | D2  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 118 | 0.22 | 0.26 | 92  | 0.29 | 0.26 |
| 149 | 0.63 | 0.77 | 123 | 0.75 | 0.79 |
| 180 | 1.97 | 1.80 | 154 | 1.80 | 1.94 |
| 207 | 2.24 | 2.42 | 181 | 1.67 | 1.88 |
| 244 | 2.25 | 2.47 | 218 | 2.73 | 2.48 |
| 279 | 2.81 | 1.92 | 253 | 2.04 | 2.73 |
| 307 | 3.01 | 1.89 | 281 | 3.40 | 3.17 |
| 337 | 3.33 | 3.04 | 311 | 3.82 | 3.15 |

**น้ำหนักสดลำต้นอ้อย** ในอ้อยปลูก การสะสมน้ำหนักสดของลำต้นของอ้อยทั้งสองพันธุ์ มีอัตราที่สูงกว่าการสะสมน้ำหนักใบและต้นของอ้อยพันธุ์ K (ตารางที่ 27) โดยเฉพาะในระยะแรกของฤดูการเพาะปลูก เมื่อติดตามการสะสมน้ำหนักต่อไปในระยะเจ็ดเดือนหลังการออกพบว่าอ้อยพันธุ์ K ยังมีการสะสมน้ำหนักอีกต่อไปในขณะที่อ้อยพันธุ์ U มีอัตราการสะสมน้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของกาบใบและน้ำหนักสดของลำต้นอ้อยในพันธุ์ U มีอัตราสูงกว่าอ้อยพันธุ์ K

การสะสมน้ำหนักสดของลำอ้อยทั้งสองในอ้อยตอปีหนึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 28

ตารางที่ 27: น้ำหนักสดของลำต้นอ้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |      |       | D 2 |      |      | D 3 |       |       | D 4 |      |      |
|-----|------|-------|-----|------|------|-----|-------|-------|-----|------|------|
| DAE | K    | U     | DAE | K    | U    | DAE | K     | U     | DAE | K    | U    |
| 113 | 0.98 | 1.77  | 52  | 0.01 | 0.01 | 123 |       |       | 56  |      |      |
| 138 | 2.21 | 2.64  | 77  | 0.00 | 1.97 | 154 |       |       | 87  | 3.79 |      |
| 173 | 4.46 | 7.15  | 112 | 5.82 | 5.79 | 185 |       |       | 118 | 6.62 |      |
| 200 |      |       | 139 | 2.65 | 3.45 | 212 |       |       | 145 | 6.41 |      |
| 235 | 6.84 | 11.52 | 174 | 3.76 | 5.31 | 250 | 8.13  | 7.64  | 183 | 6.05 | 3.64 |
| 267 | 8.90 | 9.60  | 206 | 6.17 | 5.37 | 286 | 7.72  | 7.67  | 219 | 5.64 | 3.41 |
|     |      |       |     |      |      | 313 | 11.44 | 10.74 | 246 | 4.87 | 6.74 |
|     |      |       |     |      |      | 341 | 9.97  | 7.31  | 274 | 7.44 | 8.26 |

ตารางที่ 28: น้ำหนักลำต้นสดของอ้อยต่อปีหนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D1  |       |       | D2  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 244 | 9.26  | 10.49 | 218 | 11.22 | 9.96  |
| 279 | 11.05 | 8.82  | 253 | 6.41  | 11.13 |
| 307 | 11.95 | 6.85  | 281 | 7.95  | 13.23 |
| 337 | 9.97  | 10.90 | 311 | 5.38  | 8.26  |
| 369 | 19.86 | 19.62 | 343 | 21.12 | 19.40 |

**น้ำหนักแห้งของลำต้น** การสะสมน้ำหนักแห้งของต้นและใบอ้อยพันธุ์ U มีอัตราที่สูงกว่าการสะสมน้ำหนักใบและต้นของอ้อยพันธุ์ K (ตารางที่ 29) โดยเฉพาะในระยะแรกของฤดูการเพาะปลูก เมื่อติดตามการสะสมน้ำหนักต่อไปในระยะเจ็ดเดือนหลังการงอกพบว่าอ้อยพันธุ์ K ยังมีการสะสมน้ำหนักอีกต่อไปในขณะที่อ้อยพันธุ์ U มีอัตราการสะสมน้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของกาบใบและน้ำหนักสดของลำต้นอ้อยในพันธุ์ U มีอัตราสูงกว่าอ้อยพันธุ์ K

การสะสมน้ำหนักแห้งของลำต้น ในอ้อยต่อปีหนึ่งแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 29: น้ำหนักลำต้นแห้งของอ้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      | D 3 |      |      | D 4 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 113 | 0.64 | 0.49 | 52  | 0.00 | 0.00 | 123 | 0.06 | 0.08 | 56  | 0.00 | 0.00 |
| 138 | 0.26 | 0.33 | 77  | 0.00 | 0.33 | 154 | 0.24 | 0.25 | 87  | 0.01 | 0.28 |
| 173 | 0.67 | 1.13 | 112 | 1.00 | 0.23 | 185 | 1.02 | 0.85 | 118 | 1.00 | 0.08 |
| 200 | 0.82 | 1.46 | 139 | 0.49 | 0.54 | 212 | 1.08 | 1.07 | 145 | 0.26 | 0.18 |
| 235 | 1.67 | 2.51 | 174 | 0.92 | 0.97 | 250 | 1.29 | 1.21 | 183 | 0.67 | 0.50 |
| 267 | 2.53 | 3.20 | 206 | 1.68 | 2.26 | 286 | 1.48 | 1.36 | 219 | 0.59 | 0.51 |
|     |      |      |     |      |      | 313 | 2.36 | 2.41 | 246 | 1.23 | 1.38 |
|     |      |      |     |      |      | 341 | 2.31 | 2.82 | 274 | 1.69 | 1.74 |

ตารางที่ 30: น้ำหนักลำต้นแห้งของอ้อยตอปีหนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 118 | 0.02 | 0.03 | 92  | 0.03 | 0.03 |
| 149 | 0.21 | 0.28 | 123 | 0.27 | 0.28 |
| 180 | 1.10 | 0.96 | 154 | 1.13 | 1.22 |
| 207 | 1.49 | 1.60 | 181 | 1.00 | 1.21 |
| 244 | 1.43 | 1.70 | 218 | 1.94 | 1.60 |
| 279 | 1.90 | 1.33 | 253 | 1.33 | 2.03 |
| 307 | 2.33 | 1.54 | 281 | 2.69 | 2.69 |
| 337 | 2.85 | 2.67 | 311 | 3.28 | 2.67 |

**น้ำหนักแห้งของใบและกาบใบ** การสะสมน้ำหนักแห้งของใบและกาบใบของอ้อยพันธุ์ U มีอัตราที่สูงกว่าอ้อยพันธุ์ K (ตารางที่ 31) โดยเฉพาะในระยะแรกของการงอกและการเพาะปลูก เมื่อติดตามการสะสมน้ำหนักต่อไปในระยะเจ็ดเดือนหลังการงอกพบว่าอ้อยพันธุ์ K ยังมีการสะสมน้ำหนักอีกต่อไปในขณะที่อ้อยพันธุ์ U มีอัตราการสะสมน้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของกาบใบและน้ำหนักสดของลำต้นอ้อยในพันธุ์ U มีอัตราสูงกว่าอ้อยพันธุ์ K

การสะสมน้ำหนักแห้งของใบและกาบใบของอ้อยตอปีหนึ่งแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 31: น้ำหนักใบและกาบใบแห้งของอ้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      | D 3 |      |      | D 4 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 49  | 0.01 | 0.04 |     |      |      | 97  | 0.11 | 0.18 | 30  |      |      |
| 113 | 0.38 | 0.48 | 52  | 0.02 | 0.03 | 123 | 0.31 | 0.38 | 56  |      |      |
| 138 | 0.32 | 0.34 | 77  | 0.00 | 0.18 | 154 | 0.40 | 0.55 | 87  | 0.04 | 0.26 |
| 173 | 0.39 | 0.61 | 112 | 0.23 | 0.23 | 185 | 0.58 | 0.62 | 118 | 0.60 | 0.48 |
| 200 | 0.24 | 0.22 | 139 | 0.34 | 0.37 | 212 | 0.55 | 0.66 | 145 | 0.27 | 0.27 |
| 235 | 0.42 | 0.55 | 174 | 0.33 | 0.35 | 250 | 0.60 | 0.63 | 183 | 0.53 | 0.45 |
| 267 | 0.17 | 0.13 | 206 | 0.12 | 0.12 | 286 | 0.48 | 0.51 | 219 | 0.35 | 0.35 |
|     |      |      |     |      |      | 313 | 0.52 | 0.45 | 248 | 0.41 | 0.50 |
|     |      |      |     |      |      | 341 | 0.33 | 0.39 | 274 | 0.41 | 0.41 |

ตารางที่ 32: น้ำหนักใบและกาบใบแห้งของอ้อยตอปีหนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | U    | K    | DAE | U    | K    |
| 118 | 0.20 | 0.23 | 92  | 0.26 | 0.22 |
| 149 | 0.42 | 0.50 | 123 | 0.47 | 0.51 |
| 180 | 0.87 | 0.84 | 154 | 0.66 | 0.72 |
| 207 | 0.75 | 0.82 | 181 | 0.67 | 0.65 |
| 244 | 0.82 | 0.77 | 218 | 0.78 | 0.88 |
| 279 | 0.71 | 0.59 | 253 | 0.71 | 0.71 |
| 307 | 0.68 | 0.35 | 281 | 0.70 | 0.47 |
| 337 | 0.49 | 0.38 | 311 | 0.54 | 0.48 |

**จำนวนหน่ออ้อย** จำนวนหน่ออ้อยต่อกอมีจำนวนลดลงตั้งแต่ปลูกถึงระยะเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 33) ทั้งนี้เป็นกลไกในการสร้างผลผลิตของพืชตระกูลหญ้าทั่วไป (Yoshida, 1981) พันธุ์ U มีจำนวนหน่อต่อกอสูงกว่าพันธุ์ K เฉลี่ย 7 และ 4 ลำต่อกอ ตามลำดับ หน่อเหล่านี้จะพัฒนาไปเป็นลำอ้อยที่พืชใช้ในการสะสมน้ำตาล

จำนวนหน่ออ้อยต่อกอของอ้อยตอปีที่หนึ่งแสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 33: จำนวนหน่อ/ลำของอ้อยปลูก (จำนวน ตม.<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      | D 3 |       |       | D 4 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|-------|-------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K     | U     | DAE | K    | U    |
| 49  | 4.15 | 5.93 |     |      |      | 97  | 12.56 | 12.87 | 30  | 0.00 | 0.00 |
| 113 | 3.48 | 6.24 | 52  | 5.59 | 8.00 | 123 | 14.31 | 15.18 | 58  | 0.00 | 0.00 |
| 138 | 4.89 | 5.95 | 77  |      |      | 154 | 12.92 | 13.03 | 87  | 3.79 | 5.85 |
| 173 | 5.13 | 7.44 | 112 | 7.69 | 7.69 | 185 | 8.41  | 8.15  | 118 | 6.62 | 4.97 |
| 200 | 8.46 | 6.92 | 139 | 6.67 | 7.69 | 212 | 6.21  | 8.36  | 145 | 6.41 | 4.87 |
| 235 | 4.36 | 6.92 | 174 | 5.64 | 6.15 | 250 | 6.15  | 6.72  | 183 | 6.05 | 4.67 |
| 267 | 4.70 | 5.90 | 206 | 5.30 | 7.23 | 286 | 6.67  | 6.67  | 219 | 5.64 | 5.13 |
|     |      |      |     |      |      | 313 | 5.90  | 6.15  | 246 | 4.87 | 5.13 |
|     |      |      |     |      |      | 341 | 4.36  | 6.92  | 274 | 5.38 | 5.13 |

ตารางที่ 34: จำนวนหน่อ/ลำของอ้อยตอปีที่หนึ่ง (จำนวน ตม.<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D1  |       |       | D2  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 118 | 17.95 | 25.90 | 92  | 14.62 | 21.54 |
| 149 | 8.97  | 14.87 | 123 | 14.87 | 14.87 |
| 180 | 14.10 | 11.54 | 154 | 10.51 | 13.28 |
| 207 | 8.05  | 9.74  | 181 | 7.59  | 9.59  |
| 244 | 10.82 | 12.67 | 218 | 11.22 | 11.24 |
| 279 | 7.95  | 7.69  | 253 | 6.41  | 8.72  |
| 307 | 6.41  | 5.38  | 281 | 7.95  | 9.74  |
| 337 | 4.36  | 6.92  | 311 | 5.38  | 5.13  |

**ดัชนีพื้นที่ใบอ้อยปลูก** การสะสมน้ำหนักแห้งของต้นและใบอ้อยพันธุ์ U มีอัตราสูงกว่าการสะสมน้ำหนักใบและต้นของอ้อยพันธุ์ K (ตารางที่ 35) โดยเฉพาะในระยะแรกของฤดูการเพาะปลูก เมื่อติดตามการสะสมน้ำหนักต่อไปในระยะเจ็ดเดือนหลังการงอกพบว่าอ้อยพันธุ์ K ยังมีการสะสมน้ำหนักอีกต่อไปในขณะที่อ้อยพันธุ์ U มีอัตราการสะสมน้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของกาบใบและน้ำหนักสดของลำต้นอ้อยในพันธุ์ U มีอัตราสูงกว่าอ้อยพันธุ์ K

ตารางที่ 35: ดัชนีพื้นที่ใบของอ้อยปลูก มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      | D 3 |      |      | D 4 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 49  | 0.02 | 0.07 | -12 | 0.00 | 0.00 | 97  | 0.20 | 0.27 | 30  | 0.00 | 0.00 |
| 113 | 1.38 | 2.12 | 52  | 0.10 | 0.15 | 123 | 0.60 | 0.59 | 58  | 0.00 | 0.00 |
| 138 | 1.07 | 1.06 | 77  | 0.00 | 0.58 | 154 | 1.13 | 1.15 | 87  | 0.10 | 0.61 |
| 173 | 1.25 | 1.97 | 112 | 0.67 | 0.67 | 185 | 1.60 | 1.34 | 118 | 0.66 | 0.43 |
| 200 | 0.69 | 0.64 | 139 | 0.93 | 1.04 | 212 | 1.69 | 2.02 | 145 | 0.68 | 0.76 |
| 235 | 1.69 | 2.30 | 174 | 0.99 | 1.21 | 250 | 1.57 | 1.60 | 183 | 1.34 | 0.97 |
| 267 | 0.00 | 0.00 | 206 | 0.00 | 0.00 | 286 | 1.80 | 1.48 | 219 | 1.22 | 1.48 |
|     |      |      |     |      |      | 313 | 1.71 | 1.34 | 246 | 1.17 | 1.25 |
|     |      |      |     |      |      | 341 | 1.04 | 1.55 | 274 | 1.60 | 1.57 |

คุณภาพความหวานของน้ำอ้อย ในอ้อยปลูกพบว่าเริ่มมีค่า CCS เมื่ออ้อยมีอายุได้ห้าเดือน (ตารางที่ 36) และมีค่าสูงขึ้นตามลำดับจนกระทั่งเก็บเกี่ยว อ้อยพันธุ์ K มีค่า CCS สูงกว่าพันธุ์ U ยกเว้นในวันปลูกที่ D4 ในระหว่างการเก็บเกี่ยวมีค่า CCS เฉลี่ยเป็น 11.21 และ 10.01 ตามลำดับ

ในอ้อยตอปีที่หนึ่งพบว่าเริ่มมีค่า CCS เมื่ออ้อยมีอายุได้ 5 เดือน (ตารางที่ 37) และมีค่าสูงขึ้นตามลำดับจนกระทั่งเก็บเกี่ยว พันธุ์ K มีค่า CCS สูงกว่าพันธุ์ U โดยเฉพาะในช่วงการเก็บเกี่ยวมีค่า 9.3 และ 6.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 36: ค่า CCS ของอ้อยปลูก มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       | D 3 |       |       | D 4 |      |      |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|------|------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K    | U    |
| 113 | 0.30  | -0.71 | 52  | 0.00  | 0.00  | 123 | 0.00  | 0.00  | 56  | 0.00 | 0.00 |
| 138 | 0.74  | -0.64 | 77  | 0.00  | 0.37  | 154 | 0.00  | 0.00  | 87  | 0.00 | 0.00 |
| 173 | 1.25  | 1.14  | 112 | -1.04 | -0.97 | 185 | 0.00  | 0.00  | 118 | 0.00 | 0.00 |
| 200 | 3.85  | 3.12  | 139 | 1.06  | 0.73  | 212 | 0.00  | 0.00  | 145 | 0.00 | 0.00 |
| 235 | 8.62  | 8.53  | 174 | 5.58  | 6.03  | 250 | 7.03  | 2.81  | 183 | 2.17 | 2.53 |
| 267 | 12.14 | 10.73 | 206 | 10.37 | 8.86  | 286 | 9.32  | 9.48  | 219 | 4.20 | 6.60 |
|     |       |       |     |       |       | 313 | 8.72  | 9.09  | 246 | 5.06 | 6.20 |
|     |       |       |     |       |       | 341 | 12.37 | 11.32 | 274 | 8.10 | 9.13 |

ตารางที่ 37: ค่า CCS ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |      |
|-----|-------|-------|-----|-------|------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U    |
| 244 | 6.22  | 4.07  | 218 | 7.80  | 4.01 |
| 279 | 9.11  | 8.07  | 253 | 11.15 | 6.37 |
| 307 | 10.27 | 9.14  | 281 | 11.39 | 6.36 |
| 337 | 11.97 | 11.47 | 311 | 13.07 | 9.61 |

ระดับ polarity ในอ้อยปลูกระดับ polartiy (%sucrose) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น (ตารางที่ 38) ในช่วงเก็บเกี่ยวอ้อยพบว่าค่า polarity ของอ้อยปลูกพันธุ์ K และ U อยู่ในช่วง 12 และ 9.2 ตามลำดับ และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ

ในช่วงการเก็บเกี่ยวของอ้อยตอปีที่หนึ่งของ D1 และ D2 (ตารางที่ 39) พบว่า ค่า polarity ของอ้อยทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับอ้อยปลูก ค่า polarity ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง อยู่ในช่วง 12.5 และ 9.2

ตารางที่ 38: ค่า polarity ของอ้อยปลูก มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       | D 3 |       |       | D 4 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 113 | 2.99  | 2.11  | 52  | 0.00  | 0.00  | 123 |       |       | 56  |       |       |
| 138 | 3.82  | 2.79  | 77  | 0.00  | 1.49  | 154 |       |       | 87  |       |       |
| 173 | 5.02  | 4.74  | 112 | 1.99  | 2.35  | 185 |       |       | 118 |       |       |
| 200 | 7.59  | 6.93  | 139 | 4.35  | 3.84  | 212 |       |       | 145 |       |       |
| 235 | 12.96 | 12.99 | 174 | 9.55  | 9.89  | 250 | 10.71 | 6.46  | 183 | 5.68  | 6.11  |
| 267 | 16.94 | 15.10 | 206 | 15.19 | 12.87 | 286 | 13.30 | 13.44 | 219 | 7.81  | 10.23 |
|     |       |       |     |       |       | 313 | 12.46 | 13.01 | 246 | 8.43  | 9.91  |
|     |       |       |     |       |       | 341 | 16.59 | 15.45 | 274 | 12.27 | 12.90 |

ตารางที่ 39: ค่า polarity ของฮ้อยตอปีที่หนึ่ง มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 244 | 9.91  | 7.63  | 218 | 11.49 | 7.41  |
| 279 | 12.82 | 11.80 | 253 | 15.05 | 9.72  |
| 307 | 13.72 | 12.61 | 281 | 15.23 | 9.72  |
| 337 | 15.98 | 15.73 | 311 | 17.22 | 13.26 |

ระดับ brix ในฮ้อยปลูกระดับ brix พลวัตเช่นเดียวกันกับค่า polarity และค่า CCS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อฮ้อยมีอายุมากขึ้น (ตารางที่ 40) ในช่วงเก็บเกี่ยวฮ้อยพบว่าค่า brix ของฮ้อยปลูกอยู่ในช่วง 16.24-18.77 และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ

ในช่วงการเก็บเกี่ยวของฮ้อยตอปีที่หนึ่งของ D1 และ D2 (ตารางที่ 41) พบว่า ค่า polarity ของฮ้อยทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับฮ้อยปลูก และสูงมากกว่าฮ้อยปลูกทั้งสองวันปลูก ค่า brix ของฮ้อยตอปีที่หนึ่ง อยู่ในช่วง 18.15-18.99

ตารางที่ 40: ค่า brix ของฮ้อยปลูก มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       | D 3 |       |       | D 4 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 113 | 8.05  | 6.82  | 52  | 0.00  | 0.00  | 123 | 0.00  | 0.00  | 56  | 0.00  | 0.00  |
| 138 | 9.46  | 9.69  | 77  | 0.00  | 3.50  | 154 | 0.00  | 0.00  | 87  | 0.00  | 0.00  |
| 173 | 11.79 | 11.21 | 112 | 8.25  | 9.29  | 185 | 0.00  | 0.00  | 118 | 0.00  | 0.00  |
| 200 | 13.25 | 12.98 | 139 | 10.27 | 9.83  | 212 | 0.00  | 0.00  | 145 | 0.00  | 0.00  |
| 235 | 17.67 | 18.13 | 174 | 14.94 | 14.96 | 250 | 15.12 | 12.52 | 183 | 11.62 | 12.05 |
| 267 | 0.00  | 0.00  | 206 | 0.00  | 0.00  | 286 | 17.13 | 17.22 | 219 | 13.03 | 14.56 |
|     |       |       |     |       |       | 313 | 16.10 | 16.95 | 246 | 12.80 | 14.59 |
|     |       |       |     |       |       | 341 | 19.53 | 18.67 | 274 | 17.04 | 16.73 |

ตารางที่ 41: ค่า brix ของฮ้อยตอปีที่หนึ่ง มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 244 | 14.72 | 13.02 | 218 | 15.49 | 12.58 |
| 279 | 16.35 | 15.90 | 253 | 17.81 | 13.66 |
| 307 | 16.67 | 15.98 | 281 | 18.16 | 13.82 |
| 337 | 18.32 | 18.61 | 311 | 19.19 | 16.12 |

ปริมาณเยื่อใย ในฮ้อยปลูกปริมาณเยื่อใยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อฮ้อยมีอายุมากขึ้น (ตารางที่ 42) ยกเว้นในวันปลูก D1 ซึ่งปริมาณเยื่อใยในฮ้อยทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มลดลง เมื่อเก็บเกี่ยวปริมาณเยื่อใยของฮ้อยทั้งสองพันธุ์อยู่ในร้อยละ 11.20-12.12 ของน้ำหนักแห้ง และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ในช่วงการเก็บเกี่ยวของฮ้อยตอปีที่หนึ่ง (ตารางที่ 43) พบว่า ปริมาณเยื่อใยของฮ้อยทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นแต่มีความแปรปรวนมากกว่าปริมาณเยื่อใยของฮ้อยปลูก ปริมาณเยื่อใยของฮ้อยตอปีที่หนึ่งเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 10.52-12.07 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 42: ค่า fiber ของข้อยปลูก มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2538-2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       | D 3 |       |       | D 4 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 113 | 11.33 | 10.33 | 52  |       | 0.00  | 123 |       |       | 56  |       |       |
| 138 | 11.50 | 11.50 | 77  |       | 3.72  | 154 |       |       | 87  |       |       |
| 173 | 11.07 | 10.93 | 112 | 9.10  | 8.90  | 185 |       |       | 118 |       |       |
| 200 | 11.50 | 11.50 | 139 | 11.50 | 11.50 | 212 |       |       | 145 |       |       |
| 235 | 12.12 | 11.25 | 174 | 11.48 | 11.08 | 250 | 10.28 | 9.35  | 183 | 10.42 | 10.13 |
|     |       |       |     |       |       | 288 | 11.68 | 11.40 | 219 | 11.65 | 11.47 |
|     |       |       |     |       |       | 313 | 11.50 | 11.25 | 246 | 11.48 | 11.17 |
|     |       |       |     |       |       | 341 | 11.90 | 11.85 | 274 | 11.32 | 11.20 |

ตารางที่ 43: ค่า fiber ของข้อยตอปีหนึ่ง มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 244 | 10.02 | 9.88  | 218 | 11.18 | 9.07  |
| 279 | 11.12 | 10.65 | 253 | 12.17 | 10.90 |
| 307 | 9.63  | 9.82  | 281 | 10.98 | 9.98  |
| 337 | 11.65 | 12.10 | 311 | 12.07 | 10.52 |

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

ผลการทดลองวันปลูกอ้อยชุดที่หนึ่งและสอง  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

(อ้อยปลูก และอ้อยตอ 1 ของชุดที่หนึ่ง และ  
อ้อยปลูก ของชุดที่สอง)

อรรถชัย จินตะเวช ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา ถาวร อ่อนประไพ  
อ้อยทิน จันทรเมือง และ ปรัชญา นาสुरิวงศ์

งานทดลองนี้เป็นงานทดลองหนึ่งที่มีโครงสร้างและวิธีการทดลองดังที่ได้เสนอใน เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง และคณะในรายงานฉบับนี้ (หน้า 16) เพื่อสนับสนุนการรวบรวมข้อมูลจำเป็นต่อการพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0 ได้ทำการออกแบบให้ครอบคลุมสภาพการผลิตย่อยในพื้นที่ต่าง ๆ ให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ระบบการผลิตในประเทศไทยสามารถจัดได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบการผลิตย่อยในพื้นที่ชลประทานและพื้นที่อาศัยน้ำฝน ในระบบการผลิตทั้งสองแบบเกษตรกรปลูกย่อยต้นฤดูฝน (ประมาณเดือนพฤษภาคม) และปลายฤดูฝน (ประมาณเดือนพฤศจิกายน) ระบบการผลิตย่อยในภาคเหนือส่วนใหญ่ปลูกย่อยอาศัยน้ำฝนและเป็นย่อยที่ปลูกในช่วงต้นฤดูฝนและเริ่มฤดูการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคมของทุกปี ส่วนใหญ่เป็นระบบการผลิตย่อยที่มีการไว้ต่อย่อย 1-2 ต่อต่อการปลูกหนึ่งครั้ง

## อุปกรณ์ วิธีการทดลอง และวิธีการวัดค่าตัวแปร

ดำเนินการทดลองในดินชุดสติก ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดิน Oxic Paleustults ตามระบบอนุกรมวิทยาดิน Soil Taxonomy (ทวิศักดิ์ และ ชนิษฐศรี, 2534) งานทดลองชุดที่หนึ่งมีวันปลูกที่ทำการเปรียบเทียบสองวันปลูก คือ วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2538 (D1) และ วันที่ 28 เมษายน 2538 (D2) เก็บเกี่ยวย่อยปลูกระหว่างวันที่ 18-22 พฤศจิกายน 2538 และเก็บเกี่ยวย่อยต่อปีที่หนึ่งระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม 2539 งานทดลองชุดที่สองมีสองวันปลูก คือ วันที่ 19 พฤศจิกายน 2538 (D3) และ วันที่ 16 มกราคม 2539 (D4) เก็บเกี่ยวย่อยปลูกระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม 2539

ปี 2538 และ 2539 เก็บเกี่ยวย่อยปลูกแถวที่สามและแถวที่สี่ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม และปีที่สอง (2539) เก็บเกี่ยวย่อยต่อแถวที่เจ็ดและแปดในระหว่างเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม

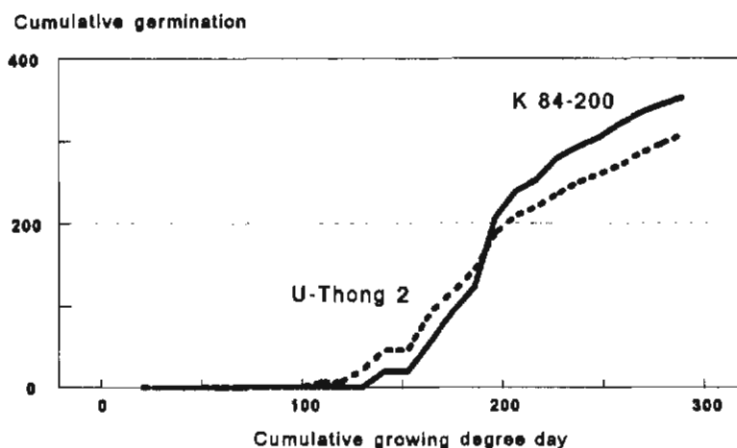
เก็บเกี่ยวกอย่อยตัวอย่างทั้งกอจำนวนสองกอ เมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 3 สิงหาคม 3 กันยายน 5 ตุลาคม และ 6 พฤศจิกายน 2538 เพื่อหาพื้นที่ใบ นับจำนวนลำย่อย แล้วทำการแยกส่วนต่าง ๆ ออกเป็น ส่วนของต้นย่อย ส่วนของใบย่อย ส่วนของกาบใบย่อย และ ส่วนของรวงย่อย ทำการตากแห้งและชั่งน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน อนึ่ง คณะผู้วิจัยได้ทำการจัดส่งลำต้นย่อยไปที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีเพื่อตรวจวัดค่าองค์ประกอบความหวาน

## ผลการทดลอง

### พัฒนาการของอ้อย (cane phenology)

อัตราการงอกของตาอ้อย รูปที่ 11 แสดงอัตราการงอกของอ้อยทั้งสองพันธุ์ของวันปลูก D4 ของพันธุ์ K และพันธุ์ U ซึ่งมีอัตราการงอกของตาอ้อยร้อยละ 50 ในวันที่ 4 และ 6 กุมภาพันธ์ 2539 ตามลำดับ คิดเป็นประมาณ 200 GDD อัตราการงอกของพืชในตระกูลธัญพืชได้รับอิทธิพลจากระดับความลึกของการวางท่อนพันธุ์หรือเมล็ดพืช ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้อย่างแม่นยำโดยใช้อุณหภูมิอากาศเป็นตัวบ่งชี้ได้

รูปที่ 11: ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสะสมและความงอกสะสมของอ้อยทั้งสองพันธุ์ จากวันปลูก D4 วันที่ 16 มกราคม 2539 ม.เชียงใหม่



โดยทั่วไป อ้อยปลูกทั้งสองพันธุ์ของทั้งสี่วันปลูกมีพัฒนาการและการเจริญเติบโตที่ดีตลอดฤดูปลูกในปี 2538 และ ปี 2539 อย่างไรก็ตาม ในระหว่างเดือนสิงหาคมถึงกลางเดือนตุลาคม 2538 และ 2539 มีฝนตกหนักติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้อ้อยโคนล้มสองช่วงคือระหว่างเดือนสิงหาคมและต้นเดือนพฤศจิกายน 2538 และ 2539 การล้มของอ้อยในช่วงที่สองของปี 2538 ทำให้ผู้ดำเนินการวิจัยต้องตัดสินใจเก็บเกี่ยวก่อนระยะเวลาที่สมควรโดยเฉพาะพันธุ์ K อาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตต้นสดของอ้อยทดลองค่อนข้างต่ำกว่าที่ได้คาดการณ์ไว้ นอกจากนี้ อ้อยทั้งแปลงถูกไฟไหม้เมื่อวันที่ 7 มีนาคม 2540 คณะผู้วิจัยได้ทำการซ่อมต่ออ้อย ให้น้ำ และปุ๋ยเคมีเพื่อเร่งการเจริญเติบโต และสามารถกู้แปลงทดลองกลับได้กว่าร้อยละ 80 ของกออ้อยที่ต้องการเก็บเกี่ยวในปีที่สาม (อ้อยต่อปีที่สอง) ผู้วิจัยคาดว่าพัฒนาการของอ้อยจะช้ากว่าแปลงทดลองที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีประมาณสองเดือน คาดว่าจะมีผลต่อผลผลิตอ้อยในงานทดลองทั้งสองเช่นกัน

ในงานทดลองชุดที่สอง (D3 และ D4) อ้อยทั้งสองพันธุ์มีพัฒนาการของใบอ้อยคล้ายคลึงกัน ทั้งสองวันปลูก (รูปที่ 12) โดยในวันปลูกที่ 3 อ้อยทั้งสองพันธุ์มีอัตราการเพิ่มขึ้นของใบเป็น  $0.0075$  ใบต่อ  $1^{\circ}\text{d}$  ( $r^2=0.99$ ) และ  $0.0084$  ใบต่อ  $1^{\circ}\text{d}$  ( $r^2=0.99$ ) ตามลำดับ และในวันปลูกที่ 4 อ้อยทั้งสองพันธุ์มีอัตราการเพิ่มขึ้นของใบเป็น  $0.0072$  ใบต่อ  $1^{\circ}\text{d}$  ( $r^2=0.96$ ) และ  $0.0074$  ใบต่อ  $1^{\circ}\text{d}$  ( $r^2=0.96$ ) ตามลำดับ

ระยะพัฒนาการต่าง ๆ เมื่ออ้อย D1 และ D2 มีอายุได้ 2-4 เดือนหลังการงอก และอ้อย D3 และ D4 มีอายุได้ 5-7 เดือนหลังการงอก มีการสร้างพื้นที่ใบอย่างรวดเร็ว รวมทั้งมีการแตกหน่อเป็นจำนวนมาก การแตกหน่อถึงระดับสูงสุดประมาณ 4-6 เดือน และ 7-9 เดือน หลังการงอก จากนั้นอ้อยทั้งสองพันธุ์เริ่มเข้าสู่ระยะการสลับหน่อทั้ง และมีการรักษาจำนวนลำเพื่อเป็นที่เก็บสะสมน้ำตาล (millingable stalk) ลำเหล่านี้จะเข้าสู่ระยะการยืดปล้องและการสะสมน้ำหนักลำต้น

งานทดลองชุดที่หนึ่ง (D1 และ D2) พบว่าอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่หนึ่งพันธุ์ U เริ่มระยะสร้างช่อดอก (panicle initiation) ประมาณต้นเดือนตุลาคม ปี 2538 และ 2539 อ้อยพันธุ์ U เข้าสู่ระยะมีช่อดอกโผล่เหนือคอใบ (panicle emergence) ประมาณวันที่ 10-13 พฤศจิกายน 2538 และ 2539 ส่วนอ้อยพันธุ์ K ทั้งอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่หนึ่งเข้าสู่ระยะทั้งสองช้ากว่าอ้อยพันธุ์ U ประมาณหนึ่งเดือน กล่าวคือเริ่มระยะสร้างช่อดอก (panicle initiation) ประมาณวันที่ 6-10 พฤศจิกายน 2538 และ 2539 เริ่มระยะช่อดอกโผล่เหนือคอใบ (panicle emergence) ประมาณวันที่ 8-12 ธันวาคม 2538 และ 2539

ในงานทดลองชุดที่สอง (D3 และ D4) พบว่าอ้อยพันธุ์ U เริ่มระยะผลิตช่อดอก (panicle initiation) ประมาณต้นเดือนตุลาคม ปี 2539 เริ่มแทงช่อดอก (panicle emergence) ประมาณวันที่ 10-13 พฤศจิกายน 2539 ส่วนอ้อยพันธุ์ K เริ่มระยะทั้งสองช้ากว่าอ้อยพันธุ์ U ประมาณหนึ่งเดือน กล่าวคือเริ่มระยะผลิตช่อดอก (panicle initiation) ประมาณวันที่ 6-10 พฤศจิกายน 2539 เริ่มแทงช่อดอก (panicle emergence) ประมาณวันที่ 8-12 ธันวาคม 2539 ผู้วิจัยได้รับคำบอกกล่าวว่าการออกดอกของอ้อยมีผลโดยตรงต่อการสะสมน้ำตาลในลำต้นของอ้อย แต่ยังไม่มียางงานผลการวิจัยยืนยัน ดังนั้นจึงสมควรที่จะทำการวิจัยเพื่อทำความเข้าใจกระบวนการของการสะสมน้ำตาลในพันธุ์อ้อยของไทยอย่างเป็นระบบ

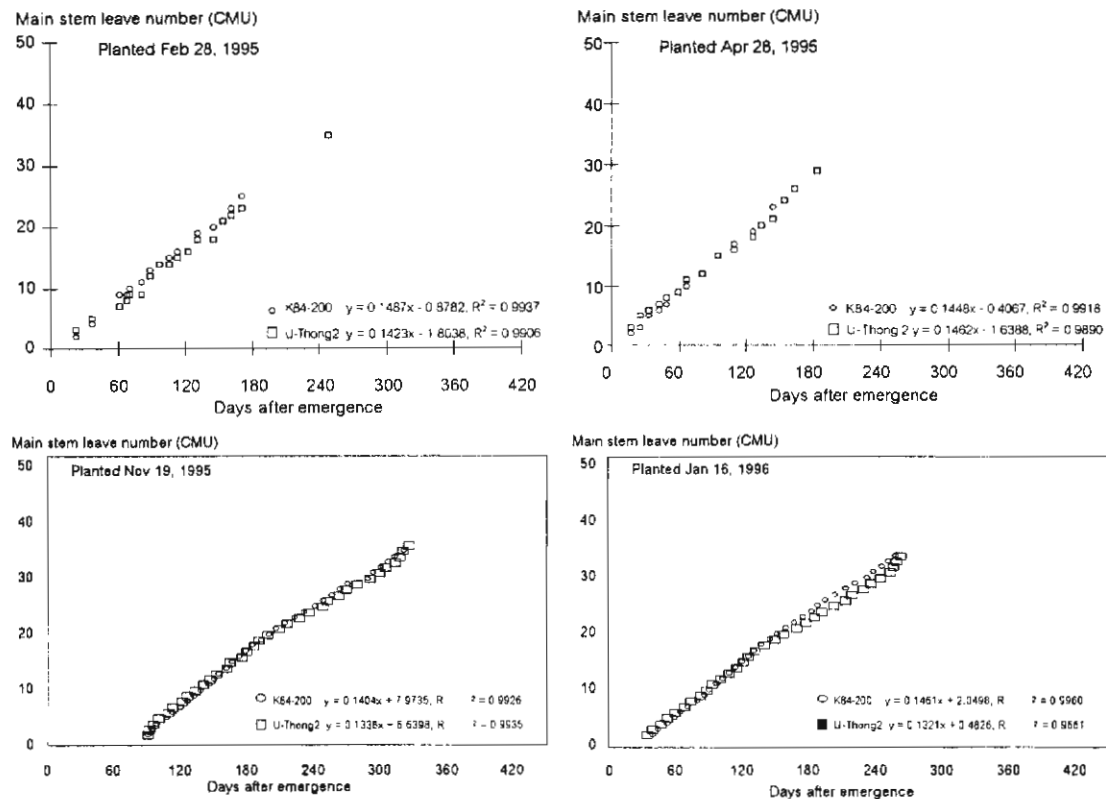
**พัฒนาการของใบอ้อยปลูก** การติดตามพัฒนาการของใบอ้อยในวันปลูก D1 และ D2 ในช่วงฤดูฝนมีอุปสรรคเนื่องจากฝนตกชุก รวมทั้งทรงกอของอ้อยทั้งสองพันธุ์ขึ้นปกคลุมเกือบเต็มพื้นที่ระหว่างแถวปลูกทำให้การบันทึกข้อมูลมีอุปสรรคมาก ผู้วิจัยได้ตัดสินใจงดการบันทึกข้อมูลในช่วงดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การติดตามพัฒนาการของใบอ้อยปลูก D1, D2, และ D3 ในปี 2538 และอ้อยปลูก D4 ในปี 2539 ทั้งสองพันธุ์พบว่ามีการพัฒนาการใกล้เคียงกัน (รูปที่ 12) อ้อยพันธุ์ K และพันธุ์ U มีอัตราการเพิ่มขึ้นของใบเฉลี่ย 0.15 ใบ/วัน<sup>1</sup> และ 0.14 ใบ/วัน<sup>1</sup> ตามลำดับ เป็นผลการวิจัยที่มีความหมายมากต่อการพัฒนาและการทดลองแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย เป็นข้อมูลที่สามารถใช้ยืนยันได้ว่าสามารถใช้อุณหภูมิอากาศ (GDD) ในการคาดการณ์พัฒนาการของใบได้อย่างมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ

เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราการเพิ่มของใบอ้อยพันธุ์ U ในช่วงสุดท้ายของฤดูการมีอัตราลดลง เนื่องจากอ้อยพันธุ์ U เข้าสู่ระยะการสร้างช่อดอกและเมล็ดซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของอ้อยพืช ในอ้อยพันธุ์ K มีการสร้างช่อดอกช้ากว่าพันธุ์ U และมีอัตราการสร้างใบใหม่ของอ้อยพันธุ์ K ในอัตราใกล้เคียงกัน

### **การเจริญเติบโตของอ้อยในระหว่างฤดูปลูก (cane growth)**

ผลการทดลองที่จะรายงานในเอกสารฉบับนี้เป็นผลการทดลองอ้อยปลูกและอ้อยตอปีที่หนึ่ง โดยแบ่งออกเป็นห้าส่วน คือ อิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อน้ำหนักอ้อยสด ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและน้ำหนักมวลชีวภาพแห้ง ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและน้ำหนักลำต้นสด ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและน้ำหนักใบและกาบใบแห้ง ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาและจำนวนหน่ออ้อย อิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อน้ำหนักสดของอ้อย และอิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อองค์ประกอบความหวานของอ้อย

รูปที่ 12: พัฒนาการของใบอ้อยปลูก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2538 และ 2539)



อิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อน้ำหนักอ้อยสด น้ำหนักลำอ้อยสดของอ้อยปลูกต่อไร่ของทั้งสี่วันปลูกมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ตารางที่ 44) ในวันปลูก D3 อ้อยทั้งสองพันธุ์ให้ผลผลิตลำสดต่อไร่สูงสุด เฉลี่ยเป็น 25.8 และ 25.3 ตันต่อไร่ สำหรับพันธุ์ K และ พันธุ์ U ตามลำดับ วันปลูกที่ให้ผลผลิตอ้อยสูงสุดเป็นวันปลูกที่อ้อยมีอายุยาวที่สุด เก็บเกี่ยวเมื่ออ้อยมีอายุหลังการรวม 335 วัน อายุยาวกว่าอ้อยที่ปลูกใน D1, D2 และ D4 คิดเป็นร้อยละ 36, 83 และ 9 ตามลำดับ และมีจำนวนลำเฉลี่ยต่อไร่มากที่สุดอีกด้วย สูงกว่าอ้อยที่ปลูกใน D1, D2 และ D4 คิดเป็นร้อยละ 8, 79 และ 15 ตามลำดับสำหรับพันธุ์ U และสูงกว่าอ้อยที่ปลูกใน D1, D2 และ D4 คิดเป็นร้อยละ 25, 48 และ 25 ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ K

วันปลูกอ้อย D3 ของแปลงทดลองในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีระยะเวลาใกล้เคียงกับวันปลูกอ้อยในฤดูแล้งอาศัยน้ำฝนของเกษตรกรหลายพื้นที่ของประเทศโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ทินกร กลมสอาด และคณะ, 2538) ในระยะ 2-3 เดือนแรกอ้อยที่ปลูกใน D3 มี พัฒนาการในอัตราต่ำเนื่องจากอุณหภูมิอากาศต่ำสุดมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิพื้นฐานสำหรับกระบวนการพัฒนาการและกระบวนการเจริญเติบโตของอ้อย โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อเข้าสู่ช่วงต้นฤดูฝนในเดือนพฤษภาคมทำให้อ้อยที่ปลูกใน D3 มีพัฒนาการและการเจริญเติบโตที่ดีกว่าอ้อยที่ปลูกในวันปลูกอื่น

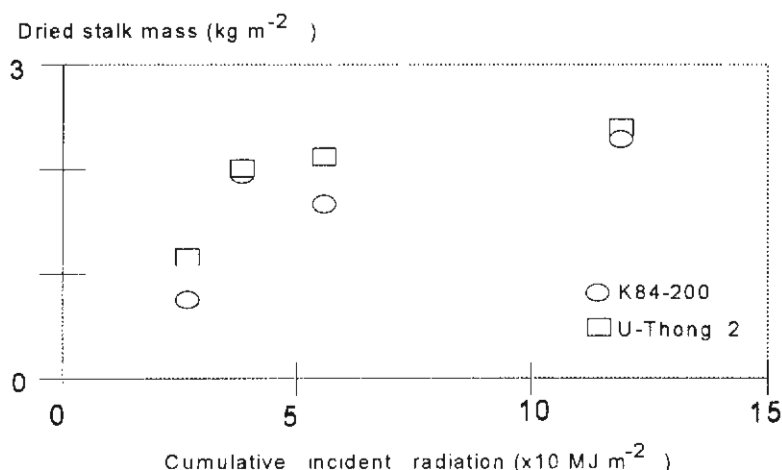
ตารางที่ 44: จำนวนลำอ้อย (ลำ/ไร่) และน้ำหนักสด (ตัน/ไร่) ของอ้อยปลูกและอ้อยตอหนึ่ง พันธุ์ K และ U เมื่อเก็บเกี่ยว แปลงทดลองมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-39

| Ds/Cultivars                       | Stalk number rai <sup>-1</sup> |        | Stalk fresh wt. Mg rai <sup>-1</sup> |      |
|------------------------------------|--------------------------------|--------|--------------------------------------|------|
|                                    | K                              | U      | K                                    | U    |
| ----- Plant crop (1995-1996) ----- |                                |        |                                      |      |
| D 1                                | 9,440                          | 13,760 | 18.6                                 | 21.6 |
| D 2                                | 8,000                          | 8,320  | 9.9                                  | 13.5 |
| D 3                                | 11,840                         | 14,880 | 25.8                                 | 25.3 |
| D 4                                | 9,440                          | 12,960 | 21.8                                 | 23.0 |
| ----- Ratoon 1 (1996) -----        |                                |        |                                      |      |
| D 1                                | 11,680                         | 17,280 | 19.8                                 | 24.3 |
| D 2                                | 13,760                         | 16,800 | 16.8                                 | 21.2 |

อ้อยทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกใน D3 ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุดเมื่อเทียบกับวันปลูกอื่น (รูปที่ 13) มากกว่า 11,000 MJ m<sup>-2</sup> คิดเป็นร้อยละ 200, 300, และ 114 ของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับในวันปลูกที่ D1, D2, และ D4 ตามลำดับ สัดส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใบอ้อยได้รับและเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงน่าจะอยู่ในช่วงร้อยละ 12-30 ทำให้ประสิทธิภาพการใช้แสง (RUE) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.68-1.77 g m<sup>-2</sup> ซึ่งเป็นค่าที่จัดอยู่ในช่วงปานกลาง (Robertson et al, 1996; Inman-Bamber, 1991)

น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพเหนือผิวดิน ในปี 2538 สามารถเก็บตัวอย่างอ้อยได้เฉพาะของ D1 เนื่องจากขาดแรงงานและฝนตกชุก น้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพเหนือผิวดินของอ้อยทั้งสองพันธุ์ในส่วนปลูกของอ้อยปลูกและอ้อย

รูปที่ 13: ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และน้ำหนักแห้งของลำต้นของอ้อยปลูกมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2538 และ 2539)



ตอปีที่หนึ่งแสดงในตารางที่ 45 และ 46 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพเหนือผิวดินเพิ่มขึ้นตั้งแต่การเก็บตัวอย่างย่อยครั้งแรกถึงการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย และเป็นไปตามที่คาดหมายไว้ น้ำหนักมวลชีวภาพของพันธุ์ U สูงกว่าพันธุ์ K แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพเหนือผิวดินในระยะแรกของการเจริญเติบโตส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำหนักใบและกาบใบ

น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพเหนือผิวดินในระดับนี้จัดว่าอยู่ในระดับปานกลาง ในประเทศออสเตรเลียมีงานวิจัยและรายงานผลการผลิตจากไผ่ผลิตยืนยันว่าในพื้นที่ที่มีพลังงานแสงอาทิตย์ระดับนี้ย่อย (พืช C4) สามารถให้ผลผลิตมวลชีวภาพแห้งเหนือผิวดินในช่วง 5,600-5,800 g m<sup>-2</sup> แสดงให้เห็นว่าการผลิตย่อยในประเทศไทยสามารถเพิ่มผลผลิตได้อีกแน่นอน

ตารางที่ 45: น้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพเหนือผิวดินของย่อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D1  |      |      | D2  |      |      | D3  |      |      | D4  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 112 | 1.30 | 2.98 | 49  |      |      | 148 | 0.34 | 0.33 | 85  | 0.05 | 0.05 |
| 142 | 1.26 | 1.91 | 79  |      |      | 196 | 1.23 | 1.29 | 133 | 0.80 | 0.76 |
| 176 | 2.04 | 3.44 | 113 |      | 1.09 | 226 | 1.94 | 1.67 | 163 | 1.26 | 1.74 |
| 203 | 2.92 | 3.18 | 140 |      |      | 245 | 2.62 | 3.32 | 182 | 1.70 | 2.35 |
| 238 | 3.78 | 5.96 | 175 |      |      | 281 | 2.84 | 3.58 | 218 | 2.50 | 2.83 |
| 246 | 1.76 | 2.36 | 183 | 1.23 | 1.67 | 308 | 3.93 | 3.47 | 245 | 2.39 | 3.05 |
|     |      |      |     |      |      | 335 | 3.72 | 4.34 | 272 | 4.62 | 3.84 |
|     |      |      |     |      |      | 370 | 5.38 | 4.69 | 307 | 4.82 | 5.39 |

ตารางที่ 46: น้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพเหนือผิวดินของย่อยตอปีที่หนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 148 | 0.83 | 0.92 | 148 | 0.77 | 0.80 |
| 196 | 0.77 | 1.40 | 196 | 1.48 | 1.32 |
| 227 | 2.04 | 2.97 | 227 | 2.46 | 2.39 |
| 246 | 1.95 | 2.00 | 246 | 1.97 | 2.61 |
| 281 | 2.92 | 3.28 | 281 | 3.12 | 3.70 |
| 309 | 3.54 | 3.20 | 309 | 4.34 | 5.32 |

น้ำหนักสดของลำต้น การสะสมน้ำหนักสดของลำต้นย่อยพันธุ์ U มีอัตราที่สูงกว่าการสะสมน้ำหนักใบและต้นของย่อยพันธุ์ K (ตารางที่ 47 และ 48) โดยเฉพาะในระยะแรกของการเพาะปลูก เมื่อติดตามการสะสมน้ำหนักต่อไปในระยะเจ็ดเดือนหลังการงอกพบว่าย่อยพันธุ์ K ยังมีการสะสมน้ำหนักอีกต่อไปในขณะที่ย่อยพันธุ์ U มีอัตราการสะสมน้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของกาบใบและน้ำหนักสดของลำต้นย่อยในพันธุ์ U มีอัตราสูงกว่าย่อยพันธุ์ K

ตารางที่ 47: น้ำหนักลำต้นสดของช้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D 1 |       |       | D 2 |      |      | D 3 |       |       | D 4 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|------|------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K    | U    | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 112 |       |       | 49  |      |      | 148 |       |       | 85  | 8.97  |       |
| 142 |       |       | 79  |      |      | 196 |       |       | 133 | 13.59 |       |
| 176 | 8.44  | 13.90 | 113 | 0.00 | 5.24 | 226 |       |       | 183 | 9.74  | 4.34  |
| 203 | 12.06 | 13.76 | 140 |      |      | 245 | 9.94  | 11.68 | 182 | 8.21  | 7.21  |
| 238 | 14.38 | 17.54 | 175 |      |      | 281 | 12.69 | 14.28 | 218 | 8.21  | 9.82  |
| 246 | 12.88 | 13.27 | 183 | 5.00 | 7.86 | 308 | 15.79 | 15.05 | 245 | 6.15  | 10.41 |
|     |       |       |     |      |      | 335 | 13.85 | 18.82 | 272 | 8.21  | 13.38 |
|     |       |       |     |      |      | 370 | 18.67 | 15.00 | 307 | 7.69  | 16.98 |
|     |       |       |     |      |      | 378 | 15.99 | 16.01 | 315 | 11.08 | 14.01 |

ตารางที่ 48: น้ำหนักลำต้นสดของช้อยตอปีที่หนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 148 | 0.15 | 0.27 | 148 | 0.19 | 0.22 |
| 196 | 0.27 | 0.49 | 196 | 0.59 | 0.42 |
| 227 | 1.16 | 1.75 | 227 | 1.41 | 1.33 |
| 246 | 0.95 | 1.10 | 246 | 1.00 | 1.28 |
| 281 | 2.00 | 2.21 | 281 | 2.03 | 2.49 |
| 309 | 2.18 | 1.77 | 309 | 2.46 | 3.21 |
| 336 | 3.69 | 4.00 | 336 | 4.00 | 4.21 |

ตารางที่ 49: น้ำหนักแห้งของลำต้นช้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      | D 3 |      |      | D 4 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 112 | 0.83 | 2.31 | 49  | 0.00 | 0.00 | 148 | 0.09 | 0.08 | 85  | 0.00 | 0.00 |
| 142 | 0.67 | 1.26 | 79  | 0.00 | 0.00 | 196 | 0.56 | 0.57 | 133 | 0.26 | 0.20 |
| 176 | 1.23 | 2.08 | 113 | 0.00 | 0.69 | 226 | 1.15 | 0.93 | 183 | 0.66 | 0.83 |
| 203 | 1.87 | 1.92 | 140 | 1.00 | 0.00 | 245 | 1.77 | 2.15 | 182 | 1.00 | 1.64 |
| 238 | 2.41 | 4.15 | 175 | 0.00 | 0.00 | 281 | 1.67 | 2.26 | 218 | 1.62 | 1.77 |
| 246 | 0.56 | 0.60 | 183 | 0.30 | 0.44 | 308 | 2.48 | 2.15 | 245 | 1.38 | 2.05 |
|     |      |      |     |      |      | 335 | 2.56 | 2.77 | 272 | 3.08 | 2.56 |
|     |      |      |     |      |      | 370 | 3.90 | 3.28 | 307 | 3.28 | 3.69 |

ตารางที่ 50: น้ำหนักแห้งของลำต้นอ้อยต่อปีหนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D 1 |      |      | D 2 |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 148 | 0.15 | 0.27 | 148 | 0.19 | 0.22 |
| 196 | 0.27 | 0.49 | 196 | 0.59 | 0.42 |
| 227 | 1.16 | 1.75 | 227 | 1.41 | 1.33 |
| 246 | 0.95 | 1.10 | 246 | 1.00 | 1.28 |
| 281 | 2.00 | 2.21 | 281 | 2.03 | 2.49 |
| 309 | 2.18 | 1.77 | 309 | 2.46 | 3.21 |
| 336 | 3.69 | 4.00 | 336 | 4.00 | 4.21 |

น้ำหนักแห้งของใบและกาบใบ ในปี 2538 สามารถเก็บตัวอย่างอ้อยได้เฉพาะของ D1 เนื่องจากขาดแรงงาน และฝนตกชุก น้ำหนักแห้งของใบและกาบใบของอ้อยทั้งสองพันธุ์ในส่วนปลูกของอ้อยปลูกและอ้อยต่อปีหนึ่ง แสดงในตารางที่ 49 และ 50 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งใบและกาบใบเพิ่มขึ้นตั้งแต่การเก็บตัวอย่างอ้อยครั้งแรกถึงการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย และเป็นไปตามที่คาดหมายไว้ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ น้ำหนักแห้งของใบและกาบใบเป็นมวลชีวส่วนใหญ่ในระยะแรกของการเจริญเติบโต

ตารางที่ 51: น้ำหนักใบและกาบใบแห้งของอ้อยปลูก (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D1  |      |      | D2  |      |      | D3  |      |      | D4  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 112 | 0.47 | 0.66 | 49  |      |      | 148 | 0.25 | 0.24 | 85  | 0.05 | 0.05 |
| 142 | 0.59 | 0.65 | 79  |      |      | 196 | 0.67 | 0.72 | 133 | 0.55 | 0.56 |
| 176 | 0.81 | 1.36 | 113 | 0.00 | 0.39 | 226 | 0.79 | 0.74 | 163 | 0.60 | 0.91 |
| 203 | 1.05 | 1.25 | 140 |      |      | 245 | 0.85 | 1.16 | 182 | 0.70 | 0.71 |
| 238 | 1.37 | 1.81 | 175 |      |      | 281 | 1.17 | 1.32 | 218 | 0.89 | 1.07 |
| 246 | 1.20 | 1.76 | 183 | 0.93 | 1.23 | 308 | 1.47 | 1.32 | 245 | 1.03 | 1.00 |
|     |      |      |     |      |      | 335 | 1.15 | 1.58 | 272 | 1.54 | 1.27 |
|     |      |      |     |      |      | 370 | 1.48 | 1.40 | 307 | 1.54 | 1.70 |

ตารางที่ 52: น้ำหนักใบและกาบใบแห้งของอ้อยต่อปีหนึ่ง (กิโลกรัม ตม<sup>-1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D1  |      |      | D2  |      |      |
|-----|------|------|-----|------|------|
| DAE | K    | U    | DAE | K    | U    |
| 148 | 0.68 | 0.65 | 148 | 0.58 | 0.57 |
| 196 | 0.50 | 0.90 | 196 | 0.89 | 0.90 |
| 227 | 0.88 | 1.23 | 227 | 1.06 | 1.06 |
| 246 | 1.01 | 0.89 | 246 | 0.97 | 1.32 |
| 281 | 0.92 | 1.07 | 281 | 1.09 | 1.21 |
| 309 | 1.36 | 1.43 | 309 | 1.88 | 2.12 |
| 336 | 1.66 | 1.63 | 336 | 1.85 | 1.84 |
| 371 | 1.69 | 1.47 | 371 | 1.97 | 2.33 |

จำนวนหน่ออ้อย จำนวนหน่ออ้อยต่อกอมีจำนวนลดลงตั้งแต่ปลูกถึงระยะเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 53 และ 54) ทั้งนี้ เป็นกลไกในการสร้างผลผลิตของพืชตระกูลหญ้าทั่วไป (Yoshida, 1981) พันธุ์ U มีจำนวนหน่อต่อกอสูงกว่าพันธุ์ K เฉลี่ย 7 และ 4 ลำต่อกอ ตามลำดับ หน่อเหล่านี้จะพัฒนาไปเป็นลำอ้อยที่พืชใช้ในการสะสมน้ำตาล

ในช่วงการเก็บเกี่ยวพบว่า จำนวนลำต่อไร่ของอ้อยพันธุ์ U มีมากกว่าอ้อยพันธุ์ K แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าน้ำหนักสดของอ้อยสดพันธุ์ U เฉลี่ย 15.2 ตันต่อไร่ และพันธุ์ K เฉลี่ย 13.3 ตันต่อไร่ และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยทางสถิติ (ตารางที่ 44)

ตารางที่ 53 จำนวนหน่อ/ลำของอ้อยปลูก (จำนวน ตม<sup>1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D1  |       |       | D2  |      |      | D3  |       |       | D4  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|------|------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K    | U    | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 112 | 12.56 | 19.74 | 49  |      |      | 148 | 18.46 | 15.64 | 85  | 8.97  | 10.77 |
| 142 | 10.77 | 12.31 | 79  |      |      | 196 | 13.59 | 12.05 | 133 | 13.59 | 10.77 |
| 176 | 7.18  | 9.74  | 113 | 0.00 | 2.82 | 226 | 9.23  | 8.46  | 163 | 9.74  | 10.51 |
| 203 | 6.92  | 8.21  | 140 |      |      | 245 | 8.46  | 9.23  | 182 | 8.21  | 8.72  |
| 238 | 7.95  | 10.00 | 175 |      |      | 281 | 8.21  | 8.97  | 218 | 8.21  | 8.72  |
| 246 | 7.22  | 8.58  | 183 | 5.00 | 5.22 | 308 | 7.95  | 7.44  | 245 | 6.15  | 6.41  |
|     |       |       |     |      |      | 335 | 6.15  | 10.26 | 272 | 8.21  | 7.69  |
|     |       |       |     |      |      | 370 | 8.21  | 8.72  | 307 | 7.69  | 7.18  |

ตารางที่ 54: จำนวนหน่อ/ลำของอ้อยตอปีที่หนึ่ง (จำนวน ตม<sup>1</sup>) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D1  |       |       | D2  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 148 | 24.36 | 31.28 | 148 | 18.97 | 23.33 |
| 196 | 7.18  | 15.38 | 196 | 10.00 | 11.54 |
| 227 | 8.97  | 12.31 | 227 | 7.95  | 10.51 |
| 246 | 10.51 | 8.72  | 246 | 7.18  | 11.79 |
| 281 | 6.92  | 11.03 | 281 | 9.23  | 11.79 |
| 309 | 6.92  | 10.51 | 309 | 8.72  | 11.79 |
| 336 | 8.72  | 11.28 | 336 | 9.74  | 12.31 |
| 371 | 6.67  | 10.26 | 371 | 7.69  | 14.36 |

คุณภาพความหวานของน้ำอ้อย ในอ้อยปลูกพบว่าเริ่มมีค่า CCS เมื่ออ้อยมีอายุได้ 5 เดือน (ตารางที่ 55) และมีค่าสูงขึ้นตามลำดับจนกระทั่งเก็บเกี่ยว อ้อยทั้งสองพันธุ์มีค่า CCS ใกล้เคียงกัน

ในอ้อยตอปีที่หนึ่งพบว่าเริ่มมีค่า CCS เมื่ออ้อยมีอายุมากกว่า 5 เดือน (ตารางที่ 56) และมีค่าสูงขึ้นตามลำดับจนกระทั่งเก็บเกี่ยว พันธุ์ K มีค่า CCS สูงกว่าพันธุ์ U เล็กน้อยโดยเฉพาะในช่วงการเก็บเกี่ยวมีค่าเป็น 11.5 และ 11.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 55: ค่า CCS ของอ้อยปลูก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D1  |      |       | D2  |      |      | D3  |       |       | D4  |       |       |
|-----|------|-------|-----|------|------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | K    | U     | DAE | K    | U    | DAE | K     | U     | DAE | K     | U     |
| 176 | 2.58 | 3.73  | 113 |      | 1.65 | 226 |       |       | 163 | 1.55  | 1.55  |
| 203 | 5.67 | 5.20  | 140 |      |      | 245 | 4.24  | 4.22  | 182 | 3.05  | 3.64  |
| 238 | 8.88 | 10.81 | 175 |      |      | 281 | 7.37  | 6.48  | 218 | 6.06  | 6.96  |
| 246 | 9.84 | 11.29 | 183 | 8.50 | 8.39 | 308 | 8.71  | 8.02  | 245 | 7.65  | 7.60  |
|     |      |       |     |      |      | 335 | 10.70 | 10.73 | 272 | 11.05 | 11.24 |

ตารางที่ 56: ค่า CCS ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D1  |       |       | D2  |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | U     | K     | DAE | U     | K     |
| 227 | 0.00  | 0.00  | 227 | 1.42  | 0.00  |
| 248 | 3.78  | 3.74  | 248 | 4.59  | 4.29  |
| 281 | 8.65  | 7.70  | 281 | 8.45  | 8.15  |
| 309 | 8.38  | 7.67  | 309 | 9.50  | 11.28 |
| 336 | 10.90 | 11.27 | 336 | 11.61 | 11.76 |

ระดับ *polarity* ในอ้อยปลูกระดับ *polarity* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น (ตารางที่ 57) ในช่วงเก็บเกี่ยวอ้อยพบว่าค่า *polarity* ของอ้อยปลูกอยู่ในช่วง 12.37-15.06 และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ

ในช่วงการเก็บเกี่ยวของอ้อยตอปีที่หนึ่งของ D1 และ D2 (ตารางที่ 58) พบว่า ค่า *polarity* ของอ้อยทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับอ้อยปลูก และสูงมากกว่าอ้อยปลูกทั้งสี่วันปลูก ค่า *polarity* ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง อยู่ในช่วง 15.34-15.92 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 57: ค่า *polarity* ของอ้อยปลูก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       | D 3 |       |       | D 4 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | U     | K     | DAE | U     | K     | DAE | U     | K     | DAE | U     | K     |
| 112 | 9.46  | 9.54  | 49  |       |       | 148 |       |       | 85  |       |       |
| 142 | 2.03  | 3.40  | 79  |       |       | 196 |       |       | 133 |       |       |
| 176 | 7.20  | 8.05  | 113 | 2.81  | 0.00  | 226 |       |       | 163 | 2.52  | 0.00  |
| 203 | 8.71  | 9.29  | 140 |       |       | 245 | 7.25  | 7.36  | 182 | 6.74  | 6.71  |
| 238 | 14.69 | 12.79 | 175 |       |       | 281 | 9.59  | 10.57 | 218 | 10.38 | 9.52  |
| 246 | 15.01 | 13.83 | 183 | 12.37 | 12.34 | 308 | 11.07 | 11.79 | 245 | 11.09 | 10.94 |
|     |       |       |     |       |       | 335 | 14.43 | 14.24 | 272 | 15.03 | 15.06 |

ตารางที่ 58: ค่า *polarity* ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | U     | K     | DAE | U     | K     |
| 246 | 7.13  | 7.24  | 246 | 7.79  | 7.35  |
| 281 | 9.94  | 11.25 | 281 | 9.80  | 11.34 |
| 309 | 9.72  | 11.11 | 309 | 13.09 | 14.75 |
| 336 | 15.34 | 15.56 | 336 | 15.55 | 15.92 |

ระดับ *brix* ในอ้อยปลูกระดับ *brix* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น (ตารางที่ 59) ในช่วงเก็บเกี่ยวอ้อยพบว่าค่า *brix* ของอ้อยปลูกอยู่ในช่วง 16.24-18.77 และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ

ในช่วงการเก็บเกี่ยวของอ้อยตอปีที่หนึ่งของ D1 และ D2 (ตารางที่ 60) พบว่า ค่า *brix* ของอ้อยทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับอ้อยปลูก และสูงมากกว่าอ้อยปลูกทั้งสี่วันปลูก ค่า *brix* ของอ้อยตอปีที่หนึ่ง อยู่ในช่วง 18.15-18.99

ปริมาณเยื่อใย ในอ้อยปลูกปริมาณเยื่อใยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น (ตารางที่ 61) ยกเว้นในวันปลูก D1 ซึ่งปริมาณเยื่อใยในอ้อยทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มลดลง เมื่อเก็บเกี่ยวปริมาณเยื่อใยของอ้อยทั้งสองพันธุ์อยู่ในร้อยละ 9-12 ของน้ำหนักแห้ง และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 59: ค่า brix ของอ้อยปลูก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       | D 3 |       |       | D 4 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | U     | K     | DAE | U     | K     | DAE | U     | K     | DAE | U     | K     |
| 112 | 1.84  | 2.07  | 49  |       |       | 148 |       |       | 85  |       |       |
| 142 | 10.20 | 10.00 | 79  |       |       | 196 |       |       | 133 |       |       |
| 176 | 12.25 | 11.80 | 113 | 4.37  |       | 226 |       |       | 163 | 3.84  |       |
| 203 | 13.37 | 13.99 | 140 |       |       | 245 | 11.60 | 11.93 | 182 | 11.52 | 11.67 |
| 238 | 18.16 | 16.78 | 175 |       |       | 281 | 12.63 | 13.59 | 218 | 13.69 | 13.38 |
| 246 | 18.77 | 18.06 | 183 | 16.60 | 16.24 | 308 | 13.85 | 14.64 | 245 | 14.93 | 14.29 |
|     |       |       |     |       |       | 335 | 17.31 | 17.13 | 272 | 18.01 | 18.01 |

ตารางที่ 60: ค่า brix ของอ้อยตอปีหนึ่ง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | U     | K     | DAE | U     | K     |
| 246 | 12.39 | 12.75 | 246 | 12.49 | 11.91 |
| 281 | 13.29 | 14.75 | 281 | 13.44 | 14.54 |
| 309 | 13.63 | 14.74 | 309 | 16.12 | 17.03 |
| 336 | 18.99 | 18.67 | 336 | 18.15 | 18.51 |

ในช่วงการเก็บเกี่ยวของอ้อยตอปีหนึ่ง (ตารางที่ 62) พบว่า ปริมาณเยื่อใยของอ้อยทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้นและสูงมากกว่าอ้อยปลูกทั้งสี่วันปลูก ปริมาณเยื่อใยเฉลี่ย อยู่ในช่วงร้อยละ 11.20-12.47 ของน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 61: ค่า fiber ของอ้อยปลูก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2538-2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       | D 3 |       |       | D 4 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | U     | K     | DAE | U     | K     | DAE | U     | K     | DAE | U     | K     |
| 112 | 10.87 | 10.63 | 49  |       |       | 148 |       |       | 85  |       |       |
| 142 | 11.50 | 11.50 | 79  |       |       | 196 |       |       | 133 |       |       |
| 176 | 11.55 | 11.78 | 113 | 3.83  |       | 226 |       |       | 163 | 3.10  |       |
| 203 | 11.50 | 11.50 | 140 |       |       | 245 | 9.57  | 9.00  | 182 | 8.43  | 7.17  |
| 238 | 9.88  | 11.22 | 175 |       |       | 281 | 9.47  | 8.93  | 218 | 10.20 | 9.73  |
| 246 | 9.06  | 10.18 | 183 | 11.10 | 11.32 | 308 | 8.37  | 7.43  | 245 | 8.13  | 8.70  |
|     |       |       |     |       |       | 335 | 9.87  | 8.90  | 272 | 9.63  | 11.37 |
|     |       |       |     |       |       | 370 | 11.53 | 10.60 | 307 | 10.93 | 11.87 |

ตารางที่ 62: ค่า fiber ของอ้อยตอปีหนึ่ง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539

| D 1 |       |       | D 2 |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| DAE | U     | K     | DAE | U     | K     |
| 246 | 8.40  | 8.80  | 246 | 8.13  | 7.83  |
| 281 | 9.47  | 9.40  | 281 | 8.83  | 9.93  |
| 309 | 8.87  | 8.40  | 309 | 9.93  | 9.23  |
| 336 | 11.77 | 12.13 | 336 | 11.20 | 12.47 |

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการ  
และการเจริญเติบโตของอ้อย

---

## พัฒนาการของอ้อย

บุญมี ศิริ ทินกร กลมสอาด อ้อยทิน จันทรเมือง  
สรรเสริญ เสี่ยงใส อิศรี เก่งนอก  
ผาสุข ล้อมรุ่งเรืองรัตน์ นิพนธ์ เอี่ยมสุภาภิต  
ปรีชา พราหมณีย์ อรรถชัย จินตะเวช  
ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์  
และ เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง

**การวิจัยทางเกษตรในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับพืชส่วนใหญ่ให้ความสนใจศึกษากระบวนการเจริญเติบโต (growth) เช่น การเพิ่มน้ำหนักแห้ง มากกว่ากระบวนการพัฒนาการของพืช (phenology) เนื่องจากลักษณะดังกล่าวสังเกตได้ชัดเจนและเปลี่ยนแปลงตามอายุของพืช แต่การเปลี่ยนแปลงกระบวนการพัฒนาการของพืชนั้นเป็นสิ่งที่ยากและมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาที่แสดงออก (morphological appearance) ของพืช และมีผลต่อการกระจายการเจริญเติบโตไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช การสร้างใบที่มากกว่าเดิม การสะสมแป้ง น้ำตาล การออกดอก การติดเมล็ด เป็นต้น ดังนั้นการจัดการทรัพยากรที่จำเป็นต่อการผลิตพืชจึงจำเป็นต้องแยกและสร้างความเข้าใจพื้นฐานของทั้งสองกระบวนการออกจากกัน เพื่อให้ทราบว่าการพัฒนาการของพืชเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาพแวดล้อมในบริเวณที่ปลูกพืชนั้น ๆ อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ช่วงความยาวของวัน และความชื้นของดินและอากาศ และปริมาณธาตุอาหารเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาพัฒนาการของอ้อยและอิทธิพลของการจัดการที่มีต่อผลผลิตอ้อยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศแต่สำหรับพืชอื่นมีการศึกษาพัฒนาการกันแล้วหลายพืช เช่น ถั่วเหลือง (Fehr et al., 1971) ถั่วลิสง (Boote, 1982) และข้าว (Singh, 1985; Jintrawet, 1991) และในข้าวสาลี O'Toole และ Stockle (1991) พบว่าการพัฒนาการของข้าวสาลีสามารถแบ่งเป็นสามช่วงคือ ช่วงของการงอก ช่วงของการออกดอก และช่วงของการสุกแก่ ซึ่งแต่ละช่วงของการพัฒนาการดังกล่าว ข้าวสาลีมีกระบวนการทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกันและตอบสนองต่อการสะสมของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เป็นต้น**

การกำหนดพัฒนาการของพืชที่มาตรฐานเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่ายเป็นเรื่องที่จำเป็นมาก เนื่องจากผลผลิตของอ้อยทั้งในด้านน้ำหนัก และน้ำตาลได้รับอิทธิพลจากการจัดการในช่วงเวลาต่างกันย่อมมีความแตกต่างกัน เช่นคำแนะนำในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอ้อยเมื่ออายุได้สองและสี่เดือน เป็นคำแนะนำที่มีประสิทธิภาพระดับหนึ่ง แต่ประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย และได้น้ำหนักแห้งจะสูงขึ้น หากคำแนะนำสามารถกำหนดเฉพาะเจาะจงได้ว่า ให้ใส่ปุ๋ยเมื่อลำหลักของอ้อยพันธุ์นี้มีพัฒนาการถึงใบที่ 14 หรือมีหน่อสามหน่อ เป็นต้น

การศึกษานี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาพัฒนาการของอ้อยสี่พันธุ์ ซึ่งองค์ความรู้ของพัฒนาการของอ้อยในตำแหน่งใบที่ต่างกัน การเพิ่มพื้นที่ใบกับการสะสมน้ำหนักแห้ง หรือผลผลิตของน้ำตาล และนำความเข้าใจนี้ไปกำหนดพัฒนาการของอ้อยเพื่อใช้ในแบบจำลองพืช

## อุปกรณ์และวิธีการ

ใช้อ้อยสี่พันธุ์ได้แก่ CP 78-1628, K 88-92, K84-200, และ U-Thong 2 ซึ่งมีความแตกต่างกันด้านขนาดของใบ พันธุ์ CP 78-1628 มีความกว้างของใบน้อยกว่า 4 ซม. พันธุ์ K 88-92 มีความกว้างของใบอยู่ระหว่าง 4-6 ซม. พันธุ์ K 84-200 และ พันธุ์ U-Thong 2 มีความกว้างของใบมากกว่า 6 ซม. ดำเนินการทดลองสามสถานีคือ แปลงทดลองสถานีวิจัยและฝึกอบรมเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (CMU) แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (KKU) และแปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี (SP) ทุกสถานีเพาะกล้าอ้อยทั้งสี่พันธุ์แล้วย้ายปลูกในถังซีเมนต์ขนาดเส้น-

ผ่านศูนย์กลางหนึ่งเมตรเพื่อความสะดวกในการจัดการน้ำ ปุ๋ย และการป้องกันกำจัดศัตรูอ้อย กำหนดการปลูกและการย้ายกล้าปลูกมีแสดงในตารางข้างล่างนี้

| สถานีทดลอง     | วันเพาะกล้า  | วันย้ายปลูก  |
|----------------|--------------|--------------|
| ม.ขอนแก่น      | 6 ต.ค. 2538  | 20 ต.ค. 2538 |
| ม.เชียงใหม่    | 19 ต.ค. 2538 | 21 ต.ค. 2538 |
| ศวร.สุพรรณบุรี | 19 ต.ค. 2538 | 8 พ.ย. 2538  |

ทำการบันทึกข้อมูลอากาศราย 10 นาที และรวมเป็นรายวัน โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลกึ่งอัตโนมัติ UNIDATA ที่ได้มีการติดตั้งในพื้นที่ทำการทดลองแล้ว ทำการบันทึกข้อมูลรายต้นดังต่อไปนี้

- 1) วันที่ใบแต่ละใบแผ่เต็มที่
- 2) ความกว้างของใบและความยาวของใบเมื่อวันที่ใบนั้น ๆ แผ่เต็มที่
- 3) จำนวนหน่ออ้อยในแต่ละวันที่ใบใหม่แผ่เต็มที่
- 4) คำนวณพื้นที่ใบของแต่ละใบ และทำการวัดพื้นที่ใบโดยใช้ leaf area meter

## ผลการศึกษา

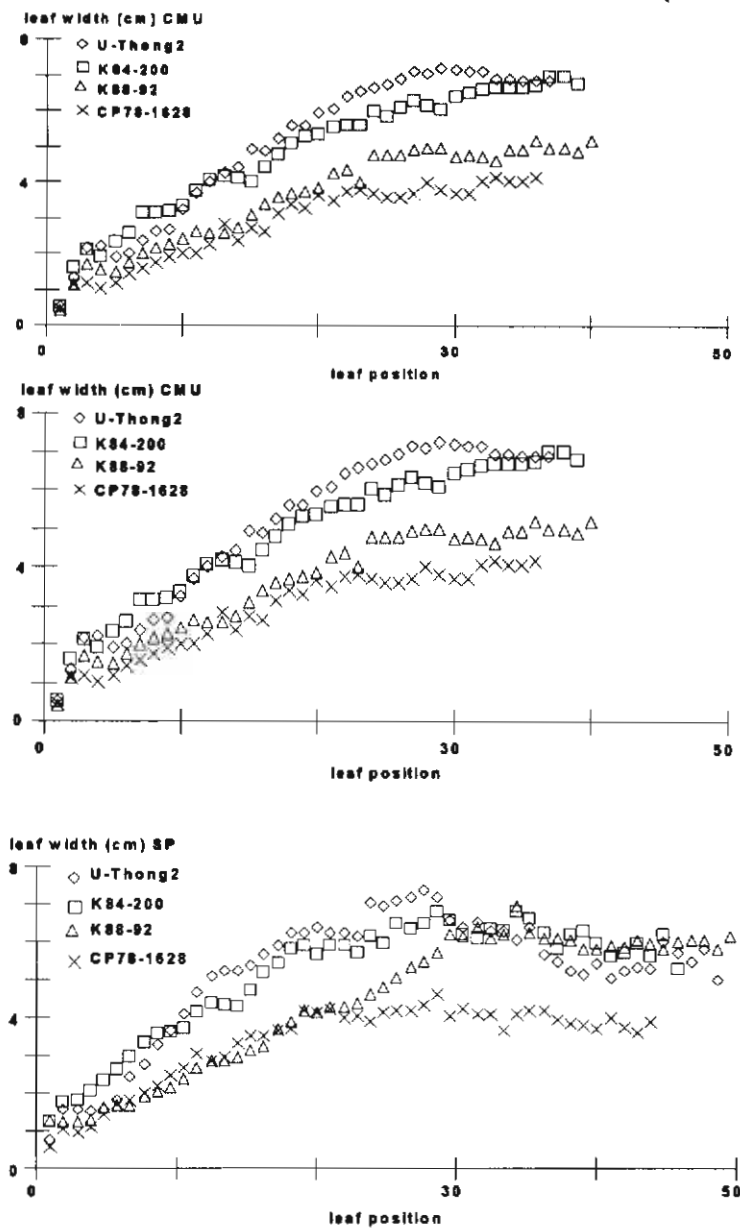
### ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบกับความกว้างของใบอ้อย

อ้อยมีขนาดของใบกว้างขึ้นตามตำแหน่งของใบบนลำหลัก (รูปที่ 14) และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันทั้งสามสถานี ใบอ้อยที่ 1-2 มีความกว้างของใบอยู่ระหว่าง 1.0-1.5 เซนติเมตร ความกว้างของใบเพิ่มมากขึ้นเป็น 2.0 เซนติเมตรในใบที่ 3 และหลังจากระยะใบที่ 3 แผ่ขยายเต็มที่แล้ว ความกว้างของใบเพิ่มขึ้นค่อนข้างชัดเจน และสามารถแยกออกตามพันธุ์อ้อยได้ ความกว้างของใบยังคงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ตามตำแหน่งของใบอ้อย จนกระทั่งถึงตำแหน่งใบที่ 30-32 บนลำต้นหลัก ความกว้างของใบเฉลี่ยจากสามสถานีเรียงตามลำดับได้ดังนี้ พันธุ์ U-Thong 2, K 84-200, K 8892, และ CP 78-1628 มีความกว้างของใบเฉลี่ยเป็น 7.17; 6.56; 5.23; และ 4.11 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ 63) โดยความกว้างมากที่สุดของใบมีความแตกต่างกันในทางสถิติ

### ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบกับความยาวของใบอ้อย

ความยาวของใบอ้อยทั้งสี่พันธุ์ที่ใช้ทดสอบเพิ่มมากขึ้นตามตำแหน่งของใบเช่นเดียวกับความกว้างของใบอ้อย และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันทั้งสามสถานี การเพิ่มความยาวของใบเพิ่มขึ้นมากตั้งแต่ใบที่ 1-3 ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ามีความชันของเส้นกราฟมากกว่าช่วงอื่น ๆ (รูปที่ 14) หลังจากใบที่ 3 แผ่ขยายเต็มที่แล้วอัตราการเพิ่มความยาวของใบเริ่มลดลง ความยาวของใบอ้อยทั้ง 4 พันธุ์มีมากขึ้นจนกระทั่งอ้อยมีใบที่ 30 แผ่ขยายเต็มที่

รูปที่ 14: ความกว้างของใบ (leaf width) เป็นเส้นดินเมตร ของข้อย 4 พันธุ์จากสามสถาน



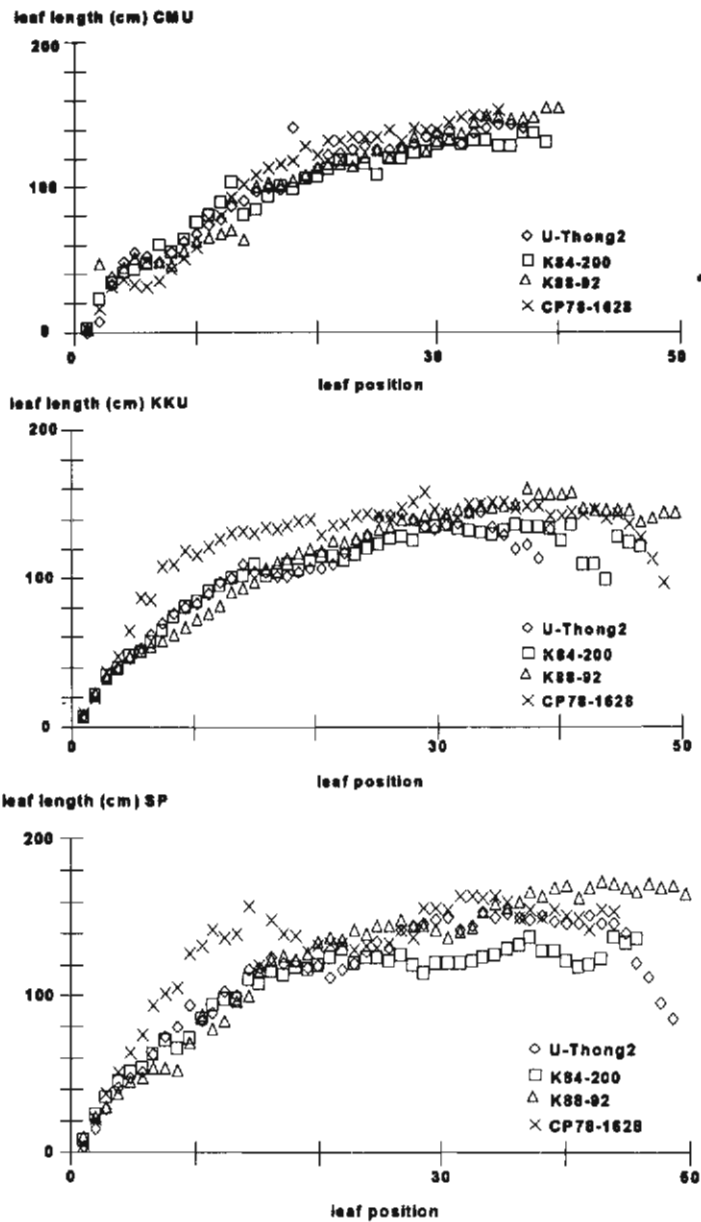
ตารางที่ 63: ความกว้างของใบข้อยสี่พันธุ์เมื่อมีพัฒนาการถึงใบที่ 30 แผ่ขยายเต็มที่

| สถานที่ทดลอง | ความกว้างของใบที่ 30 |          |         |            |
|--------------|----------------------|----------|---------|------------|
|              | U-Thong 2            | K 84-200 | K 88-92 | CP 78-1628 |
| CMU          | 7.20                 | 6.40     | 4.72    | 3.67       |
| KKU          | 7.10                 | 6.47     | 5.28    | 4.05       |
| SP           | 7.20                 | 6.80     | 5.70    | 4.60       |
| Mean         | 7.17a                | 6.56b    | 5.23c   | 4.11d      |

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความยาวเฉลี่ยของใบที่ 30 เรียงตามลำดับได้ดังนี้ พันธุ์ CP 78-1628, U-Thong 2, K 88-92, K 84-200 มีความยาวใบเฉลี่ยเป็น 148.7; 140.5; 138.5; และ 123.2 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ 64)

รูปที่ 15: ความยาวของใบ (leaf width) เป็นเซนติเมตร ของอ้อยสี่พันธุ์จากสามสถานี



ตารางที่ 64: ความยาวของใบย่อยสี่พันธุ์เมื่อมีพัฒนาการถึงใบที่ 30 แผ่ขยายเต็มที่

| สถานที่ทดลอง | ความยาวใบที่ 30 (เซ็นติเมตร) |          |         |            |
|--------------|------------------------------|----------|---------|------------|
|              | U-Thong 2                    | K 84-200 | K 88-92 | CP 78-1628 |
| CMU          | 138.9                        | 129.4    | 131.6   | 139.4      |
| KKU          | 138.1                        | 126.3    | 139.4   | 161.2      |
| SP           | 148.6                        | 116.0    | 144.7   | 166.6      |
| Mean         | 140.5b                       | 123.2d   | 138.5c  | 148.7a     |

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบกับพื้นที่ใบย่อย

พื้นที่ใบย่อยเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีพัฒนาการเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มของพื้นที่ใบมีมากหลังจากระยะที่อ้อยมีใบที่ 3 (รูปที่ 16) เช่นเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของความกว้าง และความยาวของใบ พื้นที่ใบย่อยทุกพันธุ์มีขนาดสูงสุดเมื่ออ้อยมีพัฒนาการถึงระยะใบที่ 30 แผ่ขยายเต็มที่ อ้อยแต่ละพันธุ์มีขนาดของพื้นที่ใบขนาดลดหลั่นดังต่อไปนี้ พันธุ์ U-Thong 2; K84-200; CP 78-1628; และ K 88-92 มีพื้นที่ใบเป็น 744; 597; 506; และ 502 ตารางเซ็นติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าขนาดของพื้นที่ใบของอ้อยขึ้นอยู่กับความกว้างของใบมากกว่าความยาวของใบอ้อย (ตารางที่ 65)

ตารางที่ 65: พื้นที่ใบของอ้อยสี่พันธุ์ (ตารางเซ็นติเมตร) เมื่อมีพัฒนาการถึงใบที่ 30 แผ่ขยายเต็มที่ จากสามสถานที่ทดลอง

| สถานที่ทดลอง | พื้นที่ใบอ้อยที่ 30 |         |        |           |
|--------------|---------------------|---------|--------|-----------|
|              | U-Thong 2           | K84-200 | K88-92 | CP78-1628 |
| CMU          | 676.6               | 687.6   | 459.7  | 382.7     |
| KKU          | 644.4               | 684.3   | 632.9  | 694.3     |
| SP           | 911.0               | 609     | 612.0  | 640.0     |
| Mean         | 744.0a              | 696.9b  | 601.5c | 606.7c    |

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

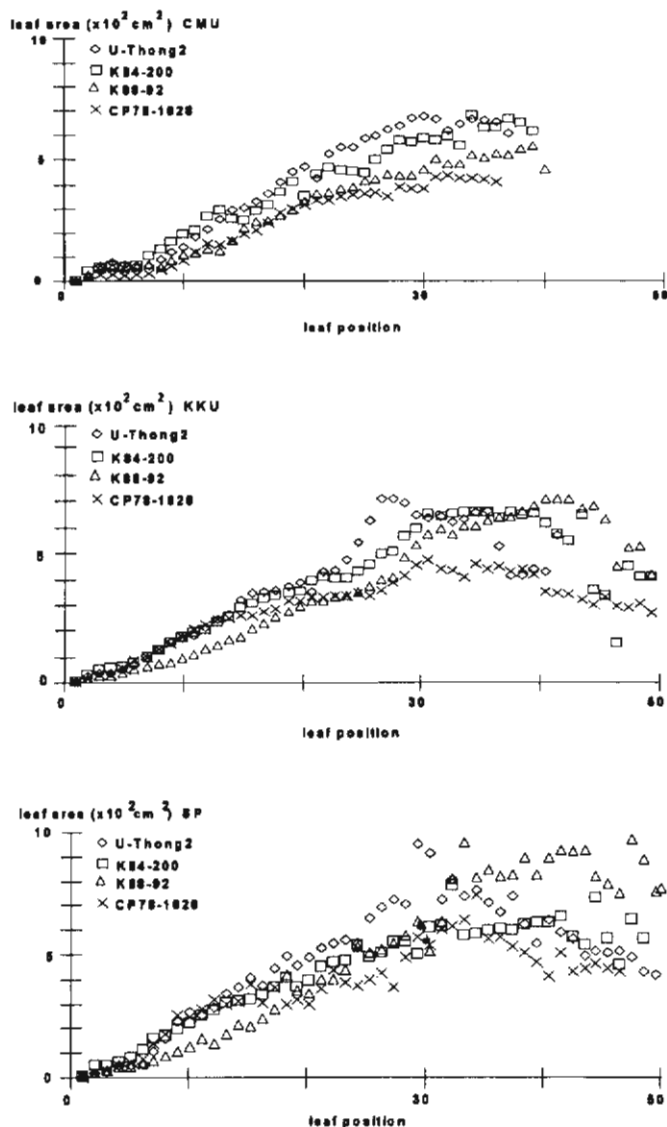
### ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสะสมกับพัฒนาการของใบ

จากข้อมูลภูมิอากาศโดยใช้อุณหภูมิสูงต่ำรายวันนำมาคำนวณเป็นค่าดัชนีพัฒนาการของใบโดยใช้ ค่าอุณหภูมิสะสม (GDD) พบว่าตลอดช่วงพัฒนาการของใบอ้อยทั้งสี่พันธุ์ มีรูปแบบเป็นเส้นโค้ง และมีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.99 (รูปที่ 17)

การปรากฏใบของอ้อยค่อนข้างช้าในช่วงใบที่ 1-3 ซึ่งจะต้องใช้ค่าอุณหภูมิสะสมมาก การปรากฏของใบเร็วขึ้นหลังจากใบที่ 3 จนถึงใบที่ประมาณ 10-12 ความเร็วการปรากฏขึ้นของใบเริ่มลดลง ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าจุดที่เส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบและอุณหภูมิสะสมของพัฒนาการใบในอ้อยทุกพันธุ์ และทุกสถานที่ทดลองมีการเปลี่ยนแปลงการปรากฏใบอย่างเด่นชัดที่อุณหภูมิสะสมเฉลี่ย 1,700-1,873 °Cd ขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อย (ตารางที่ 66) ซึ่งใกล้เคียงกับการสะสมอุณหภูมิที่ทำให้อ้อยมีใบที่ 14

รูปที่ 16

พื้นที่ใบ (leaf area) เป็นตารางเซนติเมตร ของอ้อยสี่พันธุ์จากสามสถานี

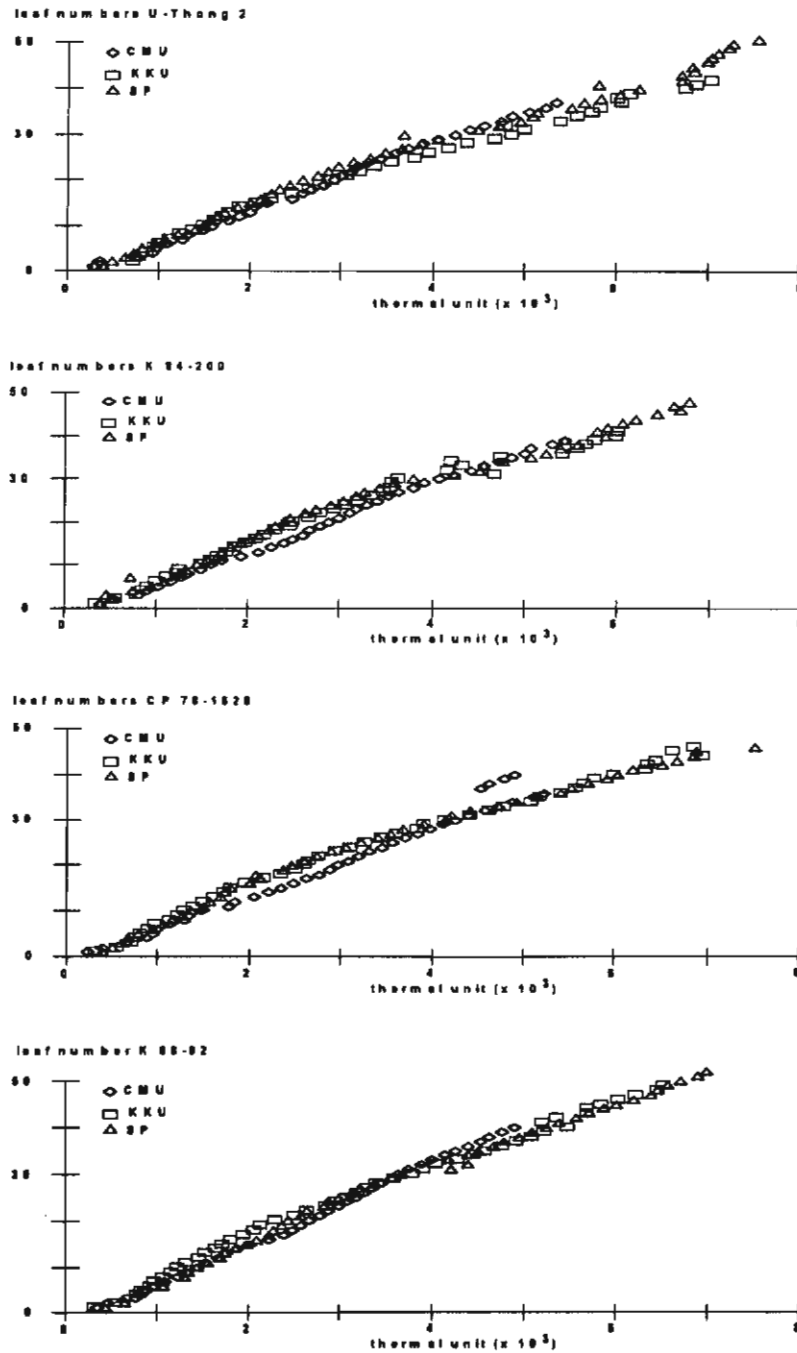


แผ่ขยายเต็มที่ (เฉลี่ย 90 วันหลังปลูก) จุดดังกล่าวนี้เรียกว่า turning point ซึ่งตรงกับระยะที่อ้อยมีใบเฉลี่ย 13-15 ใบ

เมื่อพิจารณาถึงความลาดชัน (ค่า b) ของสมการตลอดอายุของอ้อยทุกพันธุ์ที่ปลูกทั้งสามสถานี ทดลองพบว่าพัฒนาการของใบมีความแตกต่างกันเมื่อคำนวณการสะสมอุณหภูมิรายวันโดยอ้อยพันธุ์ K88-92 ใช้อุณหภูมิสะสมเพื่อพัฒนาการของใบหนึ่งใบน้อยที่สุดเท่ากับ  $93.5^\circ\text{C}$  รองลงมาคือพันธุ์ K 84-200 ใช้ อุณหภูมิ  $96^\circ\text{C}$  ต่อใบ ส่วนพันธุ์ U-Thong 2 ใช้อุณหภูมิสะสมมากที่สุด ( $102.9^\circ\text{C}$ ) ในการพัฒนาใบหนึ่งใบ รองลงมาคือพันธุ์ CP78-1628 ใช้อุณหภูมิสะสม  $100.0^\circ\text{C}$  ต่อการพัฒนาใบหนึ่งใบ (ตารางที่ 67)

รูปที่ 17

ใบ (leaf interval) เป็นอุณหภูมิพืชของอ้อยสี่พันธุ์จากสามสถานี



ตารางที่ 66: อุณหภูมิสะสม (GDD) ของอ้อยทั้งสี่พันธุ์ จนอ้อยมีพัฒนาการของใบที่ 14

| สถานที่ทดลอง | พันธุ์อ้อย |         |         |           |
|--------------|------------|---------|---------|-----------|
|              | U-Thong 2  | K200    | K8892   | CP78-1628 |
| CMU          | 2036.0     | 2244.0  | 1871.0  | 2206.0    |
| KKU          | 1886.0     | 1861.0  | 1651.0  | 1726.0    |
| SP           | 1666.0     | 1626.0  | 1580.0  | 1626.0    |
| SP           | 1829.0b    | 1873.3a | 1700.7c | 1819.0b   |

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 67: ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสะสม ( $^{\circ}\text{C}$ ) ต่อพัฒนาการของใบอ้อยหนึ่งใบทั้งสี่พันธุ์ จากสามสถานที่ทดลอง

| สถานที่ทดลอง | พันธุ์    |         |        |           |
|--------------|-----------|---------|--------|-----------|
|              | U-Thong 2 | K84-200 | K88-92 | CP78-1628 |
| CMU          | 118.9     | 122.4   | 121.4  | 162.2     |
| KKU          | 100.6     | 84.8    | 74.6   | 76.8      |
| SP           | 89.1      | 80.7    | 84.5   | 72.1      |
| Mean         | 102.9a    | 96.0b   | 93.6c  | 100.0a    |

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบกับจำนวนหน่อของอ้อย

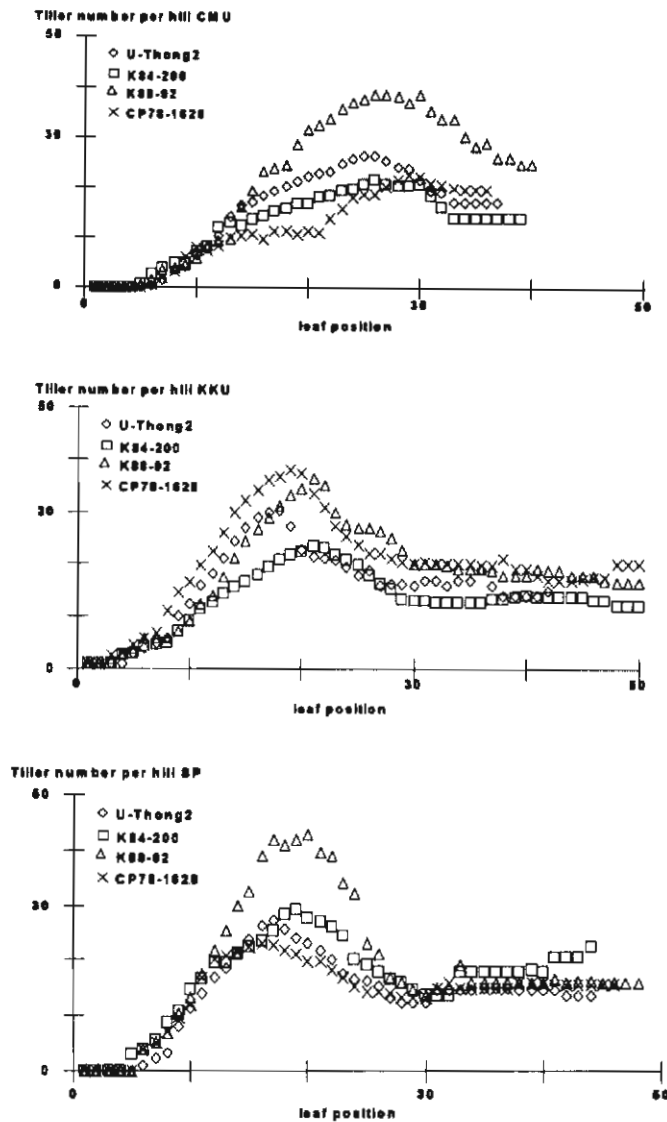
อ้อยทุกพันธุ์เริ่มมีการแตกหน่อเมื่อมีพัฒนาการทางใบบนลำหลักได้ 4-5 ใบ จุดที่อ้อยมีจำนวนหน่อสูงสุดแตกต่างกันระหว่างสถานที่ พบว่าจำนวนหน่อสูงสุดที่สถานีสุพรรณบุรี ม.ขอนแก่น และ ม.เชียงใหม่ เมื่ออ้อยมีพัฒนาการทางใบบนลำหลักถึงใบที่ 18, 20 และ 25 ตามลำดับ (รูปที่ 18) หลังจากนั้นอ้อยทุกพันธุ์เข้าสู่ระยะการสลดหน่อทิ้ง และเข้าสู่ระยะหน่อคงที่เมื่อมีพัฒนาการทางใบบนลำหลักเกินใบที่ 30 จำนวนหน่อที่พัฒนาเป็นลำอ้อยถึงระยะเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 20.3; 20.0; 17.6; และ 15.3 หน่อต่อกอ สำหรับพันธุ์ K84-200, K88-92, CP78-1628, และ U-Thong 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 68)

### สรุป

ความกว้างของใบมีความสัมพันธ์และเป็นตัวกำหนดพื้นที่ใบของอ้อยมากกว่าความยาวของใบ นอกจากพันธุ์ CP78-1628 ซึ่งมีความยาวของใบมากกว่าพันธุ์อื่นจึงมีพื้นที่ใบที่ 30 ใกล้เคียงกับพันธุ์ K88-92 พบว่าอ้อยเริ่มมีหน่อเมื่อมีพัฒนาการทางใบบนลำหลักถึงใบที่ 4-5 จำนวนหน่อต่อกอถึงจุดสูงสุดเมื่ออ้อยมีพัฒนาการทางใบถึงใบที่ 18-25 และมีจำนวนหน่อคงที่เมื่อมีพัฒนาการทางใบเกินใบที่ 30 เมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยทั้งสี่พันธุ์มีจำนวนอ้อยต่อกอเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15-20 ลำอ้อยต่อกอ

การศึกษาพัฒนาของอ้อยปลูกทั้งสามสถานที่ชี้ให้เห็นว่ามีโอกาสในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์พัฒนาการ (genotype coefficient) ของอ้อยได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาพัฒนาการของอ้อยต่อเพิ่มเติมเพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งอาจมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าสัมประสิทธิ์ของอ้อยปลูก

รูปที่ 18: จำนวนหน่อตอกอ้อย



ตารางที่ 68: ค่าเฉลี่ยจำนวนลำตอกอ้อยเมื่อทำการเก็บเกี่ยวอ้อยสี่พันธุ์ จากสามสถานีทดลอง

| สถานีทดลอง | พันธุ์อ้อย |         |        |           |
|------------|------------|---------|--------|-----------|
|            | U-Thong 2  | K84-200 | K88-92 | CP78-1628 |
| CMU        | 17.0       | 14.0    | 29.0   | 20.0      |
| KKU        | 14.0       | 11.0    | 16.0   | 17.0      |
| SP         | 16.0       | 18.0    | 16.0   | 16.0      |
| Mean       | 15.3c      | 20.3a   | 20.0a  | 17.6b     |

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมและ  
กระบวนการพัฒนาการของอ้อย

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ปริญญาโทสาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อ้อยทิน จันทรเมือง

**งานวิจัยทางเกษตรเน้นการศึกษาเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชโดยศึกษาให้มีความเข้าใจกระบวนการเจริญเติบโตของพืช (growth process) มากกว่าศึกษาให้มีความเข้าใจกระบวนการพัฒนาการของพืช (development หรือ phenology process) โดยเฉพาะพืชเกษตรที่ใช้เวลาในแปลงปลูกยาวนาน เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ไม้ผล เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มีการศึกษากระบวนการพัฒนาการของพืชและได้กำหนดผังพัฒนาการของพืชเกษตรอายุสั้นมาหลายพืช เช่น ถั่วเหลือง (Fehr et al, 1971) ถั่วลิสง (Boote, 1985) ข้าวโพด (Hanway, 1963) ข้าวฟ่าง (Vanderlip and Reeves, 1972) ในอ้อย มีการศึกษากระบวนการพัฒนาการของอ้อยและมีการกำหนดผังพัฒนาการของอ้อยในประเทศไทยแล้วโดย ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี (2537) และได้แบ่งพัฒนาการของอ้อยออกเป็นสี่ระยะด้วยกัน แต่เป็นการแบ่งเพื่อประโยชน์ในการสื่อสารระหว่างกลุ่มนักวิชาการเกษตรและผู้สนใจ ยังไม่มีการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกระบวนการและนำความเข้าใจที่ได้ประกอบการคาดการณ์ระยะพัฒนาการของอ้อยที่มีการปลูกอยู่ในประเทศไทย**

เหตุผลหลักของการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกระบวนการพัฒนาการของอ้อย เนื่องจากในทางทฤษฎีนั้น ผลผลิตพืชเป็นผลลัพธ์ของผลคูณของอัตราการเจริญเติบโตและระยะเวลาที่พืชมีโอกาสนอยู่ในแปลงปลูก (Ritchie and NeSmith, 1991) อัตราการเจริญเติบโตมีหน่วยวัดเป็น กิโลกรัมมวลชีวภาพ ตม<sup>-1</sup> วัน<sup>-1</sup> เป็นน้ำหนักที่พืชสามารถสะสมได้ซึ่งเป็นผลต่างที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและใช้บางส่วนในกระบวนการหายใจ ในทางปฏิบัติถ้าทราบพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศเราสามารถคาดการณ์อัตราการเจริญเติบโตของพืชได้ไม่ยุ่งยากนัก ระยะเวลาที่พืชมีโอกาสนอยู่ในแปลงปลูกมีหน่วยวัดเป็น วัน เมื่อวิเคราะห์หน่วยที่ได้จากอัตราการเจริญเติบโตและระยะเวลาจะได้หน่วยเป็น กิโลกรัมมวลชีวภาพ ตม<sup>-1</sup> หรือต่อไร่ ดังนั้นการคาดการณ์ระยะเวลาที่พืชมีโอกาสนอยู่ในแปลงปลูกเป็นเรื่องที่ต้องการการศึกษามากขึ้น เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของสูตรการคาดการณ์ผลผลิตพืชส่วนหนึ่งที่หายไปจากสมการข้างต้น ซึ่งระยะเวลาที่พืชมีโอกาสนอยู่ในแปลงขึ้นอยู่กับสองปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิและความยาววันที่แตกต่างกันในแต่ละวันปลูกและแหล่งปลูกพืช

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมทางเกษตรและพัฒนาการของอ้อยสี่พันธุ์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสรีระตามระบบการแบ่งของกรมวิชาการเกษตร และเพื่อพัฒนาผังพัฒนาการของอ้อยในภาคเหนือของประเทศไทย

## อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ทำการทดลองที่สถานีวิจัยเกษตรชลประทาน ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบ split plot ให้พันธุ์อ้อยสี่พันธุ์เป็น main plot พันธุ์อ้อย คือ CP 78-1628; K 84-200; K 88-92; และ U-Thong 2 ให้วันปลูกสองวันเป็น sub-plot คือ วันปลูกที่หนึ่ง วันที่ 19 ตุลาคม 2538 และวันปลูกที่สอง วันที่ 1 พฤษภาคม 2539 ทำการทดลองทั้งหมดสี่ซ้ำ พันธุ์อ้อยทั้งสี่พันธุ์มีความแตกต่างที่ขนาดความกว้างของใบ (ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2537) พันธุ์ CP 78-1628 มีความกว้างของใบน้อยกว่า 4 ซม. พันธุ์ K 88-92

มีความกว้างของใบอยู่ระหว่าง 4-6 ซม. และพันธุ์ K 84-200 และ พันธุ์ U-Thong 2 มีความกว้างของใบมากกว่า 6 ซม.

ทำการเพาะท่อนอ้อยที่มีตาลงในถุงพลาสติกหนึ่งท่อนต่อถุง เพื่อประกันความงอก และย้ายปลูกเมื่ออ้อยมีพัฒนาการถึงประมาณใบที่ 2-3 ลงในท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 ซม และความสูง 40 ซม โดยท่อถูกฝังลงดินในแปลงทดลองมีขอบโผล่พื้นผิวดิน 10 ซม. ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 100 กก. ไร่<sup>-1</sup> จำนวน 3 ครั้ง คือ ใส่พร้อมปลูก ใส่เมื่ออ้อยอายุได้สองและสามเดือนหลังจากงอก ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูอ้อยตามความเหมาะสม บันทึกสภาพอากาศเกษตรรายวันโดยเครื่องบันทึกสภาพอากาศเกษตรกึ่งอัตโนมัติของ UNIDATA Starlog system ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลสภาพอากาศได้อย่างได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการบันทึกข้อมูลพืชเป็นรายต้นโดยบันทึก วันเพาะ วันงอก และวันย้ายปลูกของอ้อย วันที่แต่ละใบจริงแผ่เต็มที่โดยสังเกตจากการที่สามารถมองเห็น ligule ของใบอ้อยได้อย่างชัดเจน บันทึกความยาว ความกว้าง และพื้นที่ใบของอ้อยเมื่อวันที่ใบนั้น ๆ แผ่เต็มที่ ตั้งแต่ใบแรกจนถึงวันเก็บเกี่ยว และบันทึกจำนวนหน่อของอ้อยแต่ละต้นในวันที่ใบใหม่แผ่เต็มที่ ตั้งแต่ใบแรกจนถึงวันเก็บเกี่ยว

## ผลการวิจัย

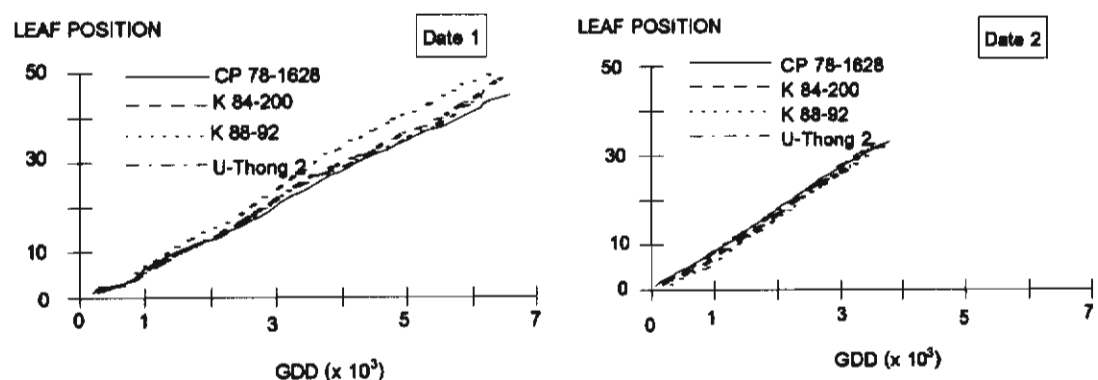
### ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบอ้อยและอุณหภูมิสะสม

ในวันปลูกที่หนึ่งอ้อยพันธุ์ CP 78-1628, K 88-92, K 84-200 และ U-Thong 2 มีจำนวนใบรวมทั้งหมด 45, 50, 49 และ 45 ใบ คิดเป็นอุณหภูมิสะสม 6,514; 6,571; 6,523 และ 6,161 ตามลำดับ เฉลี่ยจากทั้งสี่พันธุ์การสร้างใบอ้อยหนึ่งใบคิดเป็นอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 136 องศา และพบว่า อ้อยพันธุ์ CP 78-1628 มีความแตกต่างจากพันธุ์ K 88-92, K 84-200 และ U-Thong 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) พันธุ์ที่มีพัฒนาการทางใบเร็วที่สุดคือพันธุ์ K 88-92, K 84-200, U-Thong 2 และ CP 78-1628 ตามลำดับ เฉลี่ยแล้วอ้อยในวันปลูกที่หนึ่งมีอายุเท่ากับ 422 วัน ในวันปลูกที่สองอ้อยทั้งสี่พันธุ์มีใบรวมทั้งหมด 33, 30, 32 และ 34 ใบ คิดเป็นอุณหภูมิสะสม 3,784; 3,506; 3,820; และ 3,646 ตามลำดับ (รูปที่ 19) การสร้างใบอ้อยแต่ละใบคิดเป็นอุณหภูมิสะสม 115 °C พันธุ์ที่มีพัฒนาการทางใบเร็วที่สุด คือพันธุ์ U-Thong 2 เพราะเป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อช่วงแสงและอุณหภูมิมากที่สุดจึงทำให้มีการสร้างใบอย่างรวดเร็วในระยะปลายฤดู โดยอุณหภูมิสะสมที่ใช้การสร้างใบหนึ่งใบ เท่ากับ 106 °C และเฉลี่ยแล้วอ้อยในวันปลูกที่สองมีอายุเท่ากับ 224 วัน เมื่อพิจารณาการสร้างใบหนึ่งใบของอ้อยทั้งสี่พันธุ์เฉลี่ยทั้งสองวันปลูกคิดเป็นอุณหภูมิสะสม 126 °C หรือ มีอัตราการเกิดใบใหม่ 0.008 ใบต่อ °C หรือเฉลี่ยเป็น 0.013 ใบต่อวัน ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในการคาดการณ์การเกิดใบ (leaf interval) ในแบบจำลองอ้อย CANEGRO 3.0 (Inman-Bamber, 1991) และ ThaiCane 1.0 (อรรถชัย จินตะเวช และ ศักดิ์ดา ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา, 2540)

เมื่อเปรียบเทียบพัฒนาการของใบอ้อย ทั้งสี่พันธุ์ของสองวันปลูกพบว่าอ้อยทั้งสี่พันธุ์มีพัฒนาการของใบแตกต่างกัน โดยเฉพาะเมื่ออ้อยมีพัฒนาการทางใบมากกว่าใบที่ 10 ในพัฒนาการของใบตั้งแต่ใบที่ 1-10 อ้อย

พันธุ์ CP 78-1628, K 88-92, K 84-200 และ U-Thong 2 มีค่าอุณหภูมิสะสม ( $^{\circ}\text{C}$ ) ที่ใช้การสร้างใบหนึ่งใบในวันปลูกที่หนึ่งและวันปลูกที่สองไม่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ โดยเฉลี่ยทั้งสองวันปลูกเป็น 132, 142, 145, 141  $^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ แต่เมื่ออ้อยมีพัฒนาการทางใบมากกว่าใบที่ 11 พบว่าค่าอุณหภูมิสะสมในการสร้างใบหนึ่งใบในวันปลูกที่หนึ่งและวันปลูกที่สองของอ้อยแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยในวันปลูกที่หนึ่งจะมีค่าอุณหภูมิสะสมมากกว่าวันปลูกที่สอง ซึ่งแสดงว่าพัฒนาการทางใบของอ้อยในวันปลูกที่สองเร็วกว่าวันปลูกที่หนึ่ง ซึ่งอาจเป็นผลจากความแปรปรวนของพันธุ์ในพันธุ์อ้อยทั้งสี่ และเนื่องมาจากการตอบสนองต่ออุณหภูมิและช่วงแสงที่แตกต่างกันในสองวันปลูก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการเกิดใบข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ของ Cao and Moss (1898) ซึ่งค่าอุณหภูมิสะสมต่อหนึ่งใบ (phyllchron) นั้นจะมีค่าคงที่ในวันปลูกเดียวกันแต่จะแตกต่างกันในแต่ละวันปลูก และในการจำลองแบบจำลองของข้าวสาลีในแต่ละครั้งนั้นค่า phyllchron ที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ วันปลูกและแหล่งที่ปลูก เช่นเดียวกับในข้าวโพดนั้นอัตราการเกิดใบจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งก็จะลดลงเป็น quadratic function (Tollenaar et al., 1979; Warrington and Kanemasu, 1993)

รูปที่ 19: ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งใบและอุณหภูมิสะสมของอ้อยสี่พันธุ์ จากวันปลูกที่หนึ่ง คือ D1 = วันที่ 19 ตุลาคม 2538 และวันปลูกที่สอง คือ D2 = วันที่ 1 พฤษภาคม 2539 ณ แปลงทดลองศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



### ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบและความกว้าง/ความยาวใบ

ใบอ้อยทั้งสี่พันธุ์มีความกว้างและความยาวของใบเพิ่มขึ้นเมื่ออ้อยมีพัฒนาการของใบเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง (รูปที่ 20) จากนั้นความกว้างและความยาวใบจะลดลง เนื่องจากอ้อยถึงระยะการแทงช่อดอกและเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีระทำให้อ้อยนำสารสังเคราะห์ที่ได้ไปใช้กระบวนการทางด้านสืบพันธุ์มากกว่ากระบวนการทางด้านลำต้น และจะมีความกว้างและความยาวใบน้อยที่สุดเมื่อถึงใบธง ในวันปลูกที่หนึ่งและที่สองพบว่าอ้อยมีความกว้างใบสูงสุด

เมื่อมีพัฒนาการของใบถึงใบที่ 38 และ 26 ตามลำดับ และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันในขนาดความยาวใบ ซึ่งพัฒนาการทางความกว้างและความยาวใบของอ้อยทั้งสี่พันธุ์ในทั้งสองวันปลูกมีลักษณะเหมือนกัน

ความกว้างเฉลี่ยใบของอ้อยทั้งสี่พันธุ์มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ในทั้งสองวันปลูก และสามารถแบ่งกลุ่มพันธุ์อ้อยตามขนาดความกว้างใบได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกมีความกว้างใบเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือความกว้างใบสูงสุดเฉลี่ย 6.8 ซม. ได้แก่พันธุ์ U-Thong 2 และ K 84-200 โดยที่ค่าเฉลี่ยความกว้างของ U-Thong 2 มากกว่า K 84-200 กลุ่มที่สองมีความกว้างของใบสูงสุดเฉลี่ย 4.7 ซม. ได้แก่พันธุ์ K 88-92 และ CP 78-1628 โดยพันธุ์ K 88-92 มีค่าเฉลี่ยความกว้างสูงกว่า CP 78-1628 ซึ่งเป็นไปตามการจำแนกพันธุ์ของศูนย์วิจัยพืชไร่นานวนบุรี (2539) และพบว่าความกว้างของแต่ละใบในอ้อยพันธุ์หนึ่ง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันในวันปลูกที่หนึ่ง และวันปลูกที่สอง

ความยาวใบในทุกพันธุ์มีค่าเฉลี่ยความยาวสูงสุดใกล้เคียงกัน คือ 115, 94, 94, 86 ซม. ในพันธุ์ CP 78-1628, K 88-92 และ U-Thong 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของความยาวใบแต่ละใบของอ้อยทั้งสี่พันธุ์ในวันปลูกที่หนึ่งหรือวันปลูกที่สอง

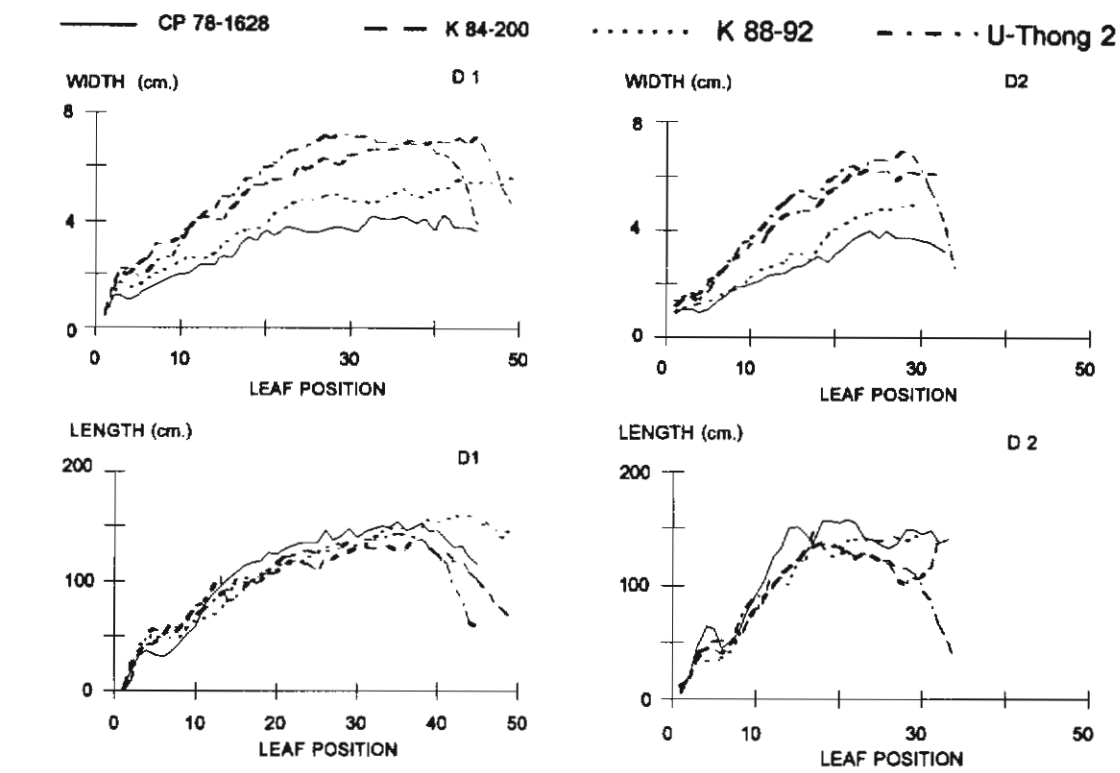
### ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบและพื้นที่ใบ

อ้อยทั้งสี่พันธุ์มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเมื่อมีพัฒนาการของใบถึงระยะหนึ่ง จากนั้นพื้นที่ใบจะมีขนาดลดลง เช่นเดียวกับความกว้างและความยาวใบในทั้งสองวันปลูก ในวันปลูกที่หนึ่งพื้นที่ใบสูงสุดของพันธุ์ CP 78-1628, K 88-92, K 84-200 และ U-Thong 2 เป็น 434, 623, 666 และ 677 ตร.ซม. เมื่ออ้อยมีพัฒนาการถึงใบที่ 32, 42, 37 และ 30 ตามลำดับ ซึ่งเป็นใบที่ใกล้เคียงกับเมื่ออ้อยมีพัฒนาการทางความกว้างและความยาวใบสูงสุด และพันธุ์ CP 78-1628 มีความแตกต่างทางสถิติกับสามพันธุ์ที่เหลือ ในวันปลูกที่สองพื้นที่ใบสูงสุดของพันธุ์ CP 78-1628, K 88-92, K 84-200 และ U-Thong 2 เป็น 404, 466, 536 และ 558 ตร.ซม. เมื่ออ้อยมีพัฒนาการถึงใบที่ 22, 29, 22 และ 21 ตามลำดับ และอ้อยจะมีพื้นที่ลดลงต่ำสุดเมื่อถึงใบชง และไม่มีความแตกต่างกันในวันปลูกที่หนึ่งและวันปลูกที่สอง พันธุ์ CP 78-1628 มีค่าพื้นที่ใบเฉลี่ยแตกต่างจากพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) และเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ใบในแต่ละพันธุ์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละใบของอ้อยในวันปลูกที่หนึ่งและวันปลูกที่สอง

### ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง/ความยาวใบและพื้นที่ใบ

จากข้อมูลของความกว้าง/ความยาวใบ และพื้นที่ใบที่ได้จากการวัด สามารถนำมาประเมินพื้นที่ใบจริงได้จากสูตรประเมินพื้นที่ใบของพืชตระกูลหญ้าและธัญพืช คือ พื้นที่ใบ เท่ากับผลคูณของ ค่า ณ จุดตัด (intercept) ของเส้นสมการถดถอย (regression line) บวกค่าของพื้นที่ใบที่ประเมินได้จากความกว้างและความ-

รูปที่ 20: เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งใบและความกว้างและความยาวใบของอ้อยสี่พันธุ์ วันปลูกที่หนึ่ง คือ D1 = วันที่ 19 ตุลาคม 2538 และวันปลูกที่สอง คือ D2 = วันที่ 1 พฤษภาคม 2539 ณ แปลงทดลองศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

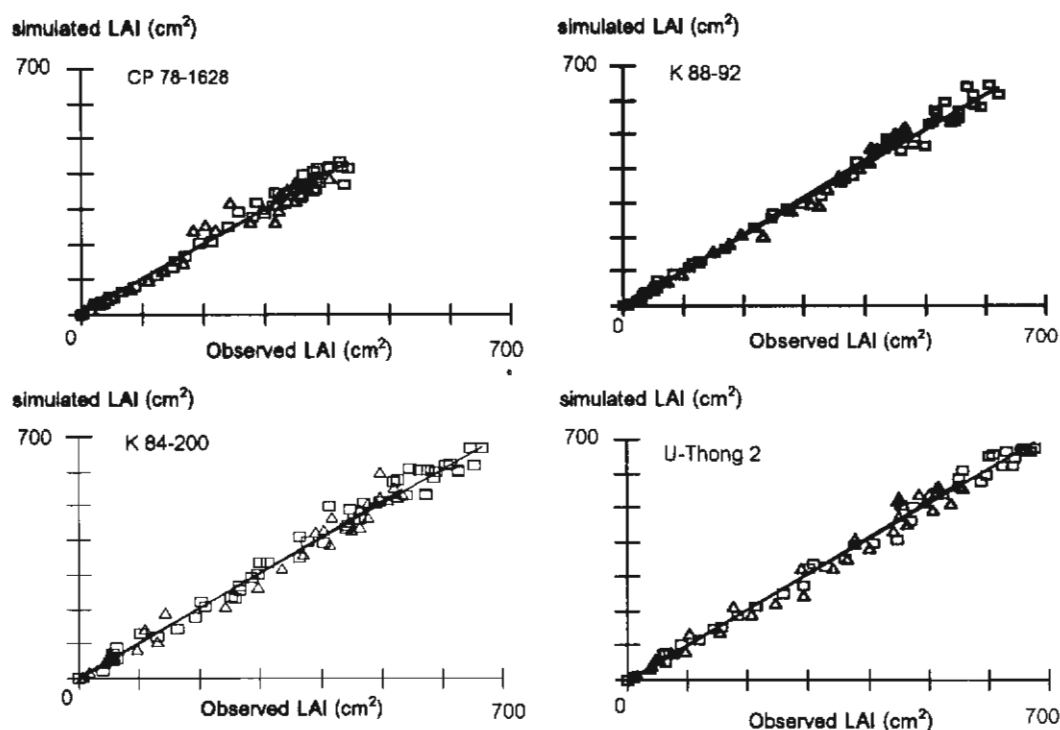


ยาวใบ (calculated LA) (Kemp, 1960) ซึ่งค่า intercept หาได้จากเส้น regression ของพื้นที่ใบที่วัดได้ (observed LA) และ calculated LA ของใบทุกใบตลอดระยะพัฒนาการ และค่า calculated LA หาได้จาก ค่าสัมประสิทธิ์ ( $K$ ) คูณด้วยผลคูณระหว่างความกว้างและความยาวใบ โดยค่า  $K$  ได้จากค่า observed LAหารด้วยผลคูณระหว่างความกว้างและความยาวใบ

$$\begin{aligned} \text{LA (cm}^2\text{)} &= \text{intercept} + \text{calculated LAI} \\ \text{calculated LA} &= K (\text{width} \times \text{length}) \\ K &= \text{observed LA} / (\text{width} \times \text{length}) \end{aligned}$$

จากเส้น regression (รูปที่ 21 และ ตารางที่ 69) ความชันของวันปลูกที่หนึ่งและวันปลูกที่สองในอ้อยแต่ละพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกัน และค่า intercept ที่ได้ในแต่ละพันธุ์ในทั้งสองวันปลูกทั้งค่าลบและค่าบวก พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากศูนย์ ( $P < 0.01$ ) ในทุก ๆ ค่า

รูปที่ 21: Regression ของอ้อยสี่พันธุ์ในวันปลูกที่หนึ่ง (๑) และวันปลูกที่สอง (๒)



ตารางที่ 69: สมการ regression ของ observed LAI และ simulate LAI ในวันปลูกที่หนึ่งและวันปลูกที่สองของอ้อยสี่พันธุ์

| สมการ regression | วันปลูกที่หนึ่ง                               | วันปลูกที่สอง                                  |
|------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| CP 78-1628       | $y = 0.993x + 2.577$<br>$r^2 = 0.98$ $n = 45$ | $y = 0.987x + 5.146$<br>$r^2 = 0.96$ $n = 33$  |
| K 88-92          | $y = 1.020x + 0.104$<br>$r^2 = 0.99$ $n = 50$ | $y = 1.088x - 10.395$<br>$r^2 = 0.99$ $n = 30$ |
| K84-200          | $y = 1.006x + 3.854$<br>$r^2 = 0.98$ $n = 49$ | $y = 1.022x - 0.472$<br>$r^2 = 0.98$ $n = 32$  |
| U-Thong 2        | $y = 1.019x - 0.724$<br>$r^2 = 0.99$ $n = 45$ | $y = 1.046x - 3.977$<br>$r^2 = 0.98$ $n = 34$  |

จากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้ค่า calculated LA ในการประเมินพื้นที่ได้ใบในอ้อยทุกพันธุ์ได้ โดยเท่ากับ ค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ใบ (K) คูณด้วยผลคูณระหว่างความกว้างและความยาวใบ ซึ่งค่า K ที่คำนวณได้ โดยเฉลี่ยในสองวันปลูก คือ 0.68, 0.73, 0.70 และ 0.68 ในพันธุ์ CP 78-1628, K 88-92, K 84-200 และ U-Thong 2 (ตารางที่ 70)

ตารางที่ 70: ค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ใบ (K) ในวันปลูกที่หนึ่งและวันปลูกที่สองของอ้อยสี่พันธุ์

| Planting dates | CP 78-1628 | K 88-92 | K 84-200 | U-Thong 2 |
|----------------|------------|---------|----------|-----------|
| Date 1         | 0.69       | 0.73    | 0.70     | 0.68      |
| Date 2         | 0.67       | 0.73    | 0.70     | 0.68      |

### ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบและจำนวนหน่อ

ในวันปลูกที่หนึ่ง พบว่าการแตกหน่อของอ้อยสี่พันธุ์ในช่วงพัฒนาการใบที่ 1-7 มีอัตราการแตกหน่อเฉลี่ย 0.39 หน่อต่อใบ อัตราการแตกหน่อเพิ่มขึ้นเมื่ออ้อยมีพัฒนาการระหว่างใบที่ 8-27 ซึ่งมีอัตราการแตกหน่อเฉลี่ย 1.28 หน่อต่อใบ อ้อยพันธุ์ K 88-92 มีอัตราการแตกหน่อในช่วงนี้สูงสุด และเฉลี่ยอ้อยทุกพันธุ์จะมีจำนวนหน่อสูงสุดเมื่อถึงใบที่ 27 คือ 23, 39, 22, และ 27 ในพันธุ์ CP 78-1628, K 88-92, K 84-200 และ U-Thong 2 ตามลำดับ จากนั้นจำนวนหน่อจะลดลงโดยมีอัตราการลดลงหน่อเป็น 0.99 หน่อต่อใบ จนกระทั่งประมาณใบที่ 32 จำนวนหน่อจะเริ่มคงที่ และพบว่า K 88-92 มีจำนวนลำสูงสุดเมื่อสิ้นสุดพัฒนาการ คือ 26 ลำต่อกอ

ในวันปลูกที่สองมีรูปแบบพัฒนาการของหน่อที่คล้ายคลึงกับวันปลูกที่หนึ่ง แต่ระยะพัฒนาการสั้นกว่าวันปลูกที่หนึ่ง ระหว่างพัฒนาการใบที่ 1-6 มีอัตราการแตกหน่อเป็น 0.30 หน่อต่อใบ และมีอัตราการแตกหน่อเพิ่มขึ้นเป็น 0.67 หน่อต่อใบ ในระหว่างพัฒนาการของใบลำดับที่ 7-22 เฉลี่ยแล้วอ้อยทุกพันธุ์มีจำนวนหน่อสูงสุดเมื่อมีพัฒนาการประมาณใบที่ 22 คือ 15, 12, 13 และ 11 หน่อ ในพันธุ์ CP 78-1628, K 88-92, K 84-200 และ U-Thong 2 ตามลำดับ จากนั้นจำนวนหน่อจะลดลงในอัตรา 0.5 หน่อต่อใบ จนกระทั่งอ้อยมีพัฒนาการถึงใบที่ 28 จำนวนหน่อเริ่มคงที่ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแตกหน่อของอ้อยในวันปลูกที่หนึ่งและวันปลูกที่สองในแต่ละช่วงพัฒนาการของใบนั้น พบว่าอ้อยทุกพันธุ์ในวันปลูกที่สองมีอัตราการแตกหน่อช้ากว่าในวันปลูกที่หนึ่ง และเมื่อสิ้นสุดพัฒนาการมีจำนวนลำน้อยกว่าในวันปลูกที่หนึ่ง เนื่องจากอ้อยในวันปลูกที่หนึ่งมีอายุในการอยู่ในแปลงยาวนานกว่าวันปลูกที่สองทำให้มีระยะพัฒนาการที่สั้นกว่า

### ผังพัฒนาการของอ้อย

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะแวดล้อมและพัฒนาการของอ้อยทั้งสี่พันธุ์ได้นำไปสู่การสร้างผังพัฒนาการของอ้อย (รูปที่ 22) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการคาดการณ์ผลและความสัมพันธ์ของกระบวนการพัฒนาและกระบวนการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย ในวันปลูกที่หนึ่งพัฒนาการของอ้อยอย่างกว้าง ๆ จะเริ่มตั้งแต่ระยะงอก ระยะแตกกอ หลังจากนั้นจำนวนหน่อจะคงที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง และสุดท้ายคือระยะการสุกแก่ซึ่งจะเริ่มมีการสร้างช่อดอก พบว่าอ้อยทั้ง 4 พันธุ์มีลักษณะพัฒนาการที่คล้ายคลึงกัน แต่มีระยะพัฒนาการที่ต่างกันเนื่องจากอ้อยแต่ละพันธุ์นั้นมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิและช่วงแสงที่แตกต่างกัน ในวันปลูกที่หนึ่งพันธุ์ที่มีระยะพัฒนาการเร็วที่สุดหรือถึงระยะการสุกแก่เร็ว คือ U-Thong 2 และ K84-200 มีการสร้างช่อดอก (panicle

initiation) ในช่วงเดือนตุลาคม และพฤศจิกายน ตามลำดับ พันธุ์ CP78-1628 และ K88-92 มีความแปรปรวนในระยะนี้สูง คือ มีการสร้างช่อดอกในบางต้น และในต้นที่ไม่มีพัฒนาการด้านการสร้างช่อยังมีพัฒนาการสร้างใบช้ำหรือแทบจะไม่มีพัฒนาการเลย

ในวันปลูกที่สองพบว่ามีเพียงพันธุ์ U-Thong 2 เท่านั้นที่การสร้างช่อดอกแต่จะมีการสร้างช่อดอกช้ากว่าพันธุ์ U-Thong 2 ที่ปลูกในวันปลูกที่หนึ่งเป็นเวลา 1 เดือน ซึ่งอาจเป็นผลจากความแปรปรวนของพันธุ์ส่วนพันธุ์ CP 78-1628, K 88-92 และ K84-200 พบว่าไม่มีการสร้างช่อดอกเลย และมีพัฒนาการทางใบช้ำหรือแทบจะไม่มีการสร้างใบเลยเช่นเดียวกับในวันปลูกที่หนึ่ง

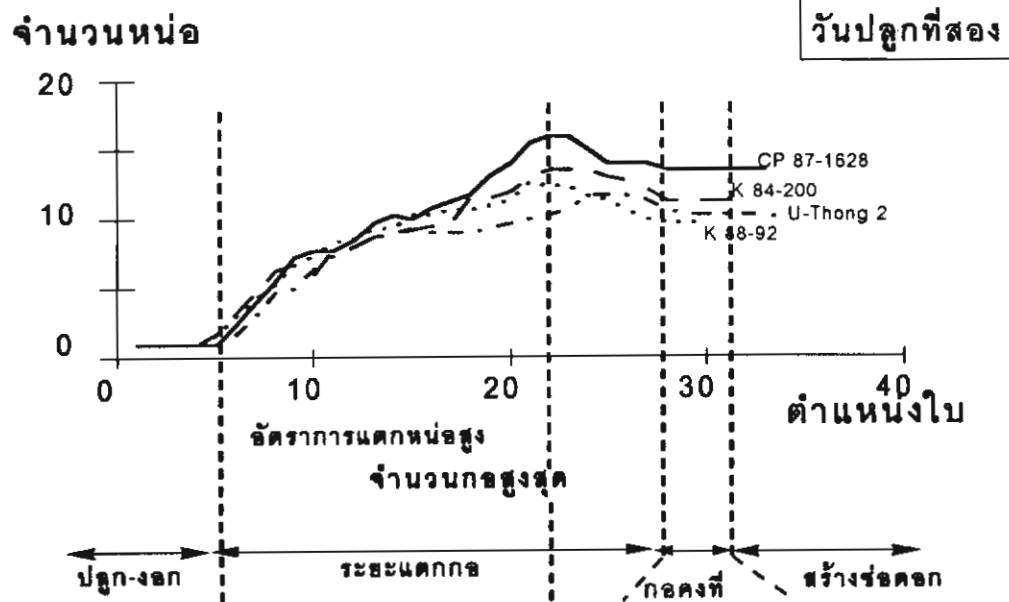
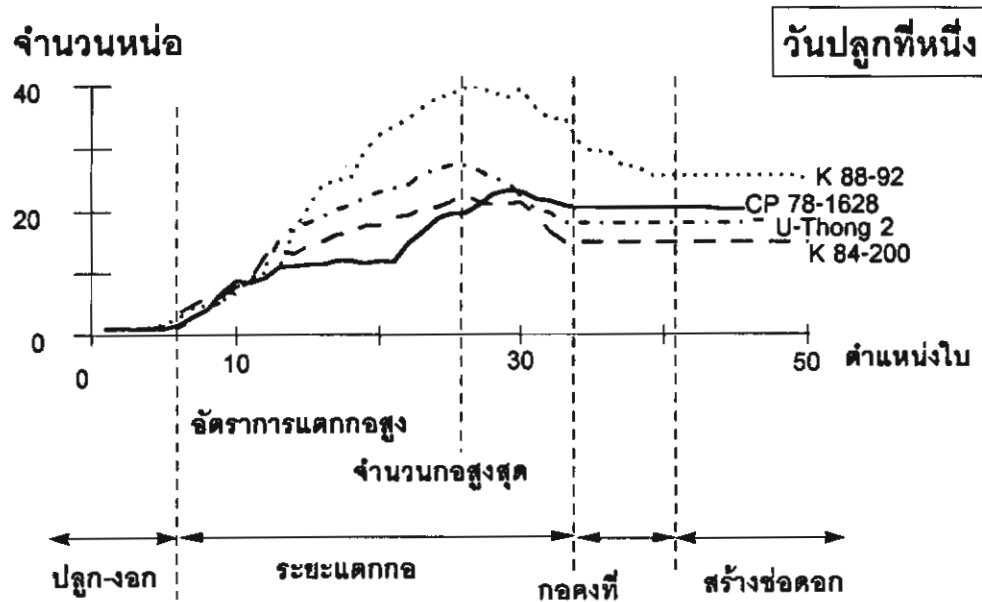
## สรุป

อ้อยทั้งสี่พันธุ์มีพัฒนาการทางใบค่อนข้างจะคงที่คิดเป็นอุณหภูมิสะสมเฉลี่ยได้ 126 องศา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ใช้ในแบบจำลองอ้อย CANEGRO 3.0 และ ThaiCane 1.0 แม้ว่าการศึกษาค้างนี้จะเป็นการศึกษาในสนามการควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อพัฒนาการของอ้อยกระทำได้ยาก แต่มีผลการศึกษาที่ชี้ชัดว่ากระบวนการพัฒนาการของอ้อยทั้งสี่พันธุ์สามารถใช้อุณหภูมิสะสมในการคาด-การณ์พัฒนาการของใบอ้อยได้

พัฒนาการของอ้อยเริ่มตั้งแต่ ระยะงอก ระยะการแตกกอ และเมื่อระยะที่มีจำนวนหน่อคงที่ผ่านไปแล้วก็เริ่มเข้าสู่ระยะสุกแก่ซึ่งจะมีการกำเนิดและการสร้างช่อดอก พบว่าอ้อยทุกพันธุ์และจากทั้งสองวันปลูกมีลักษณะพัฒนาการที่คล้ายคลึงกัน แต่มีระยะพัฒนาการที่แตกต่างกัน โดยพันธุ์ที่มีระยะพัฒนาการเร็วที่สุดคือ U-Thong 2, K 84- 200, CP 78-1628 และ K 88-92 ตามลำดับ

ผลการศึกษาเกี่ยวกับพัฒนาการของอ้อยสี่พันธุ์ ตั้งแต่ปลูกถึงระยะออกดอก ให้ความเข้าใจเบื้องต้นและข้อมูลการตอบสนองของอ้อยในด้านสัณฐานวิทยาในระดับหนึ่ง แม้ว่าอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการพัฒนาแบบจำลองได้ แต่เป็นพื้นฐานสำคัญต่อการวิจัยเพิ่มเติม เช่น การศึกษาพัฒนาของใบในยอดใบ (leaf primordia) การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศที่มีต่อการยึดของใบแต่ละใบ และการเกิดปล้องของอ้อย รวมทั้งความสัมพันธ์กับการสะสมน้ำหนักรในส่วนต่าง ๆ ของอ้อย และการสะสมน้ำตาล

รูปที่ 22: มังพัฒนาการของอ้อยพัฒนาจากงานทดลองอ้อยสี่พันธุ์ ปลุก ณ แปลงทดลองศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539



ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

การตอบสนองของอ้อยที่มีต่อความหนาแน่น  
โดยใช้รูปแบบการทดลองแบบพัต

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ปริญญาโทสาขาเกษตรศาสตร์เชิงระบบ  
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปรัชญา นาสุริวงศ์

**การผลิตอ้อย** (*Saccharum officinarum* L.) ยังมีคำถามเกี่ยวกับระยะปลูกอ้อยที่เหมาะสมอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีที่ชาวไร่อ้อยใช้ในการผลิต เช่น พันธุ์อ้อย อายุเก็บเกี่ยว การใช้เครื่องจักรกล ในการเตรียมดิน การปลูกและการเก็บเกี่ยวอ้อย เป็นต้น วิธีวิจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมในระบบการผลิตอ้อยของภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศคือการวางแผนการทดสอบระยะปลูกอ้อยตามศูนย์วิจัยอ้อยของกระทรวงอุตสาหกรรม และ สถานีทดลองพืชไร่ของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ให้คำตอบได้ในอัตราที่ทันต่อการใช้งานเมื่อระบบการผลิตอ้อยยังไม่ซับซ้อนเช่นในระบบการผลิตอ้อยปัจจุบัน นอกจากนี้ ผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสามารถใช้อธิบายอิทธิพลของความหนาแน่นต่อพืชได้เพียงบางส่วน จำเป็นต้องมีการนำวิธีการใหม่ที่จะทำให้การศึกษาระยะปลูกที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพมากขึ้น หลักการและวิธีการทดลองรูปแบบพัด (fan design) หรือ ระยะปลูกเท่า (equidistant spacing หรือ systematic design) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการตอบสนองของพืชที่มีต่อความหนาแน่นได้ วิธีการนี้ถูกเสนอเป็นครั้งแรกโดย Nelder (1962) และ Bleasdale (1967) หลังจากนั้นได้มีการนำหลักการนี้ไปใช้ในการศึกษาการตอบสนองของพืชต่าง ๆ ที่มีต่อความหนาแน่น Wilcox (1974) ใช้หลักการนี้ในการศึกษาการตอบสนองของถั่วเหลืองสามพันธุ์ที่มีต่อความหนาแน่นตั้งแต่ 25 ถึง 582 ต้น ตม<sup>1</sup> Wahua และ Miller (1978) ใช้หลักการเดียวกันศึกษาการตอบสนองของถั่วเหลืองปลูกแซมกับข้าวฟ่างที่ความหนาแน่น 1.38 ถึง 33 ต้น ตม<sup>1</sup> Tetio-Kagho and Garduer (1988) ใช้หลักการนี้ในการศึกษาการตอบสนองของข้าวโพด 3 พันธุ์ที่มีต่อความหนาแน่นตั้งแต่ 0.8 ถึง 15.4 ต้น ตม<sup>1</sup> อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการประยุกต์ใช้หลักการและวิธีการนี้เพื่อศึกษาการตอบสนองของอ้อยที่มีต่อความหนาแน่น

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับการเจริญเติบโตของอ้อย และเพื่อหาความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของอ้อยโดยใช้หลักการของการทดลองรูปแบบพัด

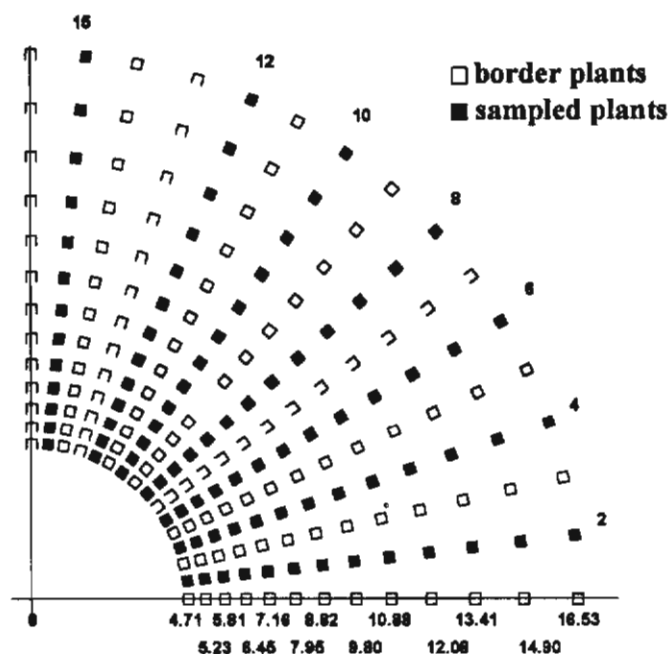
## อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ที่ละติจูด 18° 45' ลองจิจูด 98° 58' มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 330 เมตร ดินในพื้นที่แปลงทดลองถูกจัดตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy, 1975) เป็นดินชุดสติก (Satuk soil series) จัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Typic Paleustults

วางแผนการทดลองแบบ split plot มีสามซ้ำ มีการสุ่มเพื่อป้องกันการลำเอียงใน main plot ซึ่งเป็นอ้อยสองพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ K และ พันธุ์ U ปัจจุบันใน sub plot คือ ความหนาแน่นของอ้อยต่อพื้นที่ 12 ความหนาแน่นระหว่าง 0.32 ถึง 3.23 ต้นอ้อย/ตรม<sup>1</sup> ซึ่งมีการคำนวณตามวิธีการรูปแบบพัด (ภาคผนวก 1) มีค่าสี่เหลี่ยมของแต่ละความหนาแน่นเป็น 1.00 และมีมุมระหว่างแถวปลูก (รัศมี) เป็น 5 องศา (รูปที่ 23)

ทำการเพาะกล้าอ้อยในถุงพลาสติกวันที่ 25 มกราคม 2538 ย้ายปลูกตามตำแหน่งในแถวปลูกเมื่อ วันที่ 2 เมษายน 2538 เริ่มทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยหลังการย้ายปลูกหนึ่งสัปดาห์ ทำการบันทึกข้อมูล ความสูง จำนวนหน่อ จำนวนใบ ทำการเก็บตัวอย่างอ้อยหลังย้ายปลูกได้ 120 วัน รวม 8 ครั้ง หลังการเก็บ

รูปที่ 23: ขนาด และทิศทางการจัดเรียงตัวของต้นอ้อยในแต่ละแปลงย่อย



ตัวอย่างทุกครั้งนำตัวอย่างอ้อยเข้าห้องปฏิบัติการแยกส่วนต่าง ๆ ของอ้อยออกเป็น ใบ กาบใบ ลำต้น และช่อดอก ซึ่งน้ำหนักสด และนำเข้าตูบนาน 3 วัน และนำออกซึ่งหาน้ำหนักแห้ง ส่วนที่เป็นลำต้นอ้อยส่งศูนย์วิจัยพืชไร่นาสุพรรณบุรี เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของ CCS

ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกหนึ่งสัปดาห์ ส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าธาตุไนโตรเจน ค่าธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ทำการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิตามรายวัน ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด พลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณน้ำฝน โดยเครื่องบันทึกสภาพอากาศเกษตรของ UNIDATA Starlog Logger System

## ผลการทดลองและวิจารณ์

ในระยะเริ่มต้นของการทดลองซึ่งอ้อยมีอายุน้อยกว่า 120 วัน พบว่าอ้อยทั้งพันธุ์มีการตอบสนองต่อความหนาแน่นพืชเพียงเล็กน้อย โดยการพิจารณาจากน้ำหนักเหนือผิวดินสามส่วนได้แก่น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักใบแห้ง และน้ำหนักกาบใบแห้ง เมื่ออ้อยมีอายุได้ 150 วัน พบว่าความหนาแน่นพืชมีผลต่อน้ำหนักเหนือผิวดินทั้งสามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะกออ้อยที่ปลูกอยู่ในช่วงความหนาแน่นต่ำ ระหว่าง 0.32 ถึง 1.12 ต้น ตรม<sup>-1</sup> การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักลำต้นมีมากกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักใบและน้ำหนักกาบใบอย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่ออ้อยมีพัฒนาการถึงระยะที่จำนวนหน่อหรือจำนวนลำต่อกอมีจำนวนคงที่หรือ

เมื่ออ้อยมีอายุได้มากกว่า 229 วัน น้ำหนักของส่วนต่าง ๆ เหล่านี้เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนหน่อหรือจำนวนลำตอกอ้อย

น้ำหนักสดของลำต้นเมื่อคำนวณต่อตารางเมตรแล้ว พบว่า อ้อยทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อความหนาแน่น ดังแสดงในตารางที่ 71 น้ำหนักต้นสดต่อตารางเมตรในอ้อยทั้งสองพันธุ์ มีการเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ในแต่ละความหนาแน่นน้ำหนักต้นสดต่อตารางเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

น้ำหนักสดของลำต้นทั้งสองพันธุ์ในช่วงระยะเก็บเกี่ยว (อายุ 319 วัน) หลังออก) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างน้ำหนักสดของลำต้นระหว่างอ้อยที่ปลูกโดยใช้ความหนาแน่นสูงกับอ้อยที่ปลูกโดยใช้ความหนาแน่นต่ำพบว่ามีความแตกต่างประมาณ 4-6 เท่า และพบว่าอ้อยที่ปลูกโดยใช้ความหนาแน่นสูงมีแนวโน้มที่จะสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยในรูปน้ำหนักสดได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Freeman (1968) และ Bull (1975) ที่สรุปว่าอ้อยที่ปลูกโดยใช้ระยะระหว่างแถวแคบสามารถให้ผลผลิตมากกว่าอ้อยที่ปลูกโดยใช้ระยะระหว่างแถวกว้าง

ตารางที่ 71: น้ำหนักสดของลำต้นอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ต้นต่อตรม.) | น้ำหนักสดของต้น (กก.ต่อตรม.) |      |       |       |       |          |       |       |       |       |
|-----------------------------|------------------------------|------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
|                             | พันธุ์ K                     |      |       |       |       | พันธุ์ U |       |       |       |       |
|                             | 194                          | 229  | 257   | 284   | 319   | 194      | 229   | 257   | 284   | 319   |
| อายุอ้อย→                   |                              |      |       |       |       |          |       |       |       |       |
| 0.32                        | 0.62                         | 1.25 | 2.23  | 3.69  | 3.75  | 0.76     | 2.58  | 3.42  | 3.25  | 3.29  |
| 0.39                        | 1.08                         | 2.33 | 3.55  | 4.17  | 6.27  | 0.94     | 3.95  | 4.13  | 6.26  | 3.73  |
| 0.48                        | 1.42                         | 2.87 | 4.73  | 6.01  | 7.71  | 1.32     | 3.67  | 5.98  | 8.37  | 5.55  |
| 0.59                        | 1.54                         | 4.20 | 4.85  | 7.12  | 6.92  | 1.11     | 3.25  | 8.09  | 7.59  | 6.33  |
| 0.73                        | 2.55                         | 5.01 | 6.79  | 6.59  | 8.69  | 1.63     | 4.21  | 8.08  | 11.22 | 9.44  |
| 0.90                        | 3.63                         | 5.45 | 6.30  | 7.06  | 8.32  | 3.42     | 7.18  | 9.40  | 10.27 | 6.05  |
| 1.12                        | 2.10                         | 4.83 | 5.82  | 9.29  | 9.25  | 4.79     | 8.37  | 10.17 | 12.43 | 11.46 |
| 1.39                        | 3.24                         | 4.44 | 5.09  | 11.02 | 10.93 | 6.59     | 11.67 | 10.35 | 13.84 | 10.00 |
| 1.67                        | 4.08                         | 5.25 | 6.77  | 8.17  | 12.17 | 6.89     | 10.50 | 11.28 | 12.67 | 10.28 |
| 2.13                        | 5.12                         | 9.11 | 8.99  | 8.79  | 12.27 | 8.62     | 11.77 | 16.23 | 13.83 | 16.53 |
| 2.56                        | 5.44                         | 6.88 | 6.58  | 7.01  | 20.34 | 5.77     | 14.53 | 11.20 | 12.99 | 12.48 |
| 3.23                        | 5.14                         | 9.35 | 17.00 | 10.32 | 16.56 | 9.05     | 20.32 | 17.10 | 19.14 | 15.38 |

น้ำหนักแห้งของต้น, ใบ, และกาบใบ พบว่ามีการตอบสนองต่อความหนาแน่นเช่นเดียวกับน้ำหนักสดของต้น คือมีการเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มได้อีกเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่น ดังแสดงในตารางที่ 72, 73, 74

จากตารางดังกล่าว ในระยะแรกของการเจริญเติบโต ความหนาแน่นพืชไม่มีผลกระทบต่อการสะสมของน้ำหนักสดและวัตถุแห้ง แต่การเจริญทางใบ กาบใบ และลำต้นของอ้อย ในแต่ละความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นหลังจากอ้อยมีอายุประมาณ 150 วัน และการเจริญทางลำต้นมีค่ามากกว่าการเจริญทางใบและกาบใบ อย่างชัดเจนหลังจากที่อ้อยมีจำนวนหน่อคงที่ (อายุ 229 วัน)

ตารางที่ 72: น้ำหนักแห้งของลำต้นอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ต้นต่อตรม.)<br>อายุอ้อย→ | น้ำหนักแห้งของลำต้น (กก.ต่อตรม.) |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                          | พันธุ์ K                         |       |       |       |       |       |       |       |
|                                          | 120                              | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319   |
| 0.32                                     | 0.001                            | 0.004 | 0.029 | 0.079 | 0.246 | 0.459 | 0.911 | 1.221 |
| 0.39                                     | 0.000                            | 0.010 | 0.059 | 0.145 | 0.428 | 0.775 | 0.954 | 1.850 |
| 0.48                                     | 0.000                            | 0.009 | 0.045 | 0.188 | 0.530 | 0.992 | 1.338 | 2.207 |
| 0.59                                     | 0.000                            | 0.032 | 0.092 | 0.197 | 0.773 | 0.933 | 1.529 | 1.252 |
| 0.73                                     | 0.000                            | 0.017 | 0.150 | 0.304 | 0.864 | 1.240 | 1.248 | 2.066 |
| 0.90                                     | 0.001                            | 0.008 | 0.209 | 0.454 | 0.917 | 1.187 | 1.376 | 2.487 |
| 1.12                                     | 0.000                            | 0.014 | 0.244 | 0.280 | 0.848 | 1.251 | 1.711 | 3.120 |
| 1.39                                     | 0.001                            | 0.026 | 0.170 | 0.361 | 0.813 | 0.878 | 2.216 | 3.129 |
| 1.67                                     | 0.001                            | 0.054 | 0.403 | 0.523 | 0.994 | 1.373 | 1.681 | 3.069 |
| 2.13                                     | 0.001                            | 0.036 | 0.378 | 0.696 | 1.183 | 1.799 | 1.626 | 3.305 |
| 2.56                                     | 0.001                            | 0.074 | 0.398 | 0.693 | 1.249 | 1.365 | 1.373 | 6.437 |
| 3.23                                     | 0.003                            | 0.123 | 0.863 | 0.827 | 1.580 | 3.490 | 2.511 | 5.973 |
| อายุอ้อย→                                | พันธุ์ U                         |       |       |       |       |       |       |       |
|                                          | 120                              | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319   |
|                                          | 120                              | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319   |
| 0.32                                     | 0.000                            | 0.005 | 0.042 | 0.099 | 0.383 | 0.661 | 1.290 | 0.948 |
| 0.39                                     | 0.000                            | 0.008 | 0.032 | 0.116 | 0.536 | 0.771 | 1.806 | 2.038 |
| 0.48                                     | 0.000                            | 0.020 | 0.069 | 0.156 | 0.587 | 1.089 | 2.102 | 1.810 |
| 0.59                                     | 0.001                            | 0.023 | 0.104 | 0.142 | 0.498 | 1.450 | 1.820 | 1.706 |
| 0.73                                     | 0.001                            | 0.051 | 0.140 | 0.197 | 0.768 | 1.543 | 2.654 | 2.298 |
| 0.90                                     | 0.003                            | 0.076 | 0.234 | 0.424 | 1.187 | 1.755 | 2.146 | 1.885 |
| 1.12                                     | 0.002                            | 0.086 | 0.331 | 0.624 | 1.287 | 1.737 | 2.507 | 3.476 |
| 1.39                                     | 0.002                            | 0.146 | 0.230 | 0.685 | 1.618 | 1.762 | 2.674 | 3.008 |
| 1.67                                     | 0.003                            | 0.190 | 0.409 | 0.919 | 1.422 | 1.934 | 2.255 | 3.552 |
| 2.13                                     | 0.006                            | 0.217 | 0.822 | 1.021 | 1.928 | 2.939 | 2.908 | 4.912 |
| 2.56                                     | 0.004                            | 0.169 | 0.537 | 0.617 | 1.895 | 1.740 | 2.915 | 2.769 |
| 3.23                                     | 0.012                            | 0.245 | 1.058 | 1.061 | 3.340 | 2.740 | 3.668 | 4.682 |

ความหนาแน่นพืชมีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อจำนวนหน่อต่อตารางเมตร จำนวนหน่อต่อตารางเมตรเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นพืชเพิ่มขึ้น จำนวนหน่อต่อตารางเมตรของอ้อยพันธุ์ U มีการตอบสนองต่อความหนาแน่นมากกว่าอ้อยพันธุ์ K (ตารางที่ 75) จำนวนหน่อเฉลี่ยต่อตารางเมตร ที่ต่ำจะพบในช่วงความหนาแน่นระหว่าง 0.32 ถึง 0.59 ต้น ตรม<sup>-1</sup>

ความหนาแน่นพืชมีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อความสูงของอ้อยโดยเฉพาะเมื่ออ้อยทั้งสองพันธุ์มีอายุมากกว่า 120 วัน (ตารางที่ 76) อ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นระหว่าง 1.67 ถึง 3.23 ต้น ตรม<sup>-1</sup> ซึ่งเมื่ออ้อยอยู่ในช่วงที่มีจำนวนหน่อคงที่ (อายุ 229 วัน) อ้อยพันธุ์ K มีความสูงเฉลี่ยเป็น 2.01 เมตร อ้อยพันธุ์ U มีความสูงเฉลี่ยเป็น 2.13 เมตร ความสูงของอ้อยสูงสุดพบที่ความหนาแน่นพืชระหว่าง 1.12 ถึง 1.67 ต้น ตรม<sup>-1</sup> และเป็นการตอบสนองที่ค่อนข้างจะคงที่ตลอดการทดลอง ทั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะการแข่งขันเพื่อรับแสงอาทิตย์ของอ้อยที่ปลูกในช่วงที่มีความหนาแน่นดังกล่าว ในระยะเก็บเกี่ยวอ้อยพบว่าอ้อยที่ปลูกในช่วงความหนาแน่นที่ต่ำ มีแนวโน้มที่

ตารางที่ 73: น้ำหนักแห้งของใบอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ตันต่อตรม.) | น้ำหนักแห้งใบ (กก.ต่อตรม.) |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | พันธุ์ K                   |       |       |       |       |       |       |       |
|                             | 120                        | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319   |
| อายุอ้อย→                   |                            |       |       |       |       |       |       |       |
| 0.32                        | 0.002                      | 0.011 | 0.041 | 0.079 | 0.108 | 0.138 | 0.187 | 0.173 |
| 0.39                        | 0.004                      | 0.024 | 0.082 | 0.102 | 0.167 | 0.199 | 0.209 | 0.205 |
| 0.48                        | 0.005                      | 0.029 | 0.070 | 0.128 | 0.176 | 0.265 | 0.307 | 0.280 |
| 0.59                        | 0.009                      | 0.068 | 0.109 | 0.181 | 0.274 | 0.284 | 0.337 | 0.287 |
| 0.73                        | 0.010                      | 0.055 | 0.199 | 0.236 | 0.289 | 0.380 | 0.302 | 0.353 |
| 0.90                        | 0.013                      | 0.054 | 0.210 | 0.284 | 0.345 | 0.375 | 0.322 | 0.334 |
| 1.12                        | 0.011                      | 0.059 | 0.257 | 0.239 | 0.377 | 0.310 | 0.474 | 0.384 |
| 1.39                        | 0.010                      | 0.089 | 0.257 | 0.289 | 0.333 | 0.307 | 0.501 | 0.477 |
| 1.67                        | 0.017                      | 0.158 | 0.316 | 0.387 | 0.347 | 0.426 | 0.284 | 0.445 |
| 2.13                        | 0.036                      | 0.148 | 0.422 | 0.453 | 0.481 | 0.502 | 0.365 | 0.484 |
| 2.56                        | 0.033                      | 0.247 | 0.443 | 0.510 | 0.606 | 0.443 | 0.370 | 0.865 |
| 3.23                        | 0.048                      | 0.255 | 0.603 | 0.507 | 0.700 | 0.964 | 0.566 | 0.669 |
| พันธุ์ U                    |                            |       |       |       |       |       |       |       |
| อายุอ้อย→                   | 120                        | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319   |
| 0.32                        | 0.003                      | 0.011 | 0.051 | 0.073 | 0.160 | 0.171 | 0.233 | 0.113 |
| 0.39                        | 0.008                      | 0.014 | 0.048 | 0.093 | 0.240 | 0.235 | 0.279 | 0.137 |
| 0.48                        | 0.007                      | 0.042 | 0.098 | 0.146 | 0.235 | 0.298 | 0.359 | 0.163 |
| 0.59                        | 0.009                      | 0.046 | 0.149 | 0.133 | 0.242 | 0.390 | 0.388 | 0.213 |
| 0.73                        | 0.013                      | 0.077 | 0.185 | 0.196 | 0.294 | 0.411 | 0.489 | 0.301 |
| 0.90                        | 0.022                      | 0.099 | 0.238 | 0.334 | 0.427 | 0.487 | 0.451 | 0.265 |
| 1.12                        | 0.022                      | 0.138 | 0.377 | 0.403 | 0.491 | 0.495 | 0.539 | 0.425 |
| 1.39                        | 0.036                      | 0.206 | 0.262 | 0.521 | 0.689 | 0.482 | 0.640 | 0.347 |
| 1.67                        | 0.042                      | 0.265 | 0.409 | 0.562 | 0.580 | 0.566 | 0.576 | 0.389 |
| 2.13                        | 0.066                      | 0.290 | 0.697 | 0.672 | 0.728 | 0.888 | 0.708 | 0.598 |
| 2.56                        | 0.042                      | 0.280 | 0.556 | 0.577 | 0.847 | 0.664 | 0.689 | 0.440 |
| 3.23                        | 0.094                      | 0.353 | 1.018 | 0.798 | 1.292 | 0.945 | 0.977 | 0.602 |

จะมีความสูงกว่าอ้อยที่ปลูกในช่วงความหนาแน่นที่สูง ซึ่งอยู่ในช่วงความหนาแน่นระหว่าง 0.32 ถึง 0.73 ตันต่อตารางเมตร

ความหนาแน่นพืชมีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อดัชนีพื้นที่ใบ โดยเฉพาะเมื่ออ้อยทั้งสองพันธุ์มีอายุมากกว่า 120 วัน ในทุกระยะพัฒนาการอ้อยพันธุ์ U มีดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าอ้อยพันธุ์ K ดัชนีพื้นที่ใบลดลงเมื่อความหนาแน่นพืชลดลงของอ้อยทั้งสอง (ตารางที่ 77) รูปแบบการสะสมของดัชนีพื้นที่ใบของอ้อยทั้งสองพันธุ์มีความคล้ายคลึงกันในทุกความหนาแน่นคือมีการสะสมถึงจุดสูงสุดแล้วมีการลดลงตามลำดับ ดัชนีพื้นที่ใบในแต่ละความหนาแน่นมีการใช้เวลาในการสะสมถึงจุดสูงสุดที่แตกต่างกัน อ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นที่ต่ำ คือระหว่าง 0.32 ถึง 1.12 ตัน ตรม<sup>1</sup> ใช้เวลาในการสะสมดัชนีพื้นที่ใบถึงจุดสูงสุดที่มากกว่าอ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นที่สูงระหว่าง 1.39 ถึง 3.23 ตัน ตรม<sup>1</sup>

ตารางที่ 74: น้ำหนักแห้งของกาบใบอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ต้นต่อตรม.) | น้ำหนักแห้งของกาบใบแห้ง (กก.ต่อตรม.) |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | พันธุ์ K                             |       |       |       |       |       |       |       |
|                             | อายุอ้อย→                            | 120   | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   |
| 0.32                        | 0.001                                | 0.008 | 0.031 | 0.056 | 0.078 | 0.100 | 0.169 | 0.219 |
| 0.39                        | 0.003                                | 0.019 | 0.053 | 0.085 | 0.115 | 0.131 | 0.180 | 0.345 |
| 0.48                        | 0.003                                | 0.020 | 0.051 | 0.085 | 0.122 | 0.195 | 0.235 | 0.470 |
| 0.59                        | 0.006                                | 0.049 | 0.077 | 0.114 | 0.186 | 0.209 | 0.284 | 0.425 |
| 0.73                        | 0.006                                | 0.039 | 0.165 | 0.155 | 0.205 | 0.275 | 0.263 | 0.431 |
| 0.90                        | 0.009                                | 0.034 | 0.178 | 0.181 | 0.223 | 0.256 | 0.287 | 0.459 |
| 1.12                        | 0.008                                | 0.039 | 0.156 | 0.146 | 0.200 | 0.259 | 0.390 | 0.462 |
| 1.39                        | 0.007                                | 0.056 | 0.146 | 0.189 | 0.222 | 0.230 | 0.414 | 0.569 |
| 1.67                        | 0.011                                | 0.106 | 0.208 | 0.232 | 0.229 | 0.314 | 0.355 | 0.526 |
| 2.13                        | 0.023                                | 0.104 | 0.238 | 0.266 | 0.318 | 0.390 | 0.376 | 0.658 |
| 2.56                        | 0.021                                | 0.170 | 0.293 | 0.284 | 0.319 | 0.298 | 0.298 | 1.042 |
| 3.23                        | 0.034                                | 0.198 | 0.378 | 0.271 | 0.472 | 0.708 | 0.442 | 0.857 |
|                             | พันธุ์ U                             |       |       |       |       |       |       |       |
| อายุอ้อย→                   | 120                                  | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319   |
| 0.32                        | 0.002                                | 0.010 | 0.044 | 0.048 | 0.114 | 0.141 | 0.235 | 0.215 |
| 0.39                        | 0.008                                | 0.012 | 0.033 | 0.062 | 0.187 | 0.167 | 0.291 | 0.233 |
| 0.48                        | 0.007                                | 0.035 | 0.096 | 0.088 | 0.172 | 0.234 | 0.348 | 0.286 |
| 0.59                        | 0.009                                | 0.038 | 0.093 | 0.089 | 0.167 | 0.312 | 0.336 | 0.367 |
| 0.73                        | 0.013                                | 0.067 | 0.143 | 0.125 | 0.198 | 0.314 | 0.483 | 0.382 |
| 0.90                        | 0.021                                | 0.078 | 0.154 | 0.230 | 0.278 | 0.368 | 0.434 | 0.381 |
| 1.12                        | 0.019                                | 0.123 | 0.241 | 0.265 | 0.298 | 0.379 | 0.508 | 0.678 |
| 1.39                        | 0.033                                | 0.162 | 0.169 | 0.310 | 0.448 | 0.405 | 0.547 | 0.506 |
| 1.67                        | 0.038                                | 0.199 | 0.253 | 0.345 | 0.409 | 0.432 | 0.490 | 0.520 |
| 2.13                        | 0.061                                | 0.235 | 0.463 | 0.396 | 0.495 | 0.695 | 0.550 | 0.864 |
| 2.56                        | 0.040                                | 0.275 | 0.376 | 0.329 | 0.559 | 0.445 | 0.531 | 0.571 |
| 3.23                        | 0.085                                | 0.262 | 0.736 | 0.476 | 0.838 | 0.768 | 0.719 | 0.862 |

ตารางที่ 75: จำนวนลำต่อตารางเมตร ในอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ต้นต่อตรม) | จำนวนหน่อต่อตารางเมตร |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | พันธุ์ K              |       |       |       |       |       |       |       |
| อายุอ้อย→                  | 120                   | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319   |
| 0.32                       | 1.07                  | 1.07  | 2.36  | 3.10  | 2.46  | 2.03  | 2.66  | 2.88  |
| 0.39                       | 2.34                  | 2.73  | 3.52  | 2.73  | 2.99  | 2.60  | 2.86  | 2.99  |
| 0.48                       | 2.72                  | 2.88  | 4.81  | 5.13  | 2.72  | 3.85  | 3.69  | 3.85  |
| 0.59                       | 3.75                  | 4.93  | 4.34  | 6.31  | 4.54  | 3.75  | 4.73  | 3.55  |
| 0.73                       | 4.87                  | 5.11  | 7.30  | 7.54  | 4.87  | 5.11  | 4.38  | 4.87  |
| 0.90                       | 4.50                  | 6.61  | 7.81  | 6.61  | 4.50  | 4.50  | 4.50  | 4.50  |
| 1.12                       | 6.74                  | 5.99  | 7.87  | 8.24  | 4.87  | 6.37  | 7.12  | 5.62  |
| 1.39                       | 4.17                  | 6.94  | 6.94  | 7.41  | 5.56  | 5.56  | 7.41  | 7.87  |
| 1.67                       | 8.33                  | 10.00 | 8.89  | 10.00 | 6.11  | 7.22  | 7.22  | 7.78  |
| 2.13                       | 12.06                 | 10.64 | 12.06 | 10.64 | 9.93  | 7.80  | 7.80  | 9.22  |
| 2.56                       | 12.82                 | 15.38 | 11.97 | 12.82 | 9.40  | 7.69  | 6.84  | 12.82 |
| 3.23                       | 18.28                 | 16.13 | 20.43 | 17.20 | 12.90 | 11.83 | 9.68  | 9.68  |
| อายุอ้อย→                  | พันธุ์ U              |       |       |       |       |       |       |       |
|                            | 120                   | 150   | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319   |
| 0.32                       | 1.60                  | 1.28  | 3.63  | 2.67  | 3.85  | 2.88  | 3.74  | 3.10  |
| 0.39                       | 3.39                  | 3.13  | 4.43  | 3.91  | 5.60  | 4.56  | 4.82  | 4.04  |
| 0.48                       | 3.37                  | 5.29  | 5.77  | 5.61  | 6.25  | 4.65  | 5.77  | 3.69  |
| 0.59                       | 3.94                  | 6.71  | 9.66  | 7.10  | 7.30  | 6.71  | 5.72  | 4.93  |
| 0.73                       | 3.89                  | 9.25  | 10.46 | 10.71 | 6.81  | 7.06  | 8.27  | 5.84  |
| 0.90                       | 5.71                  | 8.11  | 9.31  | 11.71 | 8.11  | 8.71  | 9.31  | 6.01  |
| 1.12                       | 6.37                  | 15.73 | 11.61 | 12.36 | 9.36  | 9.36  | 9.36  | 7.49  |
| 1.39                       | 11.57                 | 13.43 | 8.33  | 10.19 | 12.04 | 8.80  | 12.04 | 8.80  |
| 1.67                       | 11.67                 | 18.89 | 14.44 | 14.44 | 11.11 | 10.00 | 10.00 | 8.89  |
| 2.13                       | 15.60                 | 18.44 | 16.31 | 16.31 | 14.18 | 15.60 | 12.06 | 12.77 |
| 2.56                       | 10.26                 | 21.37 | 17.09 | 19.66 | 17.09 | 10.26 | 13.68 | 11.97 |
| 3.23                       | 21.51                 | 23.66 | 27.96 | 24.73 | 23.66 | 17.20 | 15.05 | 15.05 |

ตารางที่ 76: ความสูงของอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

| PD<br>(ต้นต่อตรม) | ความสูง (ซม.) |       |       |       |       |       |          |       |       |       |       |       |
|-------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | พันธุ์ K      |       |       |       |       |       | พันธุ์ U |       |       |       |       |       |
|                   | อายุอ้อย→     | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   | 319      | 180   | 194   | 229   | 257   | 284   |
| 0.32              | 68.0          | 106.3 | 154.7 | 234.0 | 243.3 | 347.7 | 94.0     | 115.3 | 174.3 | 228.0 | 337.7 | 340.7 |
| 0.39              | 81.3          | 123.3 | 180.7 | 229.0 | 249.7 | 366.7 | 77.3     | 104.0 | 178.7 | 228.0 | 329.0 | 346.0 |
| 0.48              | 73.3          | 118.3 | 183.3 | 242.3 | 276.7 | 421.0 | 80.0     | 115.0 | 178.0 | 240.3 | 355.3 | 371.0 |
| 0.59              | 84.7          | 112.3 | 194.3 | 233.0 | 264.7 | 347.7 | 85.0     | 116.3 | 160.0 | 253.0 | 354.7 | 367.7 |
| 0.73              | 88.7          | 121.7 | 198.7 | 252.3 | 267.0 | 362.3 | 87.7     | 116.7 | 177.3 | 240.0 | 365.3 | 392.7 |
| 0.90              | 99.7          | 132.0 | 204.0 | 233.7 | 285.5 | 326.7 | 124.7    | 133.0 | 200.0 | 248.7 | 349.7 | 358.7 |
| 1.12              | 103.0         | 121.7 | 190.3 | 225.3 | 282.5 | 359.3 | 102.7    | 141.3 | 212.0 | 256.0 | 365.7 | 368.0 |
| 1.39              | 104.0         | 125.0 | 195.7 | 204.3 | 294.5 | 335.3 | 107.3    | 158.0 | 209.7 | 267.3 | 365.7 | 351.0 |
| 1.67              | 111.3         | 141.0 | 203.0 | 233.0 | 273.5 | 321.0 | 120.0    | 158.0 | 216.3 | 278.3 | 353.3 | 349.0 |
| 2.13              | 115.3         | 144.7 | 201.7 | 252.7 | 279.5 | 300.7 | 127.0    | 171.0 | 216.3 | 280.0 | 304.7 | 354.3 |
| 2.56              | 108.0         | 153.0 | 198.3 | 205.3 | 278.0 | 316.7 | 124.7    | 149.0 | 212.3 | 269.0 | 309.0 | 304.7 |
| 3.23              | 122.0         | 132.3 | 201.0 | 248.7 | 272.0 | 331.7 | 118.7    | 151.7 | 209.0 | 246.0 | 315.3 | 295.7 |

ตารางที่ 77: **ดัชนีพื้นที่ใบของอ้อย พันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U-Thong 2 ที่สถานีแม่เหียะ 2539**

| ความหนาแน่น<br>(ต้นต่อตรม)<br>อายุอ้อย→ | ดัชนีพื้นที่ใบ |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                         | พันธุ์ K       |      |      |      |      |      |      |      |
|                                         | 120            | 150  | 180  | 194  | 229  | 257  | 284  | 319  |
| 0.32                                    | 0.02           | 0.11 | 0.39 | 0.69 | 0.96 | 1.34 | 1.57 | 1.48 |
| 0.39                                    | 0.04           | 0.23 | 0.77 | 0.90 | 1.49 | 1.94 | 1.76 | 1.77 |
| 0.48                                    | 0.04           | 0.28 | 0.87 | 1.13 | 1.59 | 2.61 | 2.61 | 2.43 |
| 0.59                                    | 0.07           | 0.64 | 1.03 | 1.59 | 2.47 | 2.79 | 2.85 | 2.31 |
| 0.73                                    | 0.09           | 0.52 | 1.89 | 2.08 | 2.60 | 3.72 | 2.56 | 3.06 |
| 0.90                                    | 0.10           | 0.51 | 1.99 | 2.50 | 3.11 | 3.68 | 2.73 | 2.89 |
| 1.12                                    | 0.10           | 0.56 | 2.44 | 2.11 | 3.39 | 3.04 | 4.02 | 3.32 |
| 1.39                                    | 0.09           | 0.84 | 2.43 | 2.55 | 3.00 | 3.01 | 4.25 | 4.13 |
| 1.67                                    | 0.15           | 1.49 | 3.00 | 3.41 | 3.12 | 4.18 | 2.41 | 3.85 |
| 2.13                                    | 0.31           | 1.40 | 4.00 | 4.00 | 4.33 | 4.92 | 3.09 | 4.18 |
| 2.56                                    | 0.28           | 2.34 | 4.19 | 4.49 | 5.45 | 4.34 | 3.14 | 7.49 |
| 3.23                                    | 0.43           | 2.41 | 5.71 | 4.47 | 6.30 | 9.46 | 4.80 | 5.79 |
| อายุอ้อย→                               | พันธุ์ U       |      |      |      |      |      |      |      |
|                                         | 120            | 150  | 180  | 194  | 229  | 257  | 284  | 319  |
| 0.32                                    | 0.01           | 0.10 | 0.46 | 0.62 | 1.48 | 1.60 | 2.20 | 1.32 |
| 0.39                                    | 0.06           | 0.13 | 0.43 | 0.80 | 2.23 | 2.21 | 2.64 | 1.32 |
| 0.48                                    | 0.04           | 0.38 | 0.89 | 1.26 | 2.20 | 2.83 | 3.44 | 1.58 |
| 0.59                                    | 0.07           | 0.41 | 1.34 | 1.14 | 2.26 | 3.68 | 3.70 | 2.06 |
| 0.73                                    | 0.09           | 0.69 | 1.66 | 1.68 | 2.74 | 3.88 | 4.66 | 2.91 |
| 0.90                                    | 0.15           | 0.89 | 2.14 | 2.87 | 3.99 | 4.60 | 4.29 | 2.56 |
| 1.12                                    | 0.15           | 1.24 | 3.39 | 3.46 | 4.58 | 4.67 | 5.13 | 4.11 |
| 1.39                                    | 0.26           | 1.86 | 2.36 | 4.47 | 6.43 | 4.55 | 6.10 | 3.35 |
| 1.67                                    | 0.30           | 2.39 | 3.68 | 4.82 | 5.42 | 5.34 | 5.49 | 3.76 |
| 2.13                                    | 0.47           | 2.61 | 6.27 | 5.77 | 6.79 | 8.38 | 6.74 | 5.78 |
| 2.56                                    | 0.35           | 2.52 | 5.00 | 4.96 | 7.91 | 6.27 | 6.56 | 4.25 |
| 3.23                                    | 0.68           | 3.17 | 9.16 | 6.85 | 12.1 | 8.92 | 9.31 | 5.82 |

ในอ้อยทั้งสองพันธุ์พบว่าองค์ประกอบความหวานวัดจาก CCS ค่า %brix ค่า %polarity และค่า %fiber มีความแปรปรวนสูงเมื่ออ้อยมีอายุน้อยกว่า 180 วันหลังปลูก (ตารางที่ 78-81) อย่างไรก็ตาม หลังจากนั้นพบว่าค่าดังกล่าวเริ่มมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น และมีค่าสูงขึ้นหลังจากอ้อยทั้งสองพันธุ์มีพัฒนาการถึงระยะจำนวนหน่อคงที่ คือมีอายุได้ 229 วันหลังปลูก พบว่าอ้อยทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกในความหนาแน่นพืชระหว่าง 0.32 ถึง 0.48 ต้น ตรม<sup>-1</sup> มีค่าองค์ประกอบ CCS สูงกว่าในความหนาแน่นมากกว่า 0.48 ต้น ตรม<sup>-1</sup> และเมื่ออ้อยใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยว พบว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ค่า CCS มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นพืช อ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นระหว่าง 0.32 ถึง 0.73 ต้นต่อตรม มีค่า CCS สูงกว่าอ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นระหว่าง 0.90 ถึง 2.56 ต้น ตรม<sup>-1</sup> และในช่วงหลังจากระยะที่อ้อยมีจำนวนหน่อคงที่ (229 วัน) พบว่าอ้อยพันธุ์ K มีค่า CCS ที่สูงกว่าพันธุ์ U แต่ในช่วงที่เก็บเกี่ยวพบว่าอ้อยพันธุ์ U มีค่า CCS สูงกว่าอ้อยพันธุ์ K

ตารางที่ 78: ค่า CCS ของอ้อย พันธุ์ K และพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ตันต่อตรม) | ค่า CCS ในแต่ละความหนาแน่น |      |      |       |       |          |      |      |       |       |
|----------------------------|----------------------------|------|------|-------|-------|----------|------|------|-------|-------|
|                            | พันธุ์ K                   |      |      |       |       | พันธุ์ U |      |      |       |       |
|                            | 194                        | 229  | 257  | 284   | 319   | 194      | 229  | 257  | 284   | 319   |
| อายุอ้อย→                  |                            |      |      |       |       |          |      |      |       |       |
| 0.32                       | 3.02                       | 3.26 | 9.21 | 8.29  | 14.23 | 0.03     | 6.58 | 8.70 | 12.55 | 17.47 |
| 0.39                       | 1.04                       | 4.62 | 9.46 | 8.67  | 14.64 | -1.27    | 5.60 | 7.64 | 11.72 | 17.00 |
| 0.48                       | 0.95                       | 3.25 | 8.70 | 9.79  | 15.11 | 0.09     | 2.73 | 6.01 | 11.57 | 16.12 |
| 0.59                       | -0.48                      | 4.03 | 8.40 | 9.85  | 14.13 | -0.75    | 1.85 | 5.38 | 10.20 | 16.57 |
| 0.73                       | -0.21                      | 4.98 | 7.02 | 10.38 | 14.01 | 0.61     | 2.04 | 4.22 | 8.85  | 16.38 |
| 0.90                       | 1.12                       | 3.95 | 7.59 | 10.70 | 13.92 | -0.56    | 5.94 | 4.15 | 7.85  | 15.63 |
| 1.12                       | 0.20                       | 3.72 | 4.89 | 10.21 | 13.89 | -0.34    | 4.38 | 4.10 | 9.06  | 16.37 |
| 1.39                       | 0.81                       | 4.03 | 6.08 | 9.93  | 13.83 | 0.74     | 4.14 | 3.79 | 9.11  | 16.00 |
| 1.67                       | 2.30                       | 4.38 | 7.07 | 10.77 | 12.11 | 0.34     | 3.31 | 3.35 | 9.08  | 14.65 |
| 2.13                       | 0.79                       | 4.99 | 7.69 | 8.44  | 14.03 | 0.46     | 4.73 | 5.52 |       | 15.63 |
| 2.56                       | 1.78                       | 5.89 | 6.50 | 9.02  | 14.09 | 0.70     | 2.82 | 6.22 | 10.55 | 13.09 |
| 3.23                       | 0.82                       | 6.23 | 8.12 | 8.45  | 14.84 | 1.93     | 4.53 | 5.54 | 10.13 | 14.97 |

พบว่าในระยะแรกของการเจริญเติบโต ค่า CCS ในอ้อยทั้งสองพันธุ์ไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น เมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น ค่า CCS มีการเพิ่มขึ้นและสัมพันธ์กับความหนาแน่น ในความหนาแน่นที่ต่ำ ค่า CCS มีค่าสูงกว่าอ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นที่มากกว่า และในช่วงหลังจากระยะที่อ้อยมีจำนวนหน่อคงที่ (229 วัน) พบว่าอ้อยพันธุ์ K มีค่า CCS สูงกว่าพันธุ์ U แต่ในช่วงเก็บเกี่ยวพบว่าอ้อยพันธุ์ U มีแนวโน้มที่ค่า CCS สูงกว่าอ้อยพันธุ์ K

พบว่า ค่า %Polarity, %Brix, และ %Fiber มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น พบว่าในความหนาแน่นที่ต่ำมากๆ (0.32-0.48 ตันต่อตารางเมตร) ค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าในความหนาแน่นที่สูงกว่า และเมื่ออ้อยใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยว หรือระยะสุกแก่ พบว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 79: ค่า brix ของอ้อย พันธุ์ K และพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ตันต่อตรม) | % บริกซ์ |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
|----------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
|                            | พันธุ์ K |       |       |       |       | พันธุ์ U |       |       |       |       |
|                            | 194      | 229   | 257   | 284   | 319   | 194      | 229   | 257   | 284   | 319   |
| อายุอ้อย→                  |          |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
| 0.32                       | 11.62    | 12.26 | 15.68 | 16.84 | 20.76 | 8.58     | 14.22 | 14.70 | 18.78 | 23.24 |
| 0.39                       | 9.56     | 12.80 | 15.74 | 15.74 | 21.36 | 7.14     | 12.98 | 13.84 | 18.06 | 22.94 |
| 0.48                       | 9.46     | 11.74 | 15.44 | 17.10 | 21.44 | 7.72     | 11.26 | 12.72 | 18.04 | 21.70 |
| 0.59                       | 8.42     | 12.30 | 15.52 | 17.26 | 20.56 | 7.46     | 10.80 | 12.46 | 17.48 | 22.10 |
| 0.73                       | 8.72     | 13.10 | 14.40 | 18.02 | 20.90 | 8.42     | 10.64 | 11.42 | 16.52 | 22.28 |
| 0.90                       | 9.61     | 12.24 | 14.64 | 18.22 | 20.50 | 8.18     | 13.30 | 11.66 | 14.62 | 21.48 |
| 1.12                       | 8.78     | 11.74 | 12.00 | 17.66 | 21.20 | 7.78     | 12.20 | 10.90 | 15.92 | 22.44 |
| 1.39                       | 9.44     | 12.56 | 13.08 | 17.44 | 21.46 | 8.98     | 11.88 | 10.76 | 16.24 | 22.32 |
| 1.67                       | 10.46    | 13.04 | 13.86 | 18.10 | 20.78 | 8.66     | 11.00 | 10.56 | 16.52 | 20.9  |
| 2.13                       | 9.76     | 13.72 | 14.14 | 15.86 | 21.56 | 8.64     | 12.16 | 12.06 | na    | 21.48 |
| 2.56                       | 10.58    | 14.24 | 13.58 | 16.34 | 21.92 | 8.26     | 11.04 | 12.50 | 17.58 | 19.48 |
| 3.23                       | 9.90     | 14.64 | 14.94 | 16.04 | 21.72 | 9.58     | 12.00 | 12.28 | 17.40 | 21.42 |

ตารางที่ 80: ค่า polarity ของอ้อยพันธุ์ K และพันธุ์ U-Thong 2 สถานีแม่เหิยะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ต้นต่อตรม)<br>อายุอ้อย→ | % โพลาไรตี้ |      |       |       |       |          |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|-------------|------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
|                                         | พันธุ์ K    |      |       |       |       | พันธุ์ U |       |       |       |       |
|                                         | 194         | 229  | 257   | 284   | 319   | 194      | 229   | 257   | 284   | 319   |
| 0.32                                    | 6.39        | 6.73 | 12.51 | 13.23 | 18.38 | 2.95     | 10.09 | 11.72 | 16.23 | 21.88 |
| 0.39                                    | 4.06        | 7.97 | 12.62 | 12.24 | 19.10 | 1.46     | 8.74  | 10.72 | 15.55 | 21.48 |
| 0.48                                    | 3.96        | 6.55 | 12.11 | 13.65 | 19.29 | 2.70     | 5.97  | 8.93  | 15.39 | 20.45 |
| 0.59                                    | 2.50        | 7.37 | 11.78 | 13.79 | 18.34 | 1.96     | 5.12  | 8.33  | 14.20 | 20.85 |
| 0.73                                    | 2.81        | 8.44 | 10.25 | 14.52 | 18.38 | 3.34     | 5.24  | 7.12  | 12.51 | 20.83 |
| 0.90                                    | 4.16        | 7.25 | 10.78 | 14.83 | 18.28 | 2.36     | 9.21  | 7.14  | 10.98 | 19.88 |
| 1.12                                    | 3.15        | 6.89 | 7.82  | 14.03 | 18.45 | 2.39     | 7.55  | 6.85  | 12.48 | 20.82 |
| 1.39                                    | 3.69        | 7.41 | 9.10  | 13.94 | 18.33 | 3.62     | 7.27  | 6.56  | 12.85 | 20.41 |
| 1.67                                    | 5.32        | 7.88 | 10.12 | 14.83 | 16.89 | 3.21     | 6.34  | 6.16  | 12.89 | 18.75 |
| 2.13                                    | 3.94        | 8.54 | 10.67 | 12.16 | 18.45 | 3.30     | 7.83  | 8.33  | na    | 19.35 |
| 2.56                                    | 4.97        | 9.47 | 9.60  | 12.75 | 18.68 | 3.35     | 5.96  | 9.01  | 14.47 | 17.26 |
| 3.23                                    | 4.01        | 9.87 | 11.33 | 12.19 | 18.87 | 4.75     | 7.61  | 8.42  | 14.23 | 19.29 |

ตารางที่ 81: ค่า fiber ของอ้อยพันธุ์ K และพันธุ์ U-Thong 2 สถานีแม่เหิยะ 2539

| ความหนาแน่น<br>(ต้นต่อตรม)<br>อายุอ้อย→ | %ไฟเบอร์ |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
|                                         | พันธุ์ K |       |       |       |       | พันธุ์ U |       |       |       |       |
|                                         | 194      | 229   | 257   | 284   | 319   | 194      | 229   | 257   | 284   | 319   |
| 0.32                                    | 9.40     | 9.70  | 9.10  | 12.30 | 11.00 | 10.00    | 11.20 | 8.20  | 9.70  | 11.50 |
| 0.39                                    | 7.90     | 9.50  | 7.80  | 10.80 | 12.40 | 8.10     | 8.30  | 10.00 | 11.80 | 12.00 |
| 0.48                                    | 8.50     | 9.90  | 10.10 | 11.50 | 10.80 | 7.70     | 9.50  | 7.50  | 11.50 | 12.70 |
| 0.59                                    | 8.60     | 10.20 | 8.50  | 11.90 | 11.80 | 8.80     | 8.80  | 7.30  | 12.50 | 12.00 |
| 0.73                                    | 7.40     | 11.40 | 7.10  | 12.40 | 12.00 | 7.60     | 10.50 | 7.60  | 11.10 | 12.50 |
| 0.90                                    | 9.20     | 9.30  | 7.30  | 12.20 | 12.70 | 7.60     | 10.20 | 7.40  | 10.60 | 12.00 |
| 1.12                                    | 8.70     | 9.00  | 7.30  | 9.90  | 12.50 | 8.00     | 8.70  | 7.50  | 9.20  | 12.10 |
| 1.39                                    | 8.00     | 8.80  | 7.50  | 12.20 | 11.20 | 6.40     | 9.20  | 7.50  | 11.90 | 11.60 |
| 1.67                                    | 7.30     | 9.90  | 7.40  | 12.10 | 12.70 | 6.90     | 9.70  | 7.60  | 11.50 | 10.90 |
| 2.13                                    | 8.90     | 8.70  | 7.00  | 11.60 | 10.60 | 7.30     | 9.20  | 7.50  | na    | 8.10  |
| 2.56                                    | 7.70     | 9.70  | 7.60  | 11.20 | 11.10 | 8.00     | 9.20  | 7.30  | 12.00 | 12.40 |
| 3.23                                    | 8.70     | 9.70  | 8.00  | 11.10 | 8.50  | 8.10     | 8.90  | 7.40  | 12.20 | 11.70 |

## สรุป

อ้อยทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อความหนาแน่นที่ต่างกันแต่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ ในระยะแรกของการพัฒนาการ (1-120 วัน) ความหนาแน่นไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของอ้อยทั้งสองพันธุ์ หลังจากนั้นอ้อยทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อความหนาแน่นในด้านการสะสมน้ำหนัก ต้นสดและต้นแห้ง น้ำหนักใบแห้ง กาบใบแห้ง จำนวนหน่อต่อตารางเมตร ความสูง ดัชนีพื้นที่ใบ และองค์ประกอบของค่า CCS อย่างชัดเจน

ผลผลิตของอ้อยในด้านน้ำหนักอ้อยสด และคุณภาพความหวาน สามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ความหนาแน่นที่เหมาะสม ที่ไม่สูงจนเกินไปนัก และยังพบอีกว่าอ้อยพันธุ์ U มีการพัฒนาการและตอบสนองต่อความหนาแน่นที่ดี และเร็วกว่าอ้อยพันธุ์ K

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

ชนิดของเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียที่ติดมากับ  
ท่อนพันธุ์อ้อย

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ สมเกียรติ สุวรรณศิริ

**อ้อย**เป็นพืชที่มีโอกาสได้รับการเข้าทำลายด้วยโรคต่าง ๆ มากกว่า 40 ชนิดตลอดระยะเวลาของการเพาะปลูก (ตารางภาคผนวกที่ 1) สาเหตุหลักที่สำคัญประการหนึ่งของการเกิดโรคอ้อยคือเชื้อที่ติดมากับท่อนพันธุ์อ้อย ซึ่งมีเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไวรัส เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เช่น โรคแสดดำ (smut) โรคใบขาว (white leaf) โรคใบด่าง (mosaic) และโรคตอแกระแกรน (ratoon stunting) เป็นต้น ดังนั้นการวินิจฉัยชนิดของเชื้อบนท่อนพันธุ์อ้อยที่ทำให้เกิดโรคได้เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการเลือกมาตรการที่เหมาะสมในการป้องกันกำจัดโรคเหล่านี้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการวินิจฉัยชนิดของเชื้อรา และเชื้อแบคทีเรียที่ติดมากับท่อนพันธุ์อ้อยสองพันธุ์คือ K และ U

## อุปกรณ์และวิธีการ

นำพันธุ์อ้อยที่ได้จากศูนย์วิจัยพืชไร่นาพรหมบุรีสองพันธุ์คือ พันธุ์ K และ U มาล้างด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว และเช็ดด้วยสารละลาย Clorox 10% จากนั้นทำการตัดแยกเนื้อเยื่อส่วนโคน ตา เปลือก และกาบใบ เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส นำชิ้นเนื้อเยื่ออ้อยเหล่านี้มาแช่ในสารละลาย Clorox 10% 5 นาที แล้วนำไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ณ อุณหภูมิห้อง เพื่อตรวจดูชนิดของเชื้อรา และ อาหารเลี้ยงเชื้อ 523 ใน incubator ที่อุณหภูมิ 32 °C เพื่อตรวจดูชนิดของเชื้อแบคทีเรีย

หลังจากการเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิของอ้อยได้ 24 ชั่วโมง ได้ทำการสังเกตเชื้อที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้ออย่างต่อเนื่อง เมื่อพบว่ามีเชื้อเกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ถ้าเป็นเชื้อราก็จะทำการวินิจฉัยโดยการยีสเชื้อมาวางบน slide ที่มีหยดของ lectophenol แล้วตรวจชนิดของเชื้อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ส่วนเชื้อแบคทีเรียที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อจะนำไปย้อมสี gram และ flagella ก่อนที่จะนำไปตรวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์

## ผลการศึกษา

### เชื้อรา

เชื้อราที่เกิดขึ้นเป็นเชื้อรา *Fusarium* sp. พบในส่วนของเนื้อเยื่อส่วนโคน ตา เปลือก และ กาบ-ใบ ของทั้งสองพันธุ์ เชื้อรา *Fusarium* sp เป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวเฉา (Red rot-wilt, ภาพที่ 1) ซึ่งทำให้อ้อยมีอาการเหี่ยวเฉาปลิ้น ยืนต้นแห้งตาย ใบ กาบใบ และลำต้นจะเป็นสีน้ำตาลแห้ง ภายในปล้องเน่าละ เนื้ออ้อยข้ามน้ำตาลปนม่วง มีจุดสีแดงปะปนเล็กน้อย และลำต้นจะกลวง เป็นจุด ๆ ภายในลำต้นมีเชื้อราฟูสีขาวปนเทา ภาพของเชื้อรา *Fusarium* sp ที่เลี้ยงได้แสดงในภาพที่ 2 และ 3

เชื้อราที่พบอีกชนิดหนึ่งซึ่งพบในส่วนของพันธุ์ K ได้แก่ *Cladosporium* sp. แต่เชื้อราชนิดนี้ยังไม่พบว่าเป็นสาเหตุของโรคอ้อย

### เชื้อแบคทีเรีย

เชื้อแบคทีเรียที่พบบนอาหาร 523 พบว่ามีสองชนิดคือ *Xanthomonas* sp. และ *Erwinia* sp. เชื้อ *Xanthomonas* sp. (ภาพที่ 4) พบในส่วนของตาและเปลือกของพันธุ์ U และพบในเฉพาะส่วนเปลือกของพันธุ์ K

เชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas* sp. เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ ตาม species คือ โรคใบลวก (Leaf scald, ภาพที่ 5) ซึ่งเกิดจากเชื้อ *Xanthomonas albilineans* มีลักษณะอาการใบเหลืองปนขาว และเหี่ยวแห้งงุ้มเข้าหากัน มีเส้นขีดขาวยาวจากขอบใบเฉียงเข้าหาเส้นกลางใบไปจนถึงโคนใบ-อ้อยมีอาการแห้งตายทั้งกอโดยเริ่มแห้งมาจากยอด ตา-อ้อยงอกเป็นยอดอ่อนบนลำต้น นอกจากนั้นอาจพบจุด หรือขีดแดงสั้น ๆ บริเวณข้อภายในลำต้น

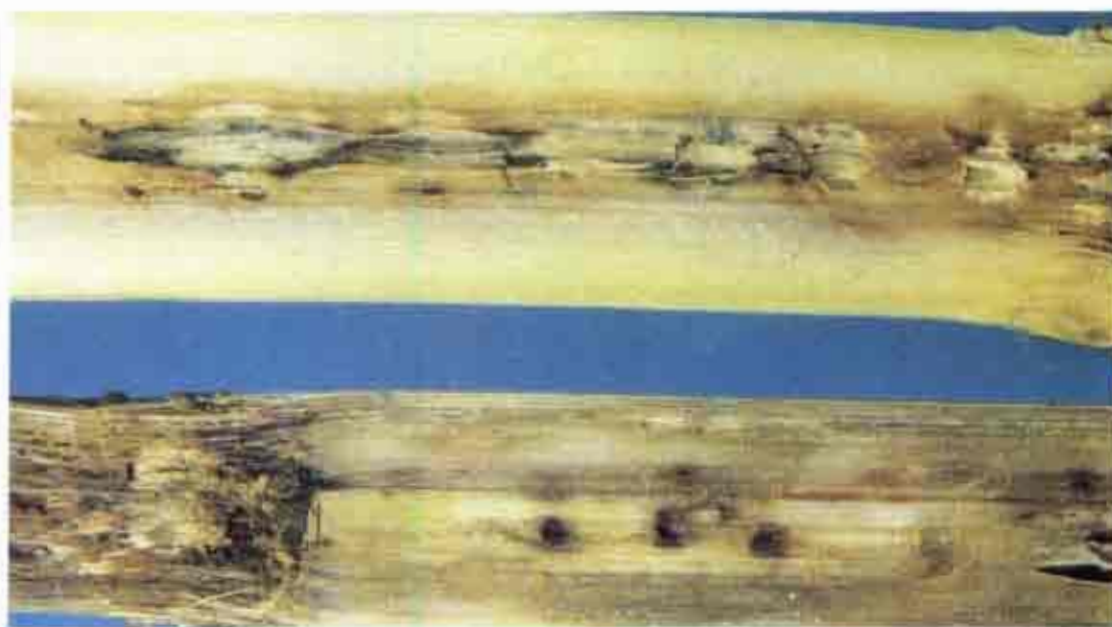
โรคใบขีดแดงและยอดเน่า (Red stripe and top rot, ภาพที่ 6) เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas rubrilineans* อาการมีเส้นสีแดงเป็นขีดยาวชัด ตามความยาวของใบอ้อย หรือเกิดอาการยอดเน่าในอ้อยบางพันธุ์โดยไม่มีแผลบนใบเลย หรืออ้อยบางพันธุ์ก็อาจแสดงอาการบนใบ และยอดเน่าพร้อม ๆ กัน ใบยอดเน่านี้เมื่อถึงจะหลุด และมีกลิ่นเหม็น ส่วนภายในปล้องจะเริ่มช้ำ ถ้าแผลแก่จะเป็นสีน้ำตาลหรือแดง ปล้องจะกลวง ขอบแผลบริเวณที่ติดกับเปลือกอ้อยมีสีแดงเข้ม ตาอ้อยด้านข้างก็อาจงอกเป็นหน่อบนต้น

โรคกัมโมซิส (Gumosis) เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas vasculorum* โรคนี้พบว่าไม่มีผลเสียหายต่อผลผลิตของอ้อย อย่างไรก็ตาม จากการวินิจฉัยไม่สามารถบอกถึง species ของเชื้อที่พบในอ้อยได้ ดังนั้นเชื้อ *Xanthomonas* sp. อาจเป็น species ใด species หนึ่งดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ สำหรับเชื้อ *Erwinia* sp. ที่พบนั้นพบในส่วนเปลือกของทั้งพันธุ์ U และ K และพบในส่วนตาของพันธุ์ U เท่านั้น สำหรับแบคทีเรียชนิดนี้ไม่พบว่าเป็นสาเหตุของโรคอ้อย

### สรุป

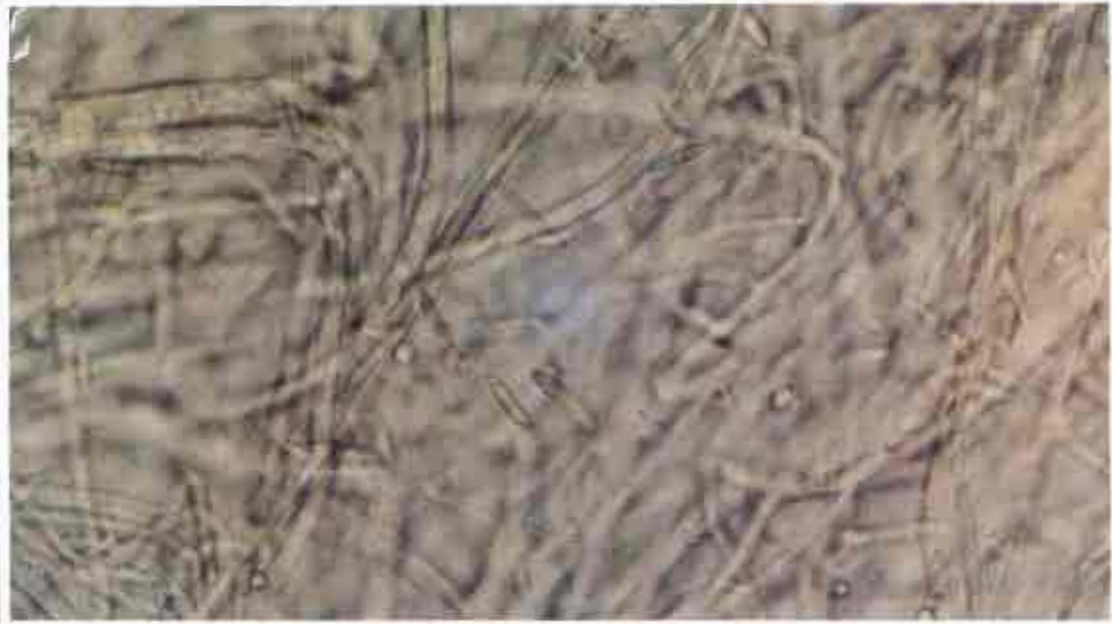
ท่อนพันธุ์อ้อยทั้งสองพันธุ์คือ K และ U มีเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรค โดยเฉพาะโรคที่เกิดได้ในระยะเริ่มปลูก คือโรคใบลวก โรคยอดเน่า และโรคเหี่ยวเน่า นอกจากนี้พบเชื้อไวรัสซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอ้อยอีกหลายโรคซึ่งไม่สามารถวินิจฉัยจากการศึกษาครั้งนี้ได้ ดังนั้นการเตรียมท่อนพันธุ์อ้อยที่แข็งแรงและปราศจากเชื้อ-โรคจึงเป็นวิธีป้องกันโรคเบื้องต้นตั้งแต่การเริ่มปลูกอ้อย

ภาพที่ 1 โรคเหี่ยวเน่า (red rot wilt) ของข้าว เกิดจากเชื้อ *Fusarium* sp. (กรมวิชาการเกษตร 2528)



ภาพที่ 2: กลุ่มเส้นใยของเชื้อรา *Fusarium* sp. บนอาหาร PDA



ภาพที่ 3: กลุ่ม Mycelium และ spore ของเชื้อ *Fusarium*-sp

ภาพที่ 4: ลักษณะเชื้อแบคทีเรียที่พบบนท่อนพันธุ์อ้อย



ภาพที่ 5. โรคใบตกร (leaf scald) ของข้าว เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas albilineans* (กรมวิชาการเกษตร 2528)



ภาพที่ 6. โรคใบขีดแดงและยอดเน่า (red stripe and top rot) ของข้าว เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas rubrilancea* (กรมวิชาการเกษตร 2528).

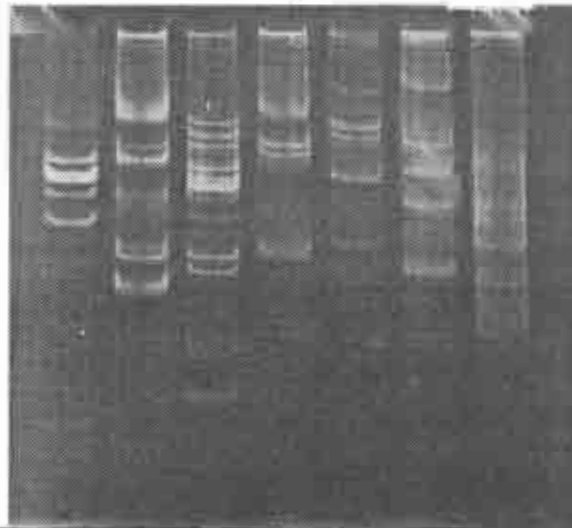


รูปที่ 24:

RAPD ของ genomic DNA จากเชื้อย 1 สายพันธุ์ ที่ถูกเพิ่มปริมาณด้วยเทคนิค PCR โดยใช้ 10-base primer จำนวน 6 ชนิด

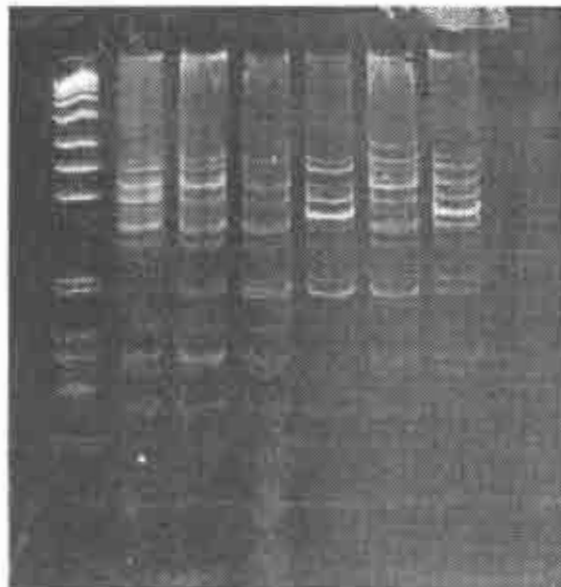
แถวที่ 1 RAPD ของ primer DNA หนึ่งแถวที่ใช้เป็น positive control strain

แถวที่ 2-7: RAPD ของ unknown เชื้อย ที่เกิดจากภาวที่ใช้ primer ที่แตกต่างกัน 6 ชนิด



รูปที่ 25:

เปรียบเทียบแบบแผน RAPD เชื้อยจำนวน 6 ตัวอย่างจากเชื้อย 2 สายพันธุ์ โดยใช้ 10 base primer 1 ชนิด





ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

PCR-RAPD: A genetic tool for sugarcane  
research

วัลลา ตีรพงษ์พิชญ์ และ อีรดา หวังสมบูรณ์

ภาควิชาโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ปัจจุบัน**ได้มีการนำเทคนิคใหม่ ๆ เช่น การเตรียม DNA เพื่อการศึกษา การเพิ่มปริมาณชิ้น DNA ในหลอดแก้ว การศึกษาแบบแผน (profiles) และการศึกษาลำดับของเบส การตัดต่อและย้ายตำแหน่งของยีนด้วยเทคนิค PCR-RAPD เป็นต้น เทคนิคเหล่านี้กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม และเป็นประโยชน์ในการศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิต (Hadrys et al, 1992; และ Williams et al, 1990) เทคนิคเดิมหรือการทำ DNA fingerprint และ molecular marker ของพืชนิยมใช้เทคนิค RFLP ซึ่งต้องเตรียม DNA เป็นปริมาณมากและใช้ restricted endonuclease มากกว่าหนึ่งชนิด เป็นเหตุให้ต้องใช้เวลานานและไม่สะดวก วิธีการใหม่ตามเทคนิคของ PCR ใช้ primer ที่มีลักษณะเป็น arbitrary primer ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณชิ้น DNA จากตำแหน่งต่าง ๆ บน chromosome พืช เทคนิคนี้รู้จักในวงการว่า RAPD (Williams et al, 1990) สามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างพืชชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ผลการเปรียบเทียบวิธีการ RAPD ทำให้ค้นพบ molecular markers ที่สามารถพัฒนาเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสายพันธุ์พืช ความต้านทานโรคของพืช (Dax et al, 1994; Hadrys et al, 1992; และ Klein-Lankhorst et al, 1991)

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เทคนิค PCR-RAPD ในอ้อยสองพันธุ์ สำหรับเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาหา molecular markers เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์อ้อย และการบรรยายความแตกต่างระหว่างพันธุ์อ้อยซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย

## อุปกรณ์และวิธีการ

เตรียม genomic DNA จากใบอ้อยที่ยังไม่คลี บดตัวอย่างใบให้ละเอียดด้วยไนโตรเจนเหลวโดยใช้ CTAB ตัวอย่าง PCR-RAPD เตรียมขึ้นจากสารละลาย 50 µl reaction ตามวิธีการของ Williams et al (1990) DNA ที่ได้จากการ amplify นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ RAPD ด้วย 1.3% agarose หรือ 5% T PAGE

## ผลการศึกษา

การเตรียม RAPD ของอ้อย พบว่า 10-base primers จำนวน 5 ใน 6 primers ที่แสดง RAPD ของอ้อย (รูปที่ 24) จากนั้นนำ primer หนึ่งชนิด มาเตรียม RAPD ของอ้อยทั้งสองพันธุ์ จำนวนหกตัวอย่าง ผลการเปรียบเทียบพบว่า primers ที่ใช้สามารถแสดง RAPD ที่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์อ้อย (รูปที่ 25) แบบแผนของ DNA ดังกล่าวมีทั้ง DNA fragments ที่มีความเหมือนและความแตกต่างที่จะนำไปพัฒนาใช้ในการศึกษาพันธุกรรมของอ้อยต่อไป (Silva et al, 1993)

Skorupska et al (1993) ใช้เทคนิคนี้ในการศึกษาลักษณะทางสรีระและทางเกษตรของถั่วเหลืองในสภาพ germplasm ได้สำเร็จ ในอ้อยควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อประโยชน์ในการแยกความแตกต่างระหว่างพันธุ์อ้อยในด้านพัฒนาการ (development) และ การเจริญเติบโต (growth)

ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย

---

การวิเคราะห์หาปริมาณซูโครส (sucrose) ใน  
น้ำอ้อย

วิทยา จงแก้ววัฒนา

**น้ำอ้อย**ที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของลำต้นอ้อยหนึ่งลำมีปริมาณซูโครสแตกต่างกัน ดังนั้นการทราบข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณซูโครสในส่วนต่าง ๆ ของต้นอ้อยเป็นข้อมูลหนึ่งในการตัดสินใจเพื่อดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้อง ซึ่งทำให้การประเมินผลการทดลอง มีพื้นฐานจากผลผลิตน้ำตาลอย่างแท้จริง องค์ประกอบของต้นอ้อย และผลการวิเคราะห์น้ำอ้อยที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของลำอ้อย ที่เรียกว่า millable cane เป็นส่วนของลำต้นอ้อยที่สามารถสกัดน้ำอ้อยได้ปริมาณมาก และมีปริมาณซูโครสมากที่สุด (ตารางที่ 82)

## ซูโครสในน้ำอ้อย

ซูโครสเป็นชนิดของน้ำตาลที่พบมากที่สุดคือน้ำอ้อย ซูโครสเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่เรียกว่า disaccharides เกิดจากการรวมกันของโมเลกุลสองชนิด คือ กลูโคส (glucose) และฟรุคโตส (fructose) อย่างละหนึ่งโมเลกุล กลูโคสและฟรุคโตสเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตชนิด monosaccharides

คาร์โบไฮเดรตทั้งสามชนิดนี้จะละลายน้ำได้ดีมาก ให้รสหวานซึ่งมีอันดับความหวาน (ตารางที่ 83) ซูโครสมีคุณสมบัติเป็น non-reducing sugar ซึ่งสามารถถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) หรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ invertase ให้ผลิตภัณฑ์เป็นกลูโคส และฟรุคโตสอย่างละหนึ่งโมเลกุล นอกจากนี้แล้วซูโครสยังหมุนระนาบของแสงโพลาไรซ์ได้อีกด้วย ซึ่งจากคุณสมบัตินี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้

ตารางที่ 84 แสดงองค์ประกอบชนิดต่าง ๆ ที่จะพบในน้ำอ้อย ซึ่งมีซูโครสเป็นองค์ประกอบหลัก รวมทั้งสารประกอบชนิดอื่นรวมอยู่ด้วยเป็นจำนวนมาก สารประกอบเหล่านี้จะเป็นสารปนเปื้อนที่มีผลกระทบต่อกระบวนการหุงซูโครสเป็นอย่างมาก

## วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณซูโครสในน้ำอ้อย

จะแบ่งการวิเคราะห์ซูโครสออกเป็น 2 วิธีการ คือ 1) การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ และ 2) การวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการทางเคมี โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีการดังนี้

### การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ

วิธีการนี้อาศัยคุณสมบัติของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่สามารถจะหมุนระนาบของแสงโพลาไรซ์ได้มากน้อยแตกต่างกัน น้ำตาลที่หมุนแสงไปทางขวาจะเรียกว่า d-sugar เช่น กลูโคส ส่วนน้ำตาลที่หมุนแสงไปทางซ้ายจะเรียกว่า l-sugar เช่น ฟรุคโตส เครื่องมือที่ใช้วัดการเบี่ยงเบนแสงเรียกว่า โพลาไรมิเตอร์ (polarimeter) การศึกษาเรื่องนี้เรียกว่า โพลาไรมิเตอร์ หน่วยเป็นองศา เรียกว่า observe rotation ใช้สัญลักษณ์ °C ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ระยะทางที่แสงผ่านสารละลาย (ความยาวของหลอดที่ใส่สารละลายน้ำตาล) ความยาวคลื่นแสง และอุณหภูมิ ปัจจัยดังกล่าวมีความสัมพันธ์ตามสมการ

ตารางที่ 82: องค์ประกอบของสารคาร์โบไฮเดรต ในส่วนต่าง ๆ ของต้นอ้อย

| Cane plant parts | % of Whole | Juice Extraction (%) | Juice Analyses (mg/ml) |                         |         |          |         |
|------------------|------------|----------------------|------------------------|-------------------------|---------|----------|---------|
|                  |            |                      | Starch                 | Soluble polysaccharides | Sucrose | Fructose | Glucose |
| Leaf blade       | 11.1       | 40.0                 | 0.30                   | 5.40                    | 7.72    | 3.78     | 6.78    |
| Leaf sheath      | 4.3        | 38.8                 | 0.00                   | 4.03                    | 14.20   | 3.33     | 6.92    |
| Leaf roll        | 2.0        | 48.2                 | 0.09                   | 5.88                    | 8.85    | 7.66     | 13.80   |
| Stem tip         | 1.6        | 47.8                 | 0.08                   | 5.80                    | 14.80   | 12.90    | 17.62   |
| Millable cane    |            |                      |                        |                         |         |          |         |
| 1 st 60 cm       | 14.0       | 69.3                 | 0.07                   | 1.81                    | 130.48  | 6.88     | 9.84    |
| 2 nd 60 cm       | 14.8       | 71.3                 | 0.06                   | 1.45                    | 164.88  | 8.38     | 6.08    |
| 3 rd 60 cm       | 17.8       | 73.6                 | 0.04                   | 1.47                    | 181.86  | 3.63     | 4.04    |
| 4 th 60 cm       | 19.5       | 71.1                 | 0.03                   | 1.30                    | 185.10  | 3.06     | 2.80    |
| Stubble          | 9.3        | 65.3                 | 0.07                   | 2.01                    | 162.50  | 3.01     | 5.94    |
| Roots            | 1.3        | 27.2                 | 0.00                   | 1.28                    | 8.76    | 1.25     | 2.50    |
| Dead leaves      | 4.3        | 37.1                 | 0.00                   | 5.42                    | 0.00    | 0.00     | 0.00    |

"Starch was determined tometrically: soluble polysaccharides were measured as the alcohol-insoluble reactants with phenol-sulfuric acid, and sugars were separated and measured by high-pressure liquid chromatography.

The entire root system was not used, only the part attached to the stubble as it came from the ground was tested.

ตารางที่ 83: ระดับความหวานของสารคาร์โบไฮเดรต

|              |         |          |     |           |     |
|--------------|---------|----------|-----|-----------|-----|
| Fructose     | 1.1-1.8 | Glycerol | 0.8 | Galactose | 0.6 |
| Sucrose      | 1.0     | Glucose  | 0.7 | Mannose   | 0.6 |
| Xylitol      | 1.0     | Mannitol | 0.6 | Maltose   | 0.4 |
| Invert sugar | 0.9     | Xylose   | 0.6 | Lactose   | 0.4 |

ตารางที่ 84: ส่วนประกอบของต้นอ้อยและน้ำอ้อย

| ส่วนประกอบ                                | ร้อยละ (%)        |
|-------------------------------------------|-------------------|
| ลำอ้อยที่สามารถคั้นน้ำได้ (millable cane) |                   |
| Water                                     | 73-76             |
| Solids                                    | 24-27             |
| soluble solids                            | 10-18             |
| Fiber (dry)                               | 11-18             |
| องค์ประกอบของน้ำอ้อย                      | Soluble Solids(%) |
| Sugars                                    | 75 - 92           |
| Sucrose                                   | 70 - 88           |
| Glucose                                   | 2 - 4             |
| Fructose                                  | 2 - 4             |
| Salts                                     | 3.000 - 4.500     |
| Inorganic acids                           | 1.500 - 4.500     |
| Organic acids                             | 1.000 - 3.000     |
| Organic acids                             | 1.500 - 5.500     |
| Carboxylic acids                          | 1.100 - 3.000     |
| Amino acids                               | 0.500 - 2.500     |
| Other organic nonsugars                   |                   |
| Protein                                   | 0.500 - 0.800     |
| Starch                                    | 0.001 - 0.050     |
| Gums                                      | 0.300 - 0.080     |
| Waxes, fats, phosphatides                 | 0.050 - 0.150     |
| Other                                     | 3.000 - 5.000     |

$$(\alpha)^T_D = (\alpha)_{obs} / C \times L; \text{ โดยที่}$$

$$(\alpha)^T_D = \text{ค่า specific rotation ที่อุณหภูมิ T โดยใช้โซเดียมสเปกตรัม D-line เป็นแหล่งกำเนิดแสง}$$

$$(\alpha)_{obs} = \text{Optical rotation หรือ observe rotation}$$

$$C = \text{ความเข้มข้นของน้ำตาลในหน่วยกรัมต่อมิลลิลิตร}$$

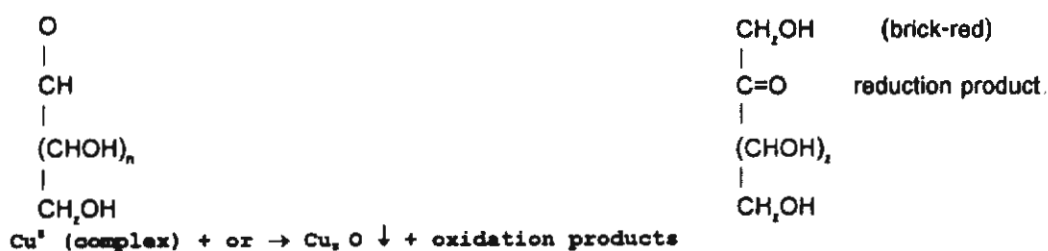
$$L = \text{ความยาวของหลอดที่ใส่สารละลายน้ำตาลในหน่วยเดซิเมตร}$$

ในทางปฏิบัติ การใช้เครื่องมือเป็นสิ่งที่ทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ได้ผลการวิเคราะห์ภายในเวลาไม่เกิน 30 วินาที ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมของโรงงานน้ำตาลถึงแม้ว่าจะมีราคาแพง รวมทั้งมีเครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยให้เครื่องมือเหล่านี้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และประการสำคัญการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก แต่มีจุดอ่อนหลายประการ เช่น การเคลื่อนย้ายเครื่องมือไปยังสถานที่ต่าง ๆ มีความยุ่งยากมาก เครื่องมือมีราคาแพง การควบคุมสภาพของเครื่องให้คงที่ได้ยาก เมื่อมีปัญหาต้องใช้ช่างผู้ชำนาญการ

### การวิเคราะห์ตามกระบวนการทางเคมี

มีวิธีการวิเคราะห์สองแบบ คือ 1) Gravimetric เป็นการชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ ปริมาณน้ำตาล และ 2) Volumetric เป็นการวัดปริมาตรน้ำตาลที่สามารถทำให้เกิดตะกอนสีแดงอิฐกับ สารละลายเฟห์ลิง (Fehling's solution)

วิธีการนี้มีพื้นฐานจากหลักการตามคุณสมบัติของน้ำตาลซึ่งเป็น reduce sugar เมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจะให้ตะกอนสีแดงอิฐ ปริมาณของตะกอนนี้สัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลดังแสดงในปฏิกิริยาข้างล่างนี้



การวิเคราะห์โดยสารเคมีมีจุดเด่นหลายประการ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ราคาไม่แพงมาก หาซื้อได้ง่าย มีความถูกต้องแม่นยำดีพอสมควร อุปกรณ์และเครื่องมือสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และไม่ค่อยมีปัญหาด้านสภาพการทดลอง ข้อด้อยของการวิเคราะห์โดยสารเคมี คือ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ ผู้ปฏิบัติการทดลองต้องได้รับการฝึกฝนจึงจะมั่นใจในผลการทดลอง และ ต้องใช้ความระมัดระวังในการคำนวณผล

**ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ  
การเจริญเติบโตของอ้อย**

---

**แบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0**

**อรรถชัย จินตะเวช ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ  
N.G. Inman-Bamber**

**แบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0** เป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาจากแบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตย่อย CANEGRO 3.0 ซึ่งมีพื้นฐานจากแบบจำลองธัญพืชในระบบ DSSAT 3.0 แบบจำลองย่อย CANEGRO 3.0 ได้รับการพัฒนาโดย Drs. Inman Bamber และ Greg Kiker มีความสามารถในการจำลองระบบ-การผลิตย่อยในระดับการผลิตที่ระดับที่สอง (ดูเรื่องแนวคิดและหลักการโดย อรรถชัย และ คณะ หน้า 2-19)

แม้ว่าแบบจำลอง ThaiCane 1.0 ยังต้องได้รับการพัฒนาในหลายประเด็น และต้องผ่านการทดสอบเพื่อให้เกิดความมั่นใจสำหรับการนำมาใช้งานประกอบการคาดการณ์ผลผลิตย่อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างน่าเชื่อถือ บรรณาธิการและผู้วิจัยเห็นสมควรรวบรวมหลักการสำคัญที่ผู้วิจัยมีความเข้าใจในระดับหนึ่ง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการค้นคว้าในอนาคตโดยเฉพาะในวงการวิจัยที่ใช้แนวคิดและวิธีการ modeling & simulation ทางเกษตร บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของโปรแกรม ThaiCane 1.0 ในด้านพัฒนาการ (development) และการเจริญเติบโต (growth) ของย่อย โดยมีพื้นฐานจากเอกสารวิชาการทั้งที่ได้มีการพิมพ์เผยแพร่ และเอกสารที่พิมพ์เพื่อการสนทนาภายในองค์กรต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้าร่วม

## โครงสร้างของ ThaiCane 1.0

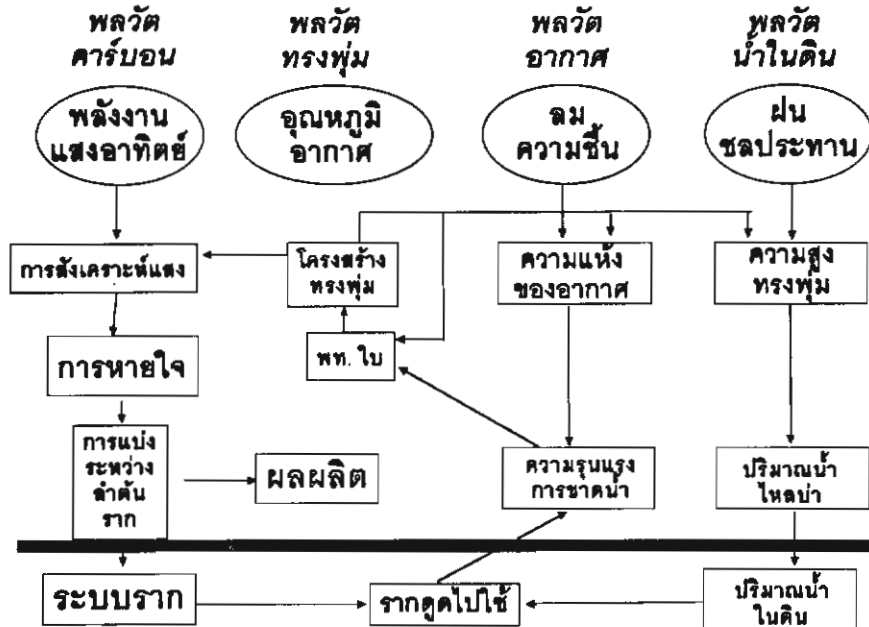
แบบจำลองย่อย ThaiCane รุ่น 1.0 เป็นแบบจำลองย่อยที่ได้รับการพัฒนาให้สามารถคาดการณ์การผลิตย่อยในระบบที่ 1 และ 2 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นของเอกสารนี้ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองกับย่อยสายพันธุ์เดียว (Inman-Bamber and Kiker, 1993) เป็นแบบจำลองย่อยที่ใช้ภาษา FORTRAN 77 ในการพัฒนา เป็นแบบจำลองย่อยที่มีพื้นฐานของ source codes ใกล้เคียงกับแบบจำลองข้าวโพด แบบจำลองข้าว และแบบจำลองธัญพืชอื่น (CERES models) โปรแกรมในรุ่นนี้มีส่วนประกอบย่อยสี่ส่วน (รูปที่ 26) ซึ่งทำให้โปรแกรมนี้สามารถคาดการณ์ 1) พลังงานของการสร้างคาร์บอนในกระบวนการเจริญเติบโต (carbon balance) 2) พัฒนาการของต้นย่อยตั้งแต่ปลูกถึงระยะเก็บเกี่ยว (canopy and phenology) 3) กระบวนการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างอากาศ-พืช-ดิน และ 4) พลังงานของน้ำบนดินและในดิน (water balance) โดยมีรายการโปรแกรมย่อย (subroutine) รวม 31 โปรแกรม (รูปที่ 27)

## กระบวนการสำคัญในแบบจำลอง ThaiCane 1.0

แบบจำลอง ThaiCane 1.0 แยกการคำนวณกระบวนการพัฒนาการ (phenology process) การเจริญเติบโต (growth) และพลังงานของน้ำในดินและในพืช (soil and crop water balance)

รูปที่ 26: กระบวนการและองค์ประกอบของแบบจำลอง ThaiCane.

(Source: Inman-Bamber, 1994)



รูปที่ 27: โปรแกรมย่อยในแบบจำลอง CANEGRO ต้นแบบของแบบจำลองย่อย ThaiCane

```

GETARG
ERROR
IPIBS      readin IBSNAT30.INP file ----- SEASONAL LOOP
IPECO

      IPPARM
      IPPROG
SOILSI
      INSEQ
PROGRI
CANINT (cane canopy)
YR_DOY -----BEGIN DAILY LOOP
WEATHR
SOILTI
SOILNI
NBAL
SOLT
CWATBAL (NTRANS not included)
AULFLT (automatic planting)

PHENOL
CGROSUB
      CGROSUB(XLAT)
AUTHAR
      OUTPUT ->OPDAY ->OPHARV -----END DAILY LOOP
      ->OPDPS
      OPDONE (CLOSE ALL FILES)
  
```

### กระบวนการพัฒนาการของพืช (crop phenology)

พัฒนาการของพืช (crop phenology) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (morphology) สถานะภาพ (stage) ของพืช เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ย้อนกลับไม่ได้ แบบจำลองอ้อยได้แบ่งระยะพัฒนาการของกออ้อยออกเป็นเก้าระยะ (ตารางที่ 85) และมี source code อยู่ใน subroutine PHENOL.FOR ผลการศึกษาเรื่องพัฒนาการของอ้อยภายใต้กิจกรรมของโครงการโดย บุญมี ศิริ และ คณะ รวมทั้งวิทยานิพนธ์ปริญญาโทโดย อ้อยทิน จันทรเมือง จะช่วยให้คณะผู้วิจัยพัฒนา phenology map ของอ้อยที่ใช้ในประเทศไทยได้ดีขึ้น และสามารถนำไปปรับปรุงแบบจำลองเพื่อการคาดการณ์ระยะต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 85: พัฒนาการของอ้อยที่มีการกำหนดในแบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0

| รหัส | ความหมาย                                     |
|------|----------------------------------------------|
| 7    | วันปลูก                                      |
| 8    | วันงอก                                       |
| 9    | วันที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของต้นอ้อยโผล่พ้นผิวดิน |
| 1    | วันที่ใบที่ 14 แผ่เต็มที่                    |
| 2    | ระยะแตกกอ และลำต้น                           |
| 3    | ใบคลุมพื้นที่ร้อยละ 70                       |
| 4    | ระยะที่มีจำนวนหน่อสูงสุด                     |
| 5    | ระยะที่มีจำนวนหน่อคงที่                      |
| 5.1  | ระยะแทงช่อดอก (panicle initiation)           |
| 5.2  | ระยะช่อดอกโผล่ (panicle emergence)           |
| 6    | ระยะเจริญเต็มที่                             |

ในแต่ละวัน ThaiCane 1.0 คำนวณค่าอุณหภูมิสะสมรายวัน DTTi ตามสมการข้างล่างนี้

$$DTTi = TEMPMi - TBASE$$

TEMPMi คือค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวัน และ TBASE ค่าอุณหภูมิพื้นฐานสำหรับพัฒนาการของอ้อย ซึ่ง Inman-Bamber และ Kiker แนะนำให้ใช้ 10 °C ในกรณีที่ TEMPMi น้อยกว่า TBASE แบบจำลองให้ค่า DTTi เป็น 0.0 จากนั้นแบบจำลองจะรวมค่าอุณหภูมิสะสมไว้ที่ SUMDDT ซึ่งจะเป็นตัวแปรที่ใช้ตลอดการคำนวณพัฒนาการของอ้อย

$$SUMDDT = SUMDDT + DTTi$$

จากนั้นแบบจำลองคำนวณค่าความยาววัน (day length) ซึ่งมีผลต่อการออกดอกของอ้อยบางพันธุ์ จากสมการ

```

DEC = 0.4093 * SIN(0.0172 * (DOY - 82.2))
DLV = ((-S1 * SIN(DEC) + 0.1047) / (C1 * COS(DEC)))
DLV = AMAX1 (DLV, -0.87)
TWILEN = 7.639 * ACOS(DLV)

```

คำนวณมุมดวงอาทิตย์ (sun declination: DEC) ในแต่ละวัน โดยยึดวัน vernal equinox เป็นหลักของวงโคจร  $0.4093 = 23.45$  องศา แปลงเป็น radian โดยคูณกับ  $\pi/180$  และค่า  $0.0172$  เป็นค่าส่วนของวงโคจรของโลกในแต่ละวันคือ  $2\pi/365$  S1 คือค่า sin ของมุม latitude เป็น radian  $= \sin(\text{LAT} * 0.01745)$  และ C1 คือค่า cos ของมุม latitude เป็น radian  $= \cos(\text{LAT} * 0.01745)$  และ  $0.1047$  เป็นค่ามุมดวงอาทิตย์ 6 องศา และแปลงให้เป็น radian ค่า  $7.639$  คือ  $24/\pi$  และ  $\text{ACOS(DLV)} = \text{ARCCOS(DLV)} =$  มุมระหว่างดวงอาทิตย์ขึ้นและดวงอาทิตย์ตกในวันนั้น ๆ

ค่าเริ่มต้นของตัวแปรบางตัวในการคำนวณพัฒนาการของช้อย ได้แก่

|        |                                 |                                                                                 |
|--------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| DTTPI  | = 1526                          | อ่านจากแฟ้ม SCCAN950.CUL หมายถึงจำนวน GDD ที่ต้องการเพื่อเปลี่ยนระยะ P1 เป็น P2 |
| P1     | = 8500                          | อ่านจากแฟ้ม SCCAN950.CUL                                                        |
| P9     | = 200 + (10 * SDEPTH)           | คำนวณใน PHASEI.FOR                                                              |
| SDEPTH | = RTDEP = RTDEP + (0.15 * DTTi) | คำนวณใน PHASEI.FOR                                                              |

## ระยะ 7: วันปลูก

แบบจำลองให้ค่าระยะพัฒนาการเริ่มที่ 7.0 และเก็บค่าไว้ที่ตัวแปร ISTAGE จากนั้นแบบจำลองอ่านค่าวันปลูกจากแฟ้มจัดการ (FILEX) และทำการตรวจสอบว่าความลึกของการปลูกช้อย (SDEPTH) ลึกกว่าชั้นดิน (CUMDEP) หรือไม่ จากสมการ

$$SDEPTH < CUMDEP$$

ถ้าจริง แบบจำลองให้ค่า ISTAGE = 8.0 และพร้อมที่จะตรวจสอบวันงอกในระยะถัดไป

## ระยะ 8: วันงอก

ISTAGE = 8.0 แบบจำลองตรวจสอบความชื้นดิน (SWSD) ของชั้นดินที่มีท่อนช้อยว่ามีความชื้นมากกว่าความชื้นต่ำสุดหรือไม่และเพียงพอต่อความสามารถในการไถ่ฟื้นผิวดินของตาช้อยหรือไม่ และตาช้อยจะต้องมี

ส่วนของพืชสวนใดส่วนหนึ่งไหลผ่านผิวดินภายในเวลา 40 วัน ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าจะมีการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกลไกสำคัญในสภาพของระบบการผลิตของประเทศไทยต่อไป

### ระยะ 9: วันที่สวนใดส่วนหนึ่งของต้นอ้อยไหลผ่านผิวดิน

ISTAGE = 9.0 แบบจำลองคำนวณวันที่สวนใดส่วนหนึ่งของอ้อยจะปรากฏเหนือผิวดิน ซึ่งคำนวณโดยมีพื้นฐานจากค่าอุณหภูมิสะสม (SUMDTT) เมื่อ SUMDTT มีค่ามากกว่า P9 ตามสมการ

$$\text{SUMDTT} > P9$$

แบบจำลองจะคำนวณค่าระยะเวลาที่ใช้เพื่อไหลผ่านผิวดิน

$$\text{RTDEP} = \text{RTDEP} + (0.15 * \text{DTTi})$$

### ระยะ 1: วันที่ใบที่ 14 แผ่เต็มที่

ISTAGE = 1.0  
ระยะนี้่อยเริ่มสร้างใบจริง (มีสีเขียว) ซึ่งมีระยะเวลาเท่ากับอุณหภูมิสะสม DTTPI ของแต่ละพันธุ์ตามสมการ

$$\begin{aligned}\text{CUMDTT} &> \text{DTTPI} \\ \text{XSTAGE} &= 2 * \text{SUMDTT}/P1\end{aligned}$$

### ระยะ 2: ระยะแตกกอ และเริ่มสร้างลำต้น

ISTAGE = 2.0  
XSTAGE = 2 + SIND  
และจะตรวจสอบว่าเริ่มมีการสะสมน้ำหนักลำต้นหรือไม่

$$\text{STKDM} > 0.0$$

### ระยะ 3: ใบคลุมพื้นที่ร้อยละ 70

ISTAGE = 3.0  
XSTAGE = 3.0 + (2.0 \* SUMDTT)/CUMDTT  
ตรวจสอบว่าค่าพื้นที่ใบมีมากกว่าร้อยละ 70 หรือไม่

$$\text{LI} > 0.70$$

### ระยะ 4: ระยะที่มีจำนวนหน่อสูงสุด

ISTAGE = 4.0  
ตรวจสอบว่าค่าอุณหภูมิสะสมมีมากกว่า P4 หรือไม่

$$\begin{aligned} \text{SUMDTT} &> P4 \\ \text{XSTAGE} &= (\text{SUMDTT}/\text{CUMDTT}) + 4.0 \end{aligned}$$

### ระยะ 5: ระยะที่มีจำนวนหน่อคงที่

$$\text{ISTAGE} = 5.0$$

ตรวจสอบว่าค่าพื้นที่ใบมีมากกว่าร้อยละ 70 หรือไม่

$$\begin{aligned} \text{SUMDTT} &> P4 \\ \text{XSTAGE} &= 4.5 + (5.5 * \text{SUMDTT})/\text{CUMDTT} \end{aligned}$$

### ระยะ 5.1: ระยะแทงช่อดอก (panicle initiation)

$$\text{ISTAGE} = 5.0$$

แบบจำลองอัลย ThaiCane 1.0 สามารถคาดการณ์การออกดอกของอ้อยสองสายพันธุ์ที่ทำการทดลองอยู่ได้อย่างน่าพอใจ แต่เนื่องจากคณะผู้วิจัยพบว่าอ้อยพันธุ์ U-Thong 2 และ K 84-200 ที่ทำการทดลองในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - พฤศจิกายน 2538 มีการออกดอกในระหว่างเดือนพฤศจิกายน และ ธันวาคม 2538 และ 2539 ตามลำดับ ผู้วิจัยจะดำเนินการให้แบบจำลองอัลย ThaiCane 1.0 สามารถคาดการณ์การออกดอกของอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย โดยอาจจะแทรกเข้าไปในระหว่างพัฒนาการระยะที่ 5 และ 6 (ตารางที่ 86) โดยใช้ source code ตามตารางที่ 87

### ระยะ 5.2: ระยะช่อดอกโผล่ (panicle emergence)

$$\text{ISTAGE} = 5.0$$

### ระยะ 6: ระยะเจริญเต็มที่

$$\text{ISTAGE} = 6.0$$

แบบจำลองอัลย ThaiCane 1.0 หยุดการคำนวณพัฒนาการของอ้อยเมื่อ  $\text{ISTAGE} = 6.0$

### กระบวนการการเจริญเติบโตของพืช (crop growth)

การเจริญเติบโตของพืช (crop growth) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงขนาด (shape and size) น้ำหนักมวลชีวภาพ (biomass) ของพืช เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและลดลงได้ โปรแกรมแบบจำลองอัลย ThaiCane 1.0 มีกระบวนการด้านสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง การเพิ่มน้ำหนักรากส่วนต่าง ๆ ของอ้อยอยู่หลายกระบวนการ ได้แก่ การสังเคราะห์แสงอาทิตย์ การกระจายสารสังเคราะห์ที่พืชสร้างได้ในแต่ละวันไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช ในช่วงระยะเวลาพัฒนาการระยะต่าง ๆ

ตารางที่ 86: Source code สำหรับเพิ่มเติมใน ThaiCane 1.0 เพื่อการคาดการณ์วันออกดอกของอ้อยในประเทศไทย

```
C >> IStage = 5.1 Panicle initiation <<
C to accommodate Thai's cane flowering event... (Attachai J.)
C
      IF (CROP .EQ. 'SC' .AND. TWILEN .GT. P2O) THEN
C      .AND. SIND .LE. 1.0) THEN
C          RATEIN = 1.0/(100.0+P2*(TWILEN-P2O))
C P2O = critical photoperiod, a cultivar specific coeff.
C P22 = thermal time for BVP after stabilized pop. stage was reached
C P2 = slope of the curve b/w TWILEN and DAYL
C
          RATEIN = 1.0/(P22+P2*(TWILEN-P2O))
          SIND = SIND + RATEIN
          IF (SIND .LE. 1.0) THEN
              RETURN
          ELSE
              pause
              IStage = 10
              IPRINT = 0
              STGDOY(IStage) = YRDOY
          ENDIF
C
```

### การรับแสง (light interception)

เริ่มต้นด้วยการโดยใช้กฎของ Beer's ในการคำนวณปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกต้องและนำไปใช้เพื่อการผลิตสารคาร์บอนในแต่ละวัน โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นค่าคงที่ (300 ppm)

$$Li = 1 - \exp(-k LAI)$$

$k$  คือ extinction coefficient ของสมการ และมีค่าเป็น 0.58 เมื่ออ้อยเจริญเติบโตมีใบน้อยกว่า 14 ใบ และ  $k$  จะมีค่าเป็น 0.85 เมื่ออ้อยเจริญเติบโตมีใบมากกว่า 14 ใบ  $k$  เป็นสัดส่วนระหว่างพื้นที่ใบอ้อยที่ถูกบังแสงและพื้นที่ใบอ้อยทั้งหมดในขณะนั้น LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index) น้ำหนักของคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ต่อวันแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่

1. น้ำหนักสารสังเคราะห์ได้ของใบที่ไม่ถูกบังแสง  

$$= P_{max} (1 - \exp(-\phi k (1 - 0.2) PAR / P_{max}))$$
2. น้ำหนักสารสังเคราะห์ได้ของใบที่ถูกบังแสง  

$$= P_{max} (1 - \exp(-\phi f / P_{max}))$$

$\phi$  = ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสง (quantum efficiency) มีค่าเท่ากับ 0.065 mol/mol

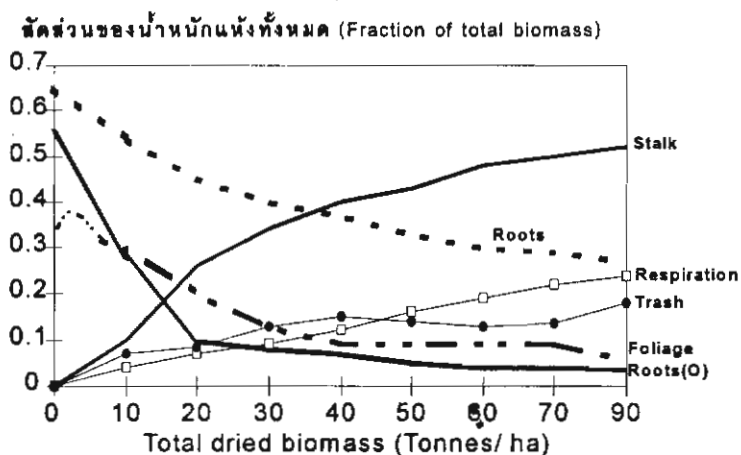
$$f = 0.2PAR(1-\exp(-k \cdot LAI_n))/LAI_n$$

PAR = photosynthesis active radiation = ประมาณ 50% ของ total daily solar radiation ที่วัดได้โดยเครื่อง UNIDATA

### การกระจายสารสังเคราะห์ (assimilate partitioning)

แบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0 แบ่งสารสังเคราะห์ (photosynthate) ที่ได้ในแต่ละวันไปยังส่วนต่าง ๆ ของกออ้อย ได้แก่ ราก ใบและกาบใบ ลำต้น และน้ำตาล sucrose ตามระยะพัฒนาการของอ้อย (รูปที่ 28) คำสั่งมีในโปรแกรม PARTIT.FOR การกระจายสารสังเคราะห์ในพันธุ์อ้อยของประเทศไทยควรได้รับการศึกษามากขึ้น เพื่อตรวจสอบผังการกระจาย

รูปที่ 28: ผังการกระจายสารสังเคราะห์ (น้ำหนักแห้ง) ในแบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0.



### กระบวนการพลวัตของน้ำในดิน (soil-crop water balance)

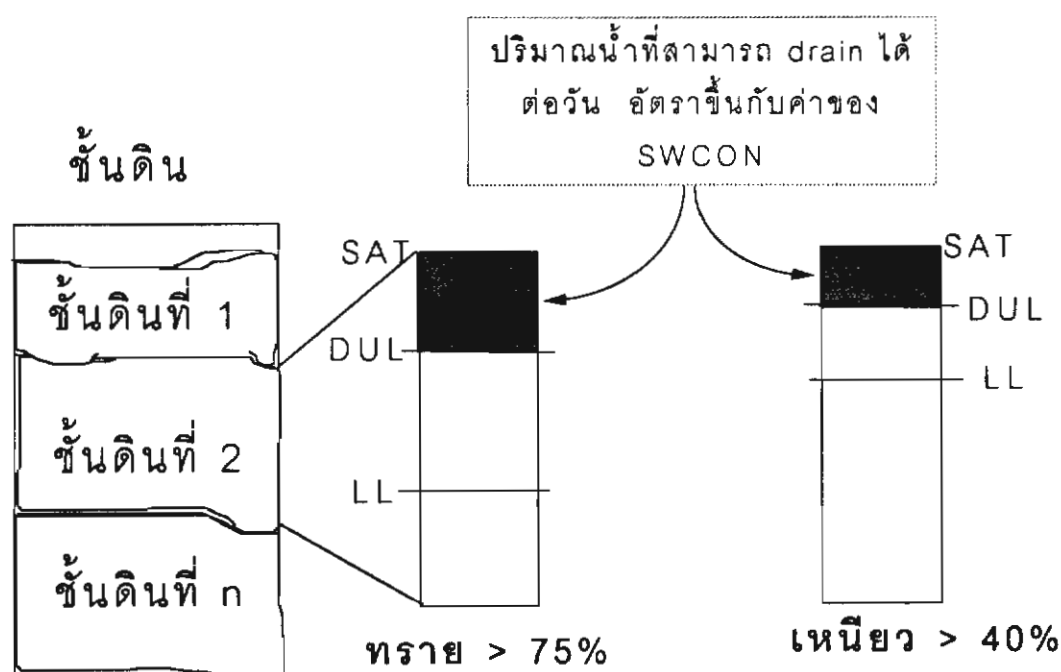
การคำนวณการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินและในพืชที่มีในแบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0 ใช้แบบจำลองน้ำที่มีการเสนอและทดสอบโดย Dr. J.T. Ritchie แห่งมหาวิทยาลัยมิชิแกน ซึ่งได้ทำการศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองพลวัตของน้ำในดินและในพืชที่สามารถคาดการณ์ในระดับที่ยอมรับได้และมีข้อมูลดินที่สามารถหาได้มาประกอบการใช้งานแบบจำลองเพื่อจัดการระบบให้น้ำชลประทานพืชอย่างมีประสิทธิภาพ

Ritchie ได้เสนอแนวคิดให้มีการแบ่งชั้นดินในระดับรากพืชออกเป็นชั้นดินที่มีความหนาน้อยลงตามคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน ในแบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0 ผู้ใช้งานสามารถกำหนดให้ชั้นดินที่ทำการศึกษามีได้ถึง 15 ชั้นดิน ความชื้นดินในแต่ละชั้นจะได้รับการคำนวณอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา Ritchie ได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการคำนวณความชื้นดินโดยให้ชื่อว่า ปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (plant extractable soil water) ซึ่งสามารถประมาณการได้จาก LL และ DUL ของชั้นดินแต่ละชั้น (รูปที่ 29) ความชื้นของดินชั้นบนที่สุดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำชลประทาน และระเหย การซึมผ่านลงสู่ดินชั้นล่าง และการดูดไปใช้ของรากพืช

การเคลื่อนที่ขึ้นสู่ดินชั้นบนหรือสู่อากาศของน้ำในดินเกิดขึ้นได้สองทาง คือ การระเหยในกระบวนการ evaporation และกระบวนการดูดน้ำของรากพืช (root absorption) ปริมาณน้ำระเหยสูงสุด (PET) คำนวณโดยใช้สมการ Priestly and Taylor (1972) และ Penman (1981) ส่วนปริมาณน้ำระเหยจริง (AET) คำนวณโดยวิธีการที่เสนอโดย Ritchie (1985)

ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปใช้คำนวณโดยพิจารณาจาก ความหนาแน่นของรากพืช (root length density) ปริมาณน้ำในดินที่พืชสามารถนำมาใช้ได้

รูปที่ 29: การจำลองพลวัตของน้ำในดินตามวิธีการของ Ritchie



## กระบวนการที่ควรพัฒนาเพิ่มเติมใน ThaiCane 1.0

### พลวัตของธาตุไนโตรเจน (nitrogen dynamic)

แบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0 ยังไม่สามารถจำลองพลวัตของธาตุไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของข้าว แต่เนื่องจากธาตุไนโตรเจนมีส่วนมากในการเพิ่มผลผลิตข้าว คณะผู้วิจัยจะดำเนินการเพื่อหาวิธีการเพิ่มโปรแกรมย่อย (subroutine) ในส่วนนี้ในโอกาสต่อไป โดยการร่วมมือกับนักวิจัยในกลุ่ม ICASA และนักวิจัยในประเทศ

### พลวัตของธาตุฟอสฟอรัส (phosphorus dynamic)

แบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0 ยังไม่มีพลวัตของธาตุฟอสฟอรัสที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของข้าว คณะผู้วิจัยจะดำเนินการเพื่อหาวิธีการเพิ่มโปรแกรมย่อย (subroutine) ในส่วนนี้ในโอกาสต่อไป รวมทั้งธาตุอาหารอื่นด้วยหากมีความสำคัญต่อการคาดการณ์ผลผลิตข้าว

### ข้อมูลพื้นฐานที่ที่ต้องการ

แบบจำลองย่อยมีข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์เฉพาะความแตกต่างของพัฒนาการของใบ จำเป็นต้องพัฒนาความเข้าใจด้านลักษณะการแตกกอ การให้ตอ การตอบสนองต่อสารอาหารในดิน ซึ่งอาจจะสามารถหาได้โดยวิธีการพันธุวิศวกรรมตามที่ได้มีการศึกษาเบื้องต้นแล้วโดย วลดา และธีรดา (ส่วนที่ 1 ของรายงานฉบับนี้)

# ส่วนที่ 2

---

## การทำแผนที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม

- แนวคิดและหลักการ (principles & concepts)
- วิธีการวิจัย (research methodology)
- กรณีศึกษาระวางน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น
- กรณีศึกษาระวางอุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี
- ระบบการผลิตอ้อยในตำบลโนนท่อน

## ส่วนที่ 2 การทำแผนที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม

---

### แนวคิดและหลักการ (principles & concepts)

ถาวร อ่อนประไพ และ อรรถชัย จินตะเวช

**โครงการ** พทอ. ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ประกอบการพัฒนาวิธีการทำแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยอย่างเหมาะสมให้มีความถูกต้องตามเกณฑ์ที่เชื่อถือได้ เพื่อให้ประกอบการประเมินผลผลิตของอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ เทคโนโลยีสารสนเทศที่นำมาประยุกต์ใช้ได้แก่ เทคนิคข้อมูลระยะไกลด้วยภาพจากดาวเทียม (RS) และเทคนิคการกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นผิวโลกด้วยดาวเทียม (GPS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีบทบาทมากในการตัดสินใจเพื่อการผลิตทางเกษตรทั้งในปัจจุบันและอนาคต

ขั้นตอนแรกเป็นการพัฒนาวิธีการและเทคนิคการทำแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยจากข้อมูลดาวเทียม โดยต้องมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือได้ ซึ่งหมายถึงความถูกต้องในเชิงตำแหน่ง (position accuracy) และความถูกต้องในเชิงคุณสมบัติ (attribute accuracy) ของข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อย โดยใช้วิธีการประเมินค่าความถูกต้องด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์ และเป็นวิธีการที่ต้องสามารถถ่ายทอดให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสมต่อไป

ขั้นตอนที่สองเป็นการพัฒนาแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการเชื่อมโยงเข้ากับระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการผลิตอ้อย ThaiSIS 1.0 (อรรถชัย จินตะเวช และ Thomton, 2540) สำหรับการประเมินผลผลิตของอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตอ้อย ThaiCane 1.0 แผนที่การปลูกอ้อยที่ผลิตได้ในกิจกรรมที่สองนี้จะใช้ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่อื่น เช่น แผนที่ดิน แผนที่สภาพอากาศ ฯลฯ โดยใช้เทคนิคของระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS)

## ชนิดข้อมูลภาพจากดาวเทียม

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่ถูกส่งขึ้นไปโคจรรอบโลกมีอยู่หลายระบบและได้รับการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล (sensor) ระดับการสะท้อนของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุต่าง ๆ บนผิวโลก ที่มีสมรรถนะต่างกัน เช่น ดาวเทียม LANDSAT 5 ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล TM สามารถบันทึกรายละเอียดข้อมูลการสะท้อนได้เจ็ดช่วงคลื่น และระบบดาวเทียม SPOT ของประเทศฝรั่งเศสมีการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล HRV สามารถบันทึกรายละเอียดข้อมูลได้สามช่วงคลื่น เป็นต้น ระบบดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกโดยทั่วไปจะโคจรในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (sun-synchronous orbit) เนื่องจากดาวเทียมใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานส่วนหนึ่ง และจะโคจรในแนวเหนือ-ใต้ และกลับมาซ้ำพื้นที่เดิมตามกำหนดของดาวเทียมแต่ละดวง ทำให้มีข้อมูลการสะท้อนแสงเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางหลักการจะทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของวัตถุต่าง ๆ บนผิวโลกได้ ในกรณีนี้คือการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ปลูกอ้อย

โครงการ พทอ. ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการทำแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT 5 ระบบ TM ขนาดรายละเอียด (resolution) 25 เมตร ซึ่งใช้พื้นที่ศึกษาครอบคลุมขอบเขตประมาณ 27 X 27 ตร.กม. ตามขนาดข้อมูลภาพดาวเทียมชนิด subscene geocode ทั้งนี้เพื่อสะดวกแก่การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย ข้อมูลมีขนาดหนึ่งระวาง ของแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบข้อมูลเชิงตัวเลข (digital format) ด้วยเทปแบบ CCT ขนาด 9 tracks หรือ เทป exabyte ขนาด 8 มม.

## หลักการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียม

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ของพื้นที่ปลูกอ้อย มีทั้งหมดหกขั้นตอน ดังนี้ 1) การแก้ไขความถูกต้องในเชิงตำแหน่งของข้อมูล (image rectification) 2) การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดาวเทียม (image enhancement) 3) การสร้างภาพสีผสมของข้อมูล (color composite) 4) การตรวจสอบภาคสนาม (field checking) 5) การจำแนกรายละเอียดข้อมูลภาพดาวเทียม (image classification) และ 6) การประเมินค่าความถูกต้องของการจำแนกข้อมูล (classification accuracy assessment) รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีใน *วิธีการวิจัยส่วนที่ 2*

## การเลือกใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม

การเลือกชนิดข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อการจำแนกพื้นที่การปลูกอ้อย หรือการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ สามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติข้อมูลภาพจากดาวเทียม ดังนี้

### คุณสมบัติทางด้านคลื่นแสง (spectral characteristic)

เป็นคุณสมบัติที่แสดงรายละเอียดด้วยค่าของการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของพื้นที่ปลูกอ้อยและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง ๆ ด้วยค่าข้อมูลเชิงตัวเลข (digital number) ในแต่ละช่วงคลื่น ดาวเทียมแต่ละดวงมีระบบการบันทึกข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่น ระบบ TM ของดาวเทียม LANDSAT-5 เก็บข้อมูลไว้ในเจ็ดช่วงคลื่น หรือระบบ HRV ของดาวเทียม SPOT เก็บบันทึกข้อมูลไว้ในสามช่วงคลื่น เป็นต้น คุณสมบัติทางด้านคลื่นแสงช่วยผู้วิเคราะห์จำแนกรายละเอียดพื้นที่การปลูกอ้อยออกจากพื้นที่พืชไร่ การเกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ ด้วยลักษณะของสี (color) ระดับสี (tone) เงา (shadow) และความคมชัด (contrast)

### คุณสมบัติทางด้านพื้นที่ (spatial characteristic)

เป็นคุณสมบัติที่แสดงขนาดรายละเอียดในการเก็บบันทึกข้อมูลในแต่ละจุดภาพ (pixel) โดยทั่วไปพิจารณาเลือกภาพที่มีขนาดรายละเอียด (resolution) ต่ำสุดที่ข้อมูลจากดาวเทียมจะแสดงได้ เช่น ระบบ MSS และระบบ TM ของดาวเทียม LANDSAT 5 มีขนาดของจุดภาพเป็น 80 และ 25 เมตร ตามลำดับ ระบบ HRV panchromatic และ multispectral มีขนาดของจุดภาพเป็น 10 และ 20 เมตร เป็นต้น คุณสมบัติทางด้านพื้นที่ช่วยผู้วิเคราะห์จำแนกรายละเอียดพื้นที่การปลูกอ้อยออกจากพื้นที่พืชไร่ การเกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ ด้วยลักษณะทางด้าน ขนาด (size) รูปร่าง (shape) รูปแบบ (pattern) และความหยابละเอียด (texture) ของข้อมูล

### คุณสมบัติทางด้านเวลา (temporal characteristic)

เป็นคุณสมบัติของดาวเทียมแต่ละดวงในการโคจรรอบโลกและเก็บบันทึกข้อมูลดาวเทียมสำหรับวิทยากรโลกจะโคจรในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในแนวเหนือ-ใต้ ลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดคุณสมบัติทางด้านเวลา กล่าวคือมีการโคจรกลับมาบันทึกซ้ำที่เดิมตามระยะเวลาที่กำหนด ดาวเทียม LANDSAT 5 และ ดาวเทียม SPOT มีวงโคจร เป็น 16 และ 26 วัน ตามลำดับ การจำแนกพื้นที่การปลูกอ้อยออกจากพื้นที่พืชไร่ การเกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ อาศัยคุณสมบัตินี้เข้ากับช่วงเวลาการเจริญเติบโตของอ้อย ช่วยในการเลือกข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด

### หลักการระบบดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งพิภคบนพื้นโลก (GPS)

ระบบดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกแบบใหม่ได้รับการติดตั้งเมื่อปี ค.ศ. 1973 ด้วยการพัฒนาที่ต่อเนื่องมาจากระบบดาวเทียม Transit โดยแนวความคิดและหลักการ NAVSTAR ของกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา (DoD) ในความดูแลและรับผิดชอบของ สำนักงานแผนงานร่วม (JPO) ระบบดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกแบบใหม่นี้มีชื่อเรียกสั้น ๆ ว่า Global Positioning System หรือ GPS (กรมแผนที่ทหาร, 2533)

GPS เป็นระบบดาวเทียมที่ใช้คลื่นวิทยุในการกำหนดตำแหน่งนำร่องและเวลาได้ทุกสภาพอากาศ มีขีดความสามารถสูงสามารถใช้กับผู้ใช้ได้อย่างไม่จำกัดจำนวน ในระยะเวลาเดียวกัน และเป็นการเปิดระบบให้ผู้ใช้ได้อย่างเสรี ไม่มีจำกัดสิทธิ์ ตลอดจนระบบพิภคที่ใช้เป็นระบบที่ยั่งยืนซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก

ในการรับส่งสัญญาณระหว่างผู้ใช้และกลุ่มดาวเทียม GPS ดาวเทียม GPS จะปรากฏบนท้องฟ้าอย่างน้อยสี่ดวงตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นส่วนไหนของพื้นผิวโลก ดาวเทียม GPS จะส่งข้อมูลมายังผู้ใช้ด้วยความถี่สองช่วงคลื่น คือ L1 และ L2 ความถี่อ้างอิง L1 จะมีค่า 1575.42 Mhz และ L2 มีค่า 1227.60 MHz การรังวัดทั้งสองความถี่นี้จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถแก้ความล่าช้าของการแพร่ของคลื่นในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้ คลื่นสัญญาณทั้งสองความถี่จะถูกปรับคลื่น (modulate) ออกมาเป็นสองรหัสคือ 1) P code ที่ให้การรังวัดอย่างละเอียด และ 2) C/A code (Coarse /Acquisition) ซึ่งสามารถรังวัดได้ง่ายและส่งผ่านไปยัง P code รหัสทั้งสองสร้างขึ้นบนดาวเทียมโดยอาศัย Pseudo Random Noise P code เป็นรหัสยาวปรับคลื่น 10.23 เมกกะบิตต่อวินาที (MBS) และซ้ำทุก 267 วัน แต่ผู้ใช้ก็เข้าถึงรหัสนี้ได้ยาก C/A code เป็นรหัสสั้นปรับคลื่น 1.023 เมกกะบิตต่อวินาที (MBS) และซ้ำทุก ๆ 1/1,000 วินาที แต่ให้การรังวัดที่หยาบกว่า P code สัญญาณ L1 จะปรับคลื่นทั้ง P code และ C/A code ขณะที่สัญญาณ L2 ปรับคลื่นเฉพาะ P code ทั้งสัญญาณ L1 และ L2 จะปรับคลื่นอย่างต่อเนื่องเป็นกระแสข้อมูลการนำวิถีด้วยอัตรา 50 บิตต่อวินาที (BPS) ผู้ใช้สามารถหาระยะทาง (pseudorange) ไปยังดาวเทียมได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่เครื่องรับกับสัญญาณจากดาวเทียมที่รับได้ระบบ GPS ในทางปฏิบัติแล้วจะให้บริการข้อมูลการนำร่องสองประเภท คือ ประเภทแรกประเภทความละเอียดถูกต้องสูง (PPS) ซึ่งสัญญาณของ PPS เป็นชนิด P code และจะให้บริการกำหนดหน่วยทางการทหารของสหรัฐอเมริกา และประเทศพันธมิตรบางประเทศเท่านั้น ส่วนหน่วยงานพลเรือนของสหรัฐอเมริกาบางหน่วย

อาจให้บริการ PPS ได้หากเพื่อเป็นการพิทักษ์ผลประโยชน์ของชาติ โดยจะต้องมีระบบการรักษาความปลอดภัยที่ดีพอ และไม่สามารถจัดหาเครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องทัดเทียมกันมาทดแทนได้ ประเภทที่สอง คือ ประเภทที่มีระดับความละเอียดถูกต้องน้อยกว่า ซึ่งเปิดบริการให้แก่ผู้ใช้ C/A code โดยทั่วไป การบริการนี้เรียกว่า SPS

ระบบดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งพื้นผิวโลกแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ๆ ได้แก่ (Trimble Navigation, 1992; Kennedy, 1996)

**ส่วนปฏิบัติงานในอวกาศ (space segment)** ประกอบด้วยกลุ่มดาวเทียม NAVSTAR มีวงโคจรที่ระดับความสูงประมาณ 20,200 กม. มีทั้งหมด 24 ดวง แบ่งออกเป็นหกชุดๆ ละ สี่ดวง แต่ละชุดโคจรอยู่ในระนาบเดียวกัน แต่ละระนาบวงโคจรทำมุม 55 องศา กับเส้นศูนย์สูตร ดาวเทียมแต่ละดวงโคจรรอบโลก 12 ชม. ต่อหนึ่งรอบ และทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน ดาวเทียมแต่ละดวงทำหน้าที่ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งและเวลาที่ถูกต้อง (ธาตุ cesium ใช้กับนาฬิกาอะตอม atomic clock ทำให้ระบบเวลาของ GPS มีความละเอียดถูกต้องสูง ในอนาคตจะมีการใช้ธาตุ hydrogen maser แทนธาตุ cesium ซึ่งจะทำให้ระบบเวลาของ GPS มีความละเอียดถูกต้องสูงยิ่งขึ้น) ด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุด้วยรหัสเฉพาะ ระยะห่างของดาวเทียม (phasing) จากระนาบหนึ่งไปยังอีกระนาบหนึ่งทำมุม 40 องศา ตัวอย่างเช่น ดาวเทียมดวงหนึ่งบนระนาบหนึ่งจะอยู่ข้างหน้าของดาวเทียมอีกดวงหนึ่งบนระนาบข้างเคียง ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกด้วยมุม 40 องศา โดยดาวเทียมโคจรจากทิศใต้ไปทิศเหนือ

**ส่วนควบคุม (control segment)** ประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก MCS หนึ่งสถานี สถานีรับส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (upload station) สามสถานี และสถานีโคจรข่ายรับสัญญาณ (monitor station) ตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศสหรัฐอเมริกา รวมห้าสถานี คือที่ Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, Honolulu และที่ฐานทัพอากาศ Falcon มลรัฐ Colorado แต่ละสถานีโคจรข่ายรับสัญญาณจะมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แต่ละดวง และสถานีเหล่านี้ได้ทำการสำรวจหาค่าพิกัดอย่างละเอียดโดยหน่วยงานแผนที่สหรัฐอเมริกา (DMA) แต่ละสถานีจะทำการรวบรวมข้อมูลการรังวัดระยะแบบ pseudorange (หมายถึง ระยะทางระหว่างจุดรังวัดกับดาวเทียม) ข้อมูลชั้นบรรยากาศ Ionosphere ข้อมูลสภาพอากาศ เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งที่แน่นอนของแต่ละสถานีทุกๆ 15 นาที แต่ละสถานีโคจรข่ายจะส่งข้อมูลไปยังสถานีควบคุมหลัก MCS ซึ่งตั้งอยู่ที่ CSOS ในฐานทัพอากาศ Falcon สถานีควบคุมหลักทำการประมวลผลข้อมูลการรังวัดจากทุก ๆ สถานีโคจรข่ายเพื่อหาค่าวงโคจรและทำนายเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกส่งกลับไปยังดาวเทียมโดยผ่านทางสถานีรับส่งภาคพื้นดิน (upload station) แห่งใดแห่งหนึ่งในสามสถานีด้วยเครื่องรับส่งสัญญาณ S-Band ในทุก ๆ แปดชั่วโมง ข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวงในแต่ละวงโคจรที่แม่นยำทำให้การกำหนดตำแหน่งที่พิกัดบนพื้นผิวโลกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

**ส่วนผู้ใช้ (user segment)** คือส่วนชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ประกอบด้วยชุดเสาอากาศ ส่วนรับสัญญาณ ส่วนประมวลผลข้อมูลและหน่วยควบคุมการแสดงผลซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในผืนแผ่นดิน ทางทะเล และทางอากาศ ชุดเครื่องรับสัญญาณจะคำนวณตำแหน่งโดยใช้พื้นฐานอ้างอิง WGS 84 (World Geodetic System.1984) โดยมีจุดศูนย์กลางมวลสารของโลกเป็นจุดกำเนิด ซึ่งค่าพิกัดตำแหน่งระบบนี้สามารถแปลงไปเป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานท้องถิ่นอื่น ๆ ได้ถึง 46 ระบบ รวมทั้งระบบพิกัด UTM ด้วย

## วิธีการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม GPS

การกำหนดตำแหน่งของระบบดาวเทียม GPS. สามารถแบ่งออกได้เป็นสองวิธี ดังนี้

### การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์ (absolute positioning)

เป็นการรับวัดค่าพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณ GPS แบบอิสระจุดต่อจุด ไม่มีการอ้างอิงตำแหน่ง หรือจุดอื่นๆ ขณะรับสัญญาณ เครื่องรับสัญญาณ GPS. ในตำแหน่งอิสระดังกล่าวจะรับสัญญาณตามค่าดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวง

การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์ เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดในระบบแกนพิกัดของโลก เช่น ระบบพิกัดฉาก ที่มีจุดศูนย์กลางเกิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก โดยแกน  $z$  อยู่ในแนวแกนหมุนของโลก แกน  $x$  ชี้ไปยังเมริเดียนศูนย์องศา แกน  $y$  ตั้งฉากกับแกน  $x$  และแกน  $z$  บางครั้งเรียก single-point positioning ด้วยเหตุว่าเป็นการเปิดรับสัญญาณจากกลุ่มดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวง เพื่อดำเนินการทราบค่าพิกัดของจุด ๆ เดียวโดยไม่มี การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งอื่น

### การกำหนดตำแหน่งสัมพัทธ์ (relative positioning)

นอกจากนี้เรายังอาจแบ่งการกำหนดตำแหน่งออกเป็น การกำหนดตำแหน่งสถิตย์ (static) และการกำหนดตำแหน่งจลน์ (kinematic) ในการกำหนดตำแหน่งสถิตย์นั้นเครื่องรับจะถูกวางอยู่กับที่ วิธีนี้ใช้เมื่อต้องการค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูง โดยที่ความเร็วของการวัดและการคำนวณตำแหน่งที่มีความสำคัญเป็นอันดับรองลงมา ส่วนการกำหนดตำแหน่งจลน์ (kinematic) เครื่องรับอยู่ในภาวะที่กำลังเคลื่อนที่ ในกรณีนี้การคำนวณตำแหน่งให้รู้ได้ในทันที (real time) เป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก การหาตำแหน่งจลน์นำมาประยุกต์ใช้กับการนำวิธีที่ต้องการค่าพิกัดแบบสัมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้วิธีการวัดจึงเป็นวิธีวัดแบบ pseudorange ที่วัดระยะจากดาวเทียมสี่ดวง ในขณะที่เดียวกันในการนำวิธีบางครั้งมีการคำนวณค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ เนื่องจากงานนี้เป็นการหาตำแหน่งของเครื่องรับเครื่องหนึ่งเปรียบเทียบกับอีกเครื่องหนึ่ง จึงจำเป็นต้องมีคลื่นวิทยุเชื่อมโยงระหว่างเครื่องรับทั้งสองนี้ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่วัดได้มาเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาตำแหน่งได้ในทันที วิธีการกำหนดตำแหน่งในลักษณะนี้ประยุกต์ใช้ในการขุดเจาะหาน้ำมัน และการใช้ในการควบคุมการลากจูงเรือไปตามร่องน้ำ การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ บางครั้งเรียกว่าการรับวัดแบบแก้ค่าความต่าง (differential correction)

ในการใช้ระบบดาวเทียม GPS เพื่อช่วยในการจำแนกพื้นที่การปลูกพืชจำเป็นต้องใช้วิธีการรับวัดจากทั้งสองวิธีการ ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไปในวิธีการวิจัย

## ส่วนที่ 2 การทำแผนที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม

---

### วิธีการวิจัย (research methodology)

ถาวร อ่อนประไพ และ อรรถชัย จินตะเวช

⋮

กิจกรรมวิจัยส่วนนี้เน้นการพัฒนาวิธีการและขั้นตอนการทำแผนที่ปลูกอ้อยจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ขนาดรายละเอียดของจุดภาพ 25 เมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อการผลิตอ้อย ThaiSIS 1.0 เพื่อประเมินผลผลิตของอ้อยได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาวิธีการและขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ของพื้นที่ปลูกอ้อยจากข้อมูลดาวเทียม
2. เพื่อผลิตแผนที่การปลูกอ้อยสำหรับประกอบการใช้วิเคราะห์ร่วมกับฐานข้อมูลเชิงพื้นที่อื่น ๆ ในการคาดการณ์ระดับผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ร่วมกับโปรแกรม ThaiSIS 1.0

## อุปกรณ์การวิจัย

### Computer hardwares

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Sun workstation LX มีหน่วยความจำ (RAM) 32 MB
2. เครื่องมือรังวัดพิกัดจากดาวเทียม (GPS) จำนวน 2 ชุด (Base Station and Rover Sets)
3. เทปข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ TM ครอบคลุมอำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น และ และระวางอำเภออุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกบันทึกเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2537 และ วันที่ 10 เมษายน 2538

### Computer softwares

1. โปรแกรม ERDAS ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม บนระบบ UNIX เครื่องคอมพิวเตอร์ Sun workstation

## อุปกรณ์อื่น

1. แผนที่ภูมิประเทศ 1:50,000 ครอบคลุมอำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น
2. แผนที่ภูมิประเทศ 1:50,000 ครอบคลุมอำเภออุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

## วิธีการวิจัย

ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาและจำแนกรายละเอียดข้อมูลพื้นที่การปลูกอ้อยและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM ขนาดรายละเอียดของจุดภาพ 25 เมตร มีการบันทึกการสะท้อน

คลื่นทั้งหมดเจ็ดช่วงคลื่น โดยทำการศึกษาข้อมูลภาพจากดาวเทียมในสองช่วงเวลายันที่ข้อมูล คือ ข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537 และ ข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538 ภาพทั้งสองช่วงทำให้สามารถศึกษาและจำแนกลักษณะคลื่นแสงของพื้นที่ปลูกอ้อยเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนการตัดเข้าโรงงาน (ภาพเดือนพฤศจิกายน 2537) และต้นฤดูการปลูก (โดยประมาณข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538) หลังจากการตัดเข้าโรงงานเพื่อเปรียบเทียบกับพืชไร่และการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ และเลือกพื้นที่ศึกษาสองแห่ง คือ ะวางอำเภอป่าพอง จังหวัดขอนแก่น และระวางอำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ขนาดพื้นที่หนึ่งระวาง  $27 \times 27$  ตร.กม. รวมข้อมูลที่ใช้กรรมวิธีข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดสี่ชุด แต่ละชุดใช้วิธีการจำแนกทั้งแบบควบคุม (supervised classification) และแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) เทคโนโลยีเชิงพื้นที่ดังกล่าวนี้เน้นความถูกต้องของพื้นที่ปลูกอ้อยในเชิงคุณสมบัติ (attribute accuracy)

เทคโนโลยีข้อมูลเชิงพื้นที่อีกชนิดหนึ่งซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมความถูกต้องของพื้นที่ปลูกอ้อยในเชิงตำแหน่ง (position accuracy) คือ ระบบการกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลก โดยใช้สำรวจหาและกำหนดตำแหน่งพื้นที่ตัวอย่าง (training area) ของข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยและการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ ภายในระวางข้อมูลทั้งสอง ด้วยวิธีการรังวัดแบบสัมบูรณ์ (absolute positioning) และใช้กำหนดจุดควบคุมในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียม (image rectification) และการทำแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยในระดับตำบล ด้วยวิธีการรังวัดแบบสัมพัทธ์ (relative positioning) ซึ่งสามารถควบคุมความถูกต้องของแผนที่แสดงพื้นที่การปลูกอ้อยให้อยู่ในเกณฑ์ได้ถึง  $\pm 5$  เมตร ด้วยวิธีการปรับแก้ค่าความต่าง (differential correction) จากหมุดหลักฐานการรังวัด GPS ชั้นที่หนึ่งของกรมแผนที่ทหาร โดยใช้เป็น base station ของการสำรวจเพื่อการทำแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อย

## ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม

การดำเนินการวิธีวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อทำแผนที่พื้นที่การปลูกอ้อย เป็นการศึกษาลักษณะค่าการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของพื้นที่อ้อยกับพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ โดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรที่มีฤดูกาลปลูกและลักษณะค่าการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใกล้เคียงกัน เช่น พื้นที่ปลูกพืชไร่ต่าง ๆ และพื้นที่นาข้าว เป็นต้น ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียมจะทำให้สามารถจำแนกรายละเอียดของพื้นที่ปลูกอ้อยออกจากพื้นที่ศึกษาได้

ขั้นตอนกรรมวิธีวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อทำแผนที่พื้นที่การปลูกอ้อย สามารถแบ่งออกได้หกขั้นตอน และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### การแก้ไขความถูกต้องในเชิงตำแหน่งของข้อมูล (image rectification)

การแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในเชิงตำแหน่งของภาพดาวเทียม คือกระบวนการปรับข้อมูลภาพให้มีความถูกต้องตรงตามตำแหน่งแท้จริงบนพื้นที่ผิวโลก หมายถึง การเพิ่มค่าความสูงต่ำของจุดภาพให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เนื่องจากข้อมูลภาพที่ได้จากดาวเทียมทำให้จุดภาพแต่ละจุดมีสภาพเหมือนกับแบนเป็นระนาบเดียวกัน

ทุกจุดภาพ การแก้ไขเชิงตำแหน่งดำเนินการโดยยึดหลักระบบพิกัดตามมาตรฐานสากล โดยใช้วิธีการอ้างอิงจุดพิกัด (map coordinates) จากแผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร เป็นมาตรฐานในการสร้างจุดควบคุม (GCPs) เพื่อการปรับแก้ให้พื้นที่ในข้อมูลภาพถ่ายเทียมมีความถูกต้องทางตำแหน่งโดยหลักการ georeferencing เป็นวิธีการที่นำค่าพิกัดของจุดในแนวระนาบ (x, y coordinates) ของแต่ละจุดควบคุมในข้อมูลภาพจากดาวเทียมและแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ด้วยวิธี Least Mean Square Regression ผลการคำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์ จากนั้นผู้วิเคราะห์สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์ประกอบการคำนวณค่า RMS Error โดยสมการโพลีโนเมียล (polynomial equation) ค่า RMS Error เป็นค่าที่บ่งชี้ความถูกต้องของข้อมูลในเชิงตำแหน่ง โดยทั่วไปควรได้ค่า RMS Error ค่าน้อยที่สุดและไม่เกินขนาดรายละเอียด (resolution) ของภาพจากดาวเทียม ในกรณีของภาพของ LANDSAT 5 TM ใช้ค่า RMS Error น้อยกว่า 25 เมตร

### **การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (image enhancement)**

การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับความคมชัดของข้อมูลภาพให้เหมาะสมแก่การจำแนกในขั้นต้นด้วยสายตาเพื่อประกอบการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อมูลภาพจากดาวเทียมเป็นค่าข้อมูลตัวเลข ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-255 ในแต่ละช่วงคลื่นทั้งหมดเจ็ดช่วงคลื่น ภาพที่ได้จากข้อมูลเหล่านี้สร้างขึ้นเป็นภาพขาว-ดำที่มีรายละเอียดของข้อมูลภาพตามค่าของข้อมูลในแต่ละจุดภาพซึ่งเรียกว่าค่าระดับสีเทา (grey level) โดยปกติค่าระดับสีเทาที่ได้รับมาจากสัญญาณดาวเทียมและนำมาสร้างเป็นภาพจะยังไม่สามารถให้ความคมชัดเท่าที่ควร ซึ่งอาจเกิดมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ปฏิกริยาของบรรยากาศที่มีต่อพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือความบกพร่องของเครื่องมือบันทึกข้อมูล (detector) วิธีปรับความคมชัดกระทำได้หลายวิธี โดยพิจารณาจากลักษณะค่าความถี่สะสมของค่าข้อมูลทั้งภาพว่าเป็นอย่างไร และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ว่าต้องการเน้นความคมชัดของข้อมูลในลักษณะใด วิธีการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีหลายวิธี เช่น การใช้สมการเส้นตรงและเส้นโค้งในการยืดค่าข้อมูลให้เกิดความแตกต่างมากขึ้น (linear and non-linear contrast stretching) การทำภาพ ration band การทำภาพ principal component analysis การทำภาพ vegetation index หรือ การปรับปรุงคุณภาพของภาพข้อมูลโดยใช้การปรับเชิงพื้นที่ (spatial filtering) เช่น low-frequency filtering หรือ high-frequency filtering เป็นต้น (Jensen, 1986)

### **การสร้างภาพสีผสมของข้อมูล (color composite)**

การสร้างภาพสีผสมของข้อมูลภาพจากดาวเทียมเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อสะดวกต่อผู้ศึกษาในการทำความเข้าใจลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้ชัดเจนยิ่งขึ้นกว่าการใช้ภาพขาว-ดำ การสร้างภาพสีผสมดำเนินการด้วยวิธีผสมข้อมูลภาพดาวเทียมของช่วงคลื่นที่ต้องการศึกษาผ่านเข้ากับแม่สีหลัก (สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) ของทั้งสามช่วงคลื่น ภาพที่ได้จะเกิดเป็นภาพสีที่เน้นความชัดเจนของรายละเอียดข้อมูลได้มากกว่าภาพขาว-ดำของในแต่ละช่วงคลื่น ทั้งนี้เพื่อเป็นพื้นฐานในการนำไปเป็นข้อมูลเพื่อจำแนกหรือวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไป

สำหรับการศึกษาข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยของทั้งสองระวาง ผู้วิจัยได้ทำการสร้างภาพสีผสมในหลายลักษณะ เช่น ภาพสีผสมจริง (true color composite) ภาพสีผสมเท็จ (false color composite) และภาพสีผสมเท็จที่ใกล้เคียงความจริง (pseudocolor composite) โดยได้ผสมช่วงคลื่นต่าง ๆ ที่สามารถบันทึกข้อมูลพืชพรรณต่าง ๆ เข้ามาผสมกัน ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาแนวทางในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยออกจากพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ ได้ดีพอสมควร นอกจากนี้ทำให้ผู้วิจัยมีแนวทางจำแนกพืชพรรณออกจากกันแล้ว ยังสามารถใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบทางภาคสนาม ทำให้การเปรียบเทียบข้อมูลภาพและสภาพจริงดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### **การตรวจสอบภาคสนาม (field checking)**

การตรวจสอบภาคสนามมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ (รูปที่ 30) โดยใช้เทคนิคข้อมูลระยะไกล (RS) และระบบดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (GPS) มีประโยชน์สองทางคือ เพื่อเก็บข้อมูลในสนามและเพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของการแปลภาพ นอกจากนี้ยังสามารถประกอบกับการตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ โดยเฉพาะผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองอ้อยที่ผ่านการ validate แล้ว (Monteith, 1994)

คณะผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบภาคสนามบริเวณพื้นที่ที่มีการปลูกอ้อยและพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นที่คาดว่าจะมีค่าคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นแสง (spectral reflectance) ใกล้เคียงและอาจผสมผสานกับการสะท้อนคลื่นแสงของพื้นที่ปลูกอ้อยอย่างละเอียด โดยทำการรังวัดพิกัดของจุดตรวจสอบตัวอย่าง (checking area) ในพื้นที่การเกษตรต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือ GPS และนำค่าพิกัดของตำแหน่งตรวจสอบเหล่านั้นมากำหนดลงในข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อสร้างเป็นพื้นที่ตัวอย่าง (training site) ของแต่ละกิจกรรม อนึ่งการตรวจสอบภาคสนามยังเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการปรับแก้เชิงตำแหน่ง (image rectification) อีกทางหนึ่งด้วยหลังจากที่การปรับแก้เชิงตำแหน่งได้ปฏิบัติในสำนักงาน และควบคุมความถูกต้องด้วยค่า transformation matrix

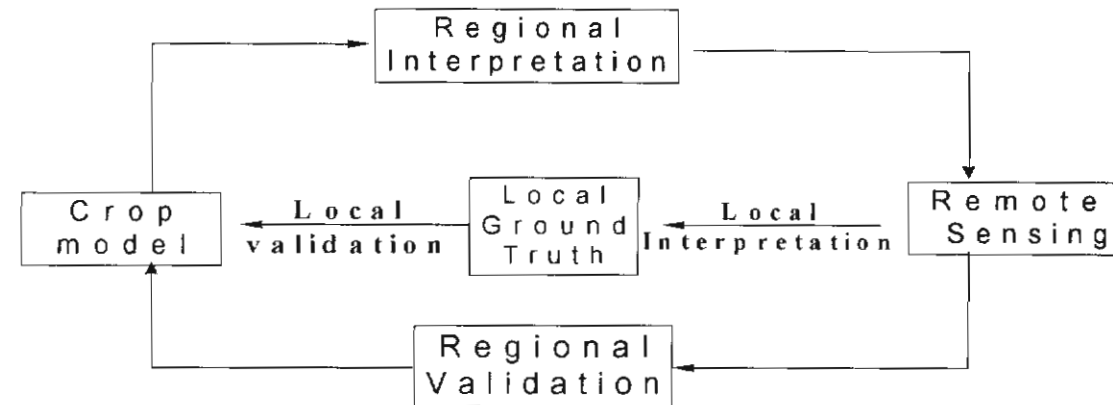
รูปที่ 31 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยโดยใช้ GPS (อ่านเรื่องแนวคิดและหลักการของระบบ GPS ได้ใน ถาวร อ่อนประไพ และอรรถชัย จินตะเวช ในเอกสารฉบับนี้)

### **การจำแนกรายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (image classification)**

หมายถึงการจัดจำแนกภาพถ่ายภายในระวางภาพถ่ายดาวเทียมออกเป็นประเภทของการใช้ที่ดิน (land use type) หรือเป็นข้อมูลครุ มคลุมที่ดิน (land cover) ชนิดต่าง ๆ โดยใช้หลักการทางสถิติกับข้อมูลทุกช่วงคลื่นที่ถูกบันทึกเก็บไว้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขของภาพถ่ายดาวเทียม สามารถแบ่งออกเป็นวิธีการจำแนกรายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้เป็นสองวิธีการ คือ การจำแนกแบบควบคุม และการจำแนกแบบไม่ควบคุม

**การจำแนกแบบควบคุม (supervised classification)** ใช้ข้อมูลจากภาคสนาม แผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศหรือข้อมูลอื่น ๆ ที่ทราบตำแหน่งและคุณลักษณะของพื้นที่แน่นอน รวมในการคำนวณค่าสถิติของจุดภาพในพื้นที่ตัว-

รูปที่ 30: ความสัมพันธ์ของการตรวจสอบภาคสนามกับงานข้อมูลเชิงพื้นที่ (Monteith, 1994)

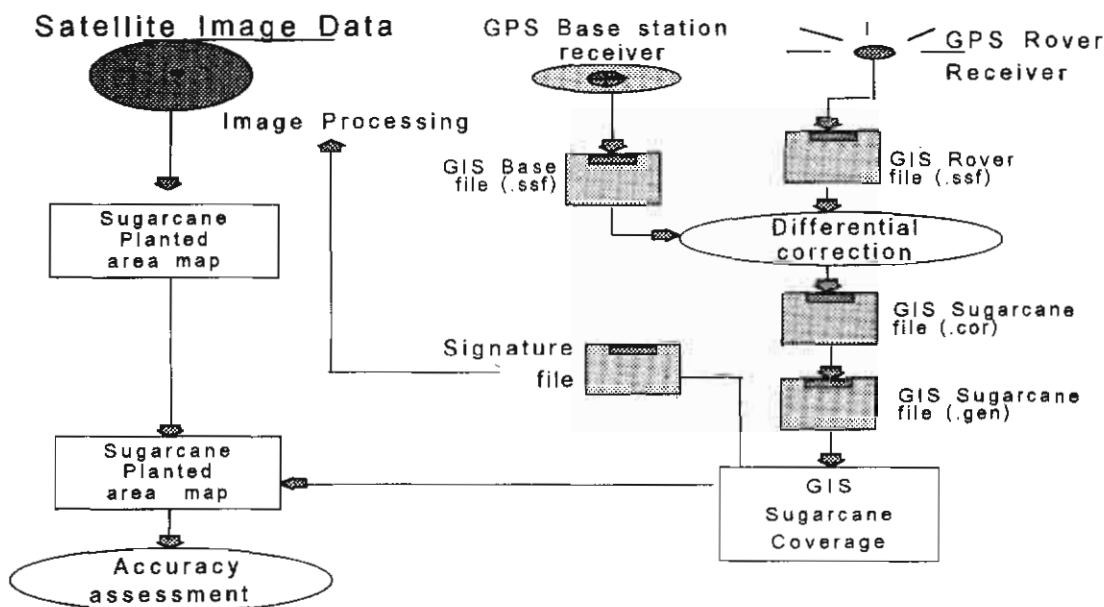


อย่าง (training area) โดยนำมาสร้างเป็นข้อมูลการสะท้อนแสง (signature file) ของพื้นที่ปลูกอ้อยและพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ โดยเฉพาะพื้นที่การปลูกพืชไร่อื่น ๆ ที่ข้างเคียงกับพื้นที่ปลูกอ้อย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการทำเพิ่มข้อมูล สำหรับลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นที่เหล่านั้น ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้สำหรับการจำแนกรายละเอียดข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่ระวางด้วยวิธีแบบควบคุม ค่าการสะท้อนแสงของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ (pixel) ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมจะถูกคำนวณโดยมีค่าข้อมูลของ training area เป็นต้นแบบ และข้อมูลของทุก ๆ pixel จะถูกตัดสินด้วยวิธีการทางสถิติว่าควรเป็นข้อมูลที่ตกอยู่ในลักษณะพืชผล หรือการใช้ที่ดินประเภทใด (รูปที่ 32)

การจำแนกแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) ใช้หลักการจำแนกค่าการสะท้อนแสงของวัตถุเป็นหลัก (spectral classes) โดยไม่ใช้ค่าข้อมูลตัวอย่าง (training data) ในการกำหนดประเภทของการใช้ที่ดิน (รูปที่ 32) นั่นคือใช้ลักษณะการจับกลุ่มของข้อมูลที่มีค่าการสะท้อนของคลื่นแสงที่ใกล้เคียงกันให้อยู่ในชุดเดียวกัน และจากนั้นทำการเปรียบเทียบหรือให้ความหมาย (identify) ค่าข้อมูลที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันตามข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ เช่น ข้อมูลภาคสนาม แผนที่และภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลภาพดาวเทียมที่มีการจำแนกไว้ในเกณฑ์มาตรฐานที่เชื่อถือได้ (Lillesand and Kieffer, 1994a) ในทางปฏิบัติการจำแนกแบบนี้เรียกว่า การจัดกลุ่ม (clustering) อีกนัยหนึ่งเป็นการจัดกลุ่มของชุดข้อมูลค่าการสะท้อนคลื่นแสงของวัตถุที่ต้องการศึกษาซึ่งมีสองวิธีการ คือ 1) isodata clustering และ 2) RGB clustering คณะผู้วิจัยเลือกวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบแรกสำหรับการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยของทั้งสองพื้นที่

การจัดกลุ่มค่าเหมือนกัน (isodata clustering) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการวิเคราะห์ซ้ำด้วยค่าข้อมูลเดิมตั้งแต่ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลถึงขั้นตอนการคำนวณทางสถิติ โดยใช้ค่า spectral distance ที่น้อยที่สุดในการกำหนดกลุ่มของข้อมูลแต่ละชุด โดยเริ่มจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ระบุไว้ และคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ เหล่านั้น เปลี่ยนค่าเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลในทั้งชุดของภาพ (ERDAS, 1994a)

รูปที่ 31: ขั้นตอนการดำเนินงานสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยโดยใช้ GPS

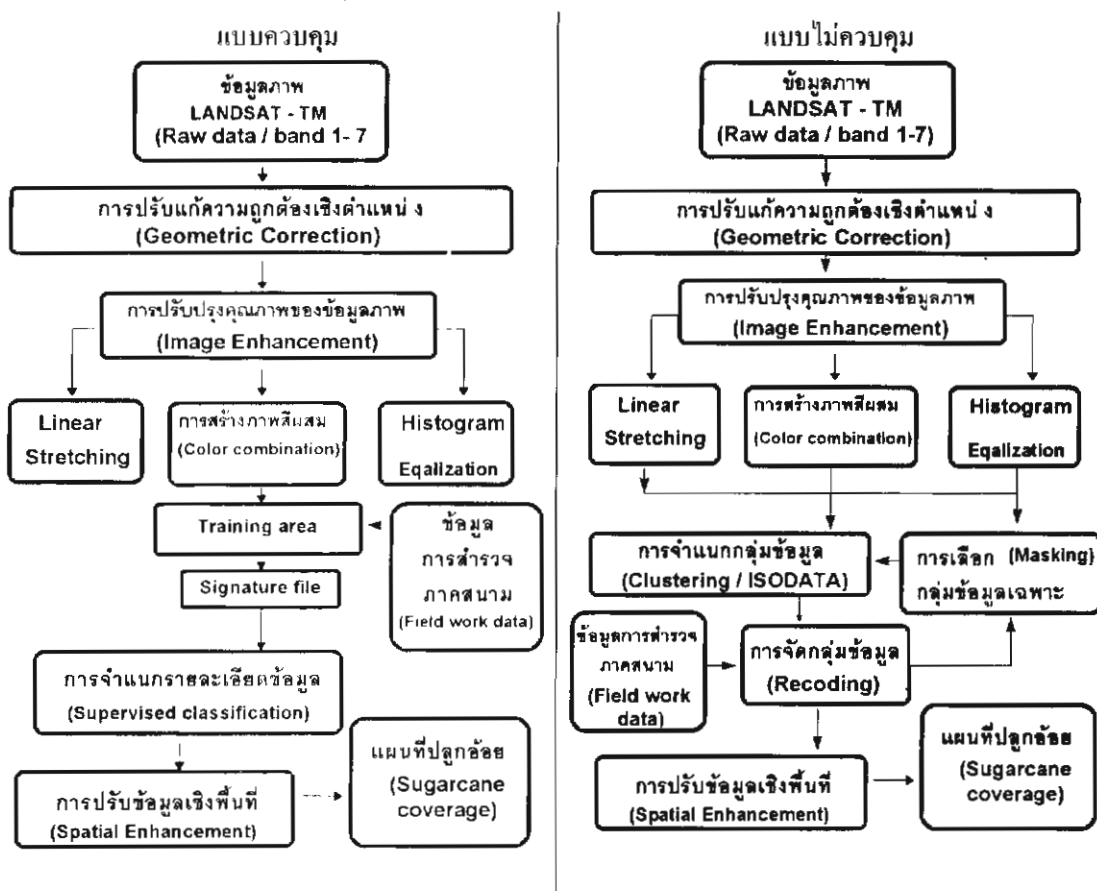


### การประเมินค่าความถูกต้อง (classification accuracy assessment)

การประเมินค่าความถูกต้องของการจำแนกค่าข้อมูลภาพจากดาวเทียมทั้งแบบควบคุมและไม่ควบคุมการจำแนก เป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญและจำเป็นมาก คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการประเมินความถูกต้องสองวิธีการ ได้แก่ error matrix และ KHAT statistic (Congalton, 1991; Carstensen, 1987; และ Foody, 1992) วิธีการแรกเป็นตารางแสดงจำนวนจุด (pixel) ที่กำหนดให้เป็นการใช้ที่ดินชนิดใดชนิดหนึ่งตามสภาพการใช้ที่ดินที่มีการตรวจสอบในสนาม (reference data) การสร้างตารางโดยทั่วไปกำหนดให้แนวดิ่ง (columns) แสดงจำนวนจุดที่มีตรงกับค่าที่ได้จากสนาม และในแนวนอน (row) แสดงจำนวนจุดที่ได้จากการแปลภาพ ในกรณีที่การประเมินมีความถูกต้องสูงมากจะได้ตารางที่มีจำนวนจุดในแนวทะแยงมุมของตารางเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การสร้างตาราง error matrix ยังทำให้คำนวณดัชนีความถูกต้องได้ 3 ค่าคือ ดัชนีกำหนด (producer accuracy) ดัชนีจริง (user accuracy) และดัชนีรวม (overall accuracy)

ดัชนีกำหนด (producer accuracy) คำนวณตามแนวดิ่งเป็นสัดส่วนระหว่างจำนวนจุดกำหนดที่ตรงกับ การใช้ที่ดินประเภทนั้นในสภาพจริงตามกำหนดในสนามและจำนวนจุดกำหนดที่รวมของจุดประเภทต่าง ๆ ที่ตกอยู่ในสภาพการใช้ที่ดินประเภทนั้น ๆ ดัชนีจริง (user accuracy) คำนวณตามแนวนอนเป็นสัดส่วนระหว่างจำนวนจุดกำหนดที่ตรงกับการใช้ที่ดินประเภทนั้นในสภาพจริงตามกำหนดในสนามและจำนวนรวมของจุดสภาพจริงประเภทนั้น ๆ ที่ตกอยู่ในค่ากำหนดของสภาพจริงประเภทอื่น ๆ ดัชนีรวม (overall accuracy) คำนวณตาม

รูปที่ 32: ขั้นตอนการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยวิธีแบบควบคุม (supervised classification) และวิธีแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification)



แนวทแยงมุมหลัก ตารางเป็นสัดส่วนระหว่างผลรวมของค่าที่สภาพกำหนดตรงกับสภาพจริงและผลรวมของจุดทั้งหมดในตาราง (Congalton, 1991) KHAI สามารถคำนวณได้สองลักษณะคือ KHAT รวม และ KHAT เฉพาะประเภทการใช้ที่ดิน Congalton (1991) ได้เสนอสมการที่ใช้ในการคำนวณ KHAT ดังนี้

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

โดยที่  $r$  จำนวนแถวในตาราง matrix

$x_{ii}$  จำนวนข้อมูลที่วัดในแถวที่  $i$  สอดคล้องที่  $i$

$x_{i+}$  และ  $x_{+i}$  จำนวนรวมที่แถว  $i$  และสดมภ์  $i$  ตามลำดับ

$N$  จำนวนรวมของข้อมูลที่วัดทั้งหมด

## ส่วนที่ 2 การทำแผนที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม

---

### กรณีศึกษาระวางน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น

ถาวร อ่อนประไพ อรรถชัย จินตะเวช

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา ทินกร กลมสอาด และ

สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์

**การจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียม** กรณีศึกษาระวางอำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ได้ใช้วิธีการศึกษาและกรรมวิธีข้อมูล ดังที่ได้กล่าวแล้วในวิธีการวิจัย เป็นข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537 (ภาพที่ 7 และ 8) และข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538 และใช้วิธีการจำแนกแบบควบคุม และแบบไม่ควบคุม พื้นที่ระวางอำเภอเมืองน้ำพองมีกิจกรรมการเกษตรหลายประเภทผสมผสานกัน (ภาพที่ 9 และ 10) ลักษณะคลื่นแสงของพื้นที่เกษตรกรรมหลัก ได้แก่ ข้าว อ้อย ข้าวโพด ปอ และมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีลักษณะคลื่นแสงของพืชพรรณอื่น เช่น ป่าไม้ สวนป่าปลูก (ยูคาลิปตัส) และสวนมะม่วง ลักษณะการใช้พื้นที่ดังกล่าวทำให้เกิดการผสมผสานกันของค่าคลื่นแสงภายในระวาง

## ผลการศึกษา

การจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยจากเทคนิคข้อมูลระยะไกลด้วยวิธีแบบควบคุม (supervised classification) และแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) ในพื้นที่ระวางน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น (ตารางที่ 87) พบว่าการจำแนกแบบควบคุมประเมินพื้นที่ปลูกอ้อยได้มากกว่าพื้นที่ปลูกอ้อยจริง เนื่องจากการจำแนกแบบควบคุมใช้ค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่อ้อยและการสะท้อนแสงของพื้นที่ปลูกอ้อยเป็นค่าสถิติในการจำแนก ซึ่งการศึกษาพบว่าค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่อ้อยมีการซ้ำซ้อนของค่าข้อมูลการใช้พื้นที่ดินประเภทอื่น ๆ ในระวางน้ำพองรวมอยู่ในค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ปลูกอ้อย นอกจากนี้พื้นที่ที่ดำเนินการศึกษาเป็นบริเวณที่กว้างมาก (ประมาณ 455,625 ไร่) การหาจุดศูนย์กลางสำหรับการจำแนกแบบควบคุมอาจจะยังไม่ทั่วถึงทุก ๆ ประเภทของลักษณะการใช้ที่ดิน อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความซ้ำซ้อนของค่าการสะท้อนแสงดังในประการแรกได้

สำหรับการจำแนกแบบไม่ควบคุมนั้น (ภาพที่ 11 และ 12) ประเมินพื้นที่ปลูกอ้อยได้ต่ำกว่าพื้นที่ปลูกอ้อยจริง เนื่องจากการจำแนกแบบไม่ควบคุมนี้สามารถใช้ค่าสถิติของข้อมูลทุก ๆ จุดภาพ แบ่งกลุ่มข้อมูลออกได้ภายในภาพเอง แต่จะมีปัญหาที่สำคัญ คือ ในกรรมวิธีนี้ยังไม่สามารถระบุพื้นที่ที่ติดอ้อย (ข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537) พื้นที่เตรียมดินเพื่อจะปลูกใหม่ (ข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537) และพื้นที่ที่อ้อยยังมีขนาดเล็ก (ข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538) ได้ เนื่องจากลักษณะค่าการสะท้อนแสง

ตารางที่ 87: ผลการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยของระวางน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น

| ข้อมูลภาพดาวเทียม | พื้นที่การปลูกอ้อย (ไร่)                         |                                                       |
|-------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                   | การจำแนกแบบควบคุม<br>(supervised classification) | การจำแนกแบบไม่ควบคุม<br>(unsupervised classification) |
| LANDSAT-5 TM      |                                                  |                                                       |
| บันทึกข้อมูลเมื่อ |                                                  |                                                       |
| 3 พ.ย. 2537       | 65,662.5                                         | 40,101.8                                              |
| 10 เม.ย. 2538     | 72,192.5                                         | 80,199.3                                              |

ของพื้นที่เหล่านี้ ส่วนใหญ่จะรวมอยู่ในพื้นที่ว่างเปล่า (bare soil) เช่นบริเวณสนามโรงเรียน ลานตากมันสำปะหลัง และที่รกร้างบางพื้นที่ อีกทั้งไม่สามารถระบุได้ว่าพื้นที่ที่เกษตรกรกำลังเตรียมดินอยู่นั้นจะใช้ปลูกพืชชนิดใด

## การประเมินค่าความถูกต้อง ระวางอำเภอ น้ำพอง

การประเมินค่าความถูกต้องของการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมระวางอำเภอ น้ำพอง พบว่ามีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับใกล้เคียงกันมาก (ตารางที่ 89) ค่าดัชนีความถูกต้องรวมและ ค่า Kappa statistics รวมของทั้งสองวิธีการแปลภาพดาวเทียมมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 73-79 และ 69-75 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่น่าพอใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปได้ โดยเฉพาะการจำแนกข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538 ด้วยวิธีการแบบไม่ควบคุม นอกจากนี้ค่าดัชนีความถูกต้องรวมของวิธีการดังกล่าวยังมีค่าสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม ค่า Kappa statistics ของพื้นที่อ้อยซึ่งมีการจำแนกแบบไม่ควบคุมของข้อมูลทั้งสองช่วงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งให้เห็นว่าในพื้นที่บริเวณศึกษานี้ การใช้ข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537 และทำการจำแนกรายละเอียดแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) จะให้ผลการจำแนกที่ถูกต้องมากที่สุด

## การสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยในขอบเขตระดับตำบล

ในพื้นที่ระดับตำบล คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยเทคนิค ระบบดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (GPS) ของพื้นที่ตำบลโนนท่อน อำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ในระหว่างเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2538 หลังจากที่ได้ทำการแปลภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ดังกล่าว เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบการศึกษาวิธีการทำแผนที่ปลูกอ้อยจากภาพถ่ายดาวเทียม รวมทั้งเป็นการเก็บข้อมูลช่วยในการสำรวจพิกัดตำแหน่งของพื้นที่ตัวอย่างการปลูกอ้อย (training area) ในการสร้างข้อมูลค่าการสะท้อนแสง (signature file) ของพื้นที่ปลูกอ้อย และพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ เพื่อใช้ในการจำแนกรายละเอียดแบบควบคุม (supervised classification) ตลอดจนถึงการใช้ GPS ในการสำรวจขอบเขตและพื้นที่ปลูกอ้อยภายในพื้นที่สุ่มตัวอย่าง 1 ตำบล เพื่อเปรียบเทียบพื้นที่ปลูกอ้อยจริงกับพื้นที่ปลูกอ้อยที่ได้จากการจำแนกรายละเอียดด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียม ขั้นตอนการดำเนินงานโดยใช้ GPS ได้แสดงไว้ในรูปที่ 31

การสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยภายในขอบเขตพื้นที่ตำบลสุ่มตัวอย่าง ได้ใช้วิธีการเดินสำรวจขอบเขต และรังวัดรอบทุก ๆ แปลงสำรวจโดยเครื่องมือ GPS การรังวัดจำเป็นต้องใช้ค่าความถูกต้องที่สุด สำหรับการคำนวณตำแหน่ง และพื้นที่ของพื้นที่ปลูกอ้อยทุก ๆ แปลง จึงใช้วิธีรังวัดแบบแก้ค่าความต่าง โดยดาวเทียม GPS จะทำการคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างจุดที่รู้จักที่แน่นอนแล้ว (base station) กับจุดที่กำลังคำนวณค่าพิกัดให้ (rover) และทำการปรับแก้ (โดยเปรียบเทียบกับจุดที่รู้จัก) ให้มีค่าความถูกต้องมากที่สุด (ภายในรัศมี 5 เมตร) การปฏิบัติงานรังวัดทั้งหมดนี้ เรียกว่า differential correction (Trimble Navigation; 1992) ซึ่งอาศัยค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหารในบริเวณใกล้เคียง เป็น base station ในการปฏิบัติ-

ตารางที่ 89: ดัชนีความถูกต้อง และ Kappa statistics ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสองวิธี: การของข้อมูลจากดาวเทียมทั้งสองช่วง ระวังน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น

|                    | ดัชนีความถูกต้อง |      |      | Kappa statistics |      |
|--------------------|------------------|------|------|------------------|------|
|                    | Producer         | User | รวม  | ย่อย             | รวม  |
| ควบคุม พย. 37      | 75.7             | 63.6 | 73.8 | 57.5             | 68.8 |
| ไม่ควบคุม พย. 37   | 71.9             | 85.2 | 78.9 | 83.1             | 74.6 |
| ควบคุม เม.ย. 38    | 75.0             | 61.2 | 75.0 | 54.1             | 70.1 |
| ไม่ควบคุม เม.ย. 38 | 78.3             | 85.2 | 78.9 | 82.6             | 74.9 |

งาน ข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยของบริเวณพื้นที่ศึกษา ได้ถูกนำมาสร้างเป็นไฟล์ข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยจริงภายในขอบเขตตำบล และถูกผนวกเข้ากับข้อมูลลักษณะค่าการสะท้อนแสง (signature file) ของพื้นที่ปลูกอ้อย เพื่อใช้ในการจำแนกรายละเอียดแบบ supervised classification อีกด้วย (ตารางที่ 90)

ตารางที่ 90: เปรียบเทียบพื้นที่การปลูกอ้อยในตำบลโนนท่อน อำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม

| วิธีการ                                 | ใหม่                     | เก่า                     |
|-----------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                         | พื้นที่ปลูกอ้อย<br>(ไร่) | พื้นที่ปลูกอ้อย<br>(ไร่) |
| การแปลภาพแบบควบคุม ภาพเดือน พย. 2537    | 4,388                    | 3,900                    |
| การแปลภาพแบบไม่ควบคุมภาพเดือน พย. 2537  | 4,278                    | 4,813                    |
| การแปลภาพแบบควบคุม ภาพเดือน เม.ย. 2538  | 6,298                    | 11,400                   |
| การแปลภาพแบบไม่ควบคุมภาพเดือน เม.ย 2538 | 3,638                    | 8,356                    |
| ผลการสำรวจโดย GPS                       | 1,344                    | 1,244                    |
| การสอบถามเกษตรกรในภาคสนาม               | 2,842                    | 2,842                    |

## ส่วนที่ 2 การทำแผนที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม

---

### กรณีศึกษาระวางอุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

ถาวร อ่อนประไพ อรรถชัย จินตะเวช

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา ทินกร กลมสอาด

ปรีชา พราหมณีย์ และ เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง

**การจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียมระวางอำเภอรูทอง จังหวัดสุพรรณบุรี** ใช้วิธีการศึกษาและกรรมวิธีข้อมูลเช่นเดียวกับระวางอำเภอน้ำโพรง จังหวัดขอนแก่น เป็นข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537 (ภาพที่ 13) และข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538 (ภาพที่ 14)

## ผลการศึกษา

พบว่าผลการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยจากเทคนิคข้อมูลระยะไกลด้วยวิธีแบบควบคุม (ภาพที่ 15-18) ในพื้นที่ระวางอู๋ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ของข้อมูลแต่ละเดือนมีผลใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 91) ผลการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลเดือนพฤศจิกายน 2537 มีมากกว่าพื้นที่ปลูกอ้อยข้อมูลเดือนเมษายน 2538

ตารางที่ 91: ผลการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยของระวางอู๋ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

| บันทึกข้อมูลเมื่อ | พื้นที่การปลูกอ้อย (ไร่) |                      |
|-------------------|--------------------------|----------------------|
|                   | การจำแนกแบบควบคุม        | การจำแนกแบบไม่ควบคุม |
| 3 พ.ย. 2537       | 129,125.0                | 121,528.7            |
| 10 เม.ย. 2538     | 75,892.5                 | 81,641.2             |

## การประเมินค่าความถูกต้อง ระวางอำเภอรูทอง

พบว่ามีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงและมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 92) ค่าดัชนีรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 82-87 ของทั้งสองวิธีการจำแนกข้อมูลดาวเทียม และมีค่า Kappa statistics อยู่ในช่วงร้อยละ 77-84 ซึ่งจัดเป็นค่าความถูกต้องในระดับที่พอใช้ได้ถึงระดับค่อนข้างดี ยกเว้นการจำแนกข้อมูลดาวเทียมของเดือนเมษายน 2538 ด้วยวิธีการแบบควบคุมที่ค่อนข้างคลาดเคลื่อนเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีเฉพาะพื้นที่อ้อยตามค่า Kappa statistics ของการประเมินค่าความถูกต้อง ชี้ให้เห็นว่าในพื้นที่ที่ทำการศึกษานี้การใช้ข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537 และทำการจำแนกรายละเอียดแบบควบคุม (supervised classification) ให้ผลการจำแนกที่ถูกต้องมากกว่าการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในเดือนเมษายน 2538 และใช้วิธีการจำแนกแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification)

ตารางที่ 92: ดัชนีความถูกต้อง และ Kappa statistics ระวางอู๋ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

|                    | ดัชนีความถูกต้อง |      |      | Kappa Statistics |      |
|--------------------|------------------|------|------|------------------|------|
|                    | Producer         | User | รวม  | อ้อย             | รวม  |
| ควบคุม พ.ย. 37     | 90.0             | 85.7 | 87.1 | 81.3             | 84.0 |
| ไม่ควบคุม พ.ย. 37  | 92.9             | 82.8 | 84.3 | 77.8             | 81.0 |
| ควบคุม เม.ย. 38    | 87.8             | 85.7 | 82.0 | 82.9             | 77.7 |
| ไม่ควบคุม เม.ย. 38 | 82.2             | 80.4 | 83.5 | 76.2             | 80.1 |

## สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

โครงการ พทอำเภอบ ได้ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสามประเภทได้แก่ เทคนิคข้อมูลระยะไกล (RS) ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) และแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย เพื่อพัฒนาและหาวิธีการประเมินผลผลิตของอ้อยให้ได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด เทคโนโลยีสารสนเทศสองอย่างแรกเป็นเทคโนโลยีที่สามารถจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ดี การใช้เทคโนโลยีข้อมูลเชิงพื้นที่นี้ ได้เน้นการพัฒนาวิธีการจำแนกรายละเอียด เพื่อทำแผนที่ของพื้นที่การปลูกอ้อยด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียมได้ใช้วิธีการจำแนกรายละเอียดแบบใช้ลักษณะค่าการสะท้อนแสงของพืชพรรณภายในพื้นที่ตัวอย่าง (training area) เป็นหลักในการจำแนก (supervised classification) คือ คำนวณการตัดสินใจภาพของข้อมูลภาพดาวเทียมจากค่าสถิติของพื้นที่ตัวอย่าง และนำมาจัดจำแนกเป็นข้อมูลการใช้ประโยชน์ในเชิงพื้นที่ และทำการจำแนกด้วยวิธีแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) เพื่อเปรียบเทียบวิธีการและผลการจำแนก

## กรณีระวางอำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น

ผลการจำแนกด้วยวิธีแบบควบคุมยังไม่ได้ผลดีมากนัก เนื่องจากหลังการจำแนกแล้วยังมีความการสะท้อนแสงของพืชพรรณ (spectral reflectance) บางชนิด เช่นมันสำปะหลัง ที่ปะปนอยู่กับค่าการสะท้อนแสงของพื้นที่การปลูกอ้อย สำหรับการจำแนกรายละเอียดข้อมูล โดยเน้นวิธีการเฉพาะทางสถิติเข้าร่วมกับข้อมูลภาพสนาม หรือแบบไม่ควบคุม จากรายละเอียดผลการประเมินค่าความถูกต้อง ให้ผลที่น่าจะใกล้เคียงมากกว่า

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อย คือลักษณะความซับซ้อนของแปลงปลูกที่มีขนาดเล็ก และปลูกพืชไร่อื่นหมุนเวียนทำให้ยากแก่การจำแนกด้วยวิธีดังกล่าว Keig et al (1991) ได้พยายามใช้ข้อมูลจากภาพดาวเทียม LANDSAT TM และ SPOT ที่มีขนาดรายละเอียดสูง จำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยในประเทศออสเตรเลียและเชื่อมโยงเข้ากับ GIS และระบบการจัดการฐานข้อมูลการปลูกอ้อย PROSPER ซึ่งยังมีปัญหาเช่นเดียวกัน คือ ความซับซ้อนของข้อมูลที่มีรายละเอียดเล็กเกินไป และขณะนี้ยังคงมีความพยายามในการวิเคราะห์ศักยภาพ ของค่าคุณสมบัติการสะท้อนแสงของอ้อยและพืชอื่น ๆ ต่อไป

จากการประเมินค่าความถูกต้องของการจำแนกรายละเอียด วิธีการจำแนกแบบไม่ควบคุมเป็นวิธีการที่ให้ค่าดัชนีความถูกต้องทั้งสามค่าและค่า KHAT สูงกว่าวิธีการแปลภาพแบบควบคุมของข้อมูลดาวเทียมเดือนพฤศจิกายน 2537 และเดือนเมษายน 2538 เนื่องจากมีความแตกต่างกันในด้านเทคนิคบางประการที่ใช้ในการจำแนกรายละเอียดจากทั้งสองวิธี วิธีการจำแนกแบบควบคุมใช้การแบ่งประเภทรายละเอียดตาม signature file ที่ได้จาก training area ของสภาพการเกษตรกรรมและสภาพการใช้ที่ดินแต่ละประเภทจากภาคสนาม ในทางปฏิบัติผู้วิเคราะห์สามารถที่จะเลือกตัวแทนของสภาพการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ให้มีค่าการสะท้อนแสง (spectral reflectance) ของกิจกรรมนั้น ๆ ที่เป็นเอกภาพ (unique) มากที่สุด คือไม่ให้มีลักษณะการใช้ที่ดินอื่น ๆ ผสมผสาน หรือมีแต่น้อยที่สุด เพื่อเป็นค่า signature file ที่สมบูรณ์ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่ในทางความเป็นจริง ความเป็นไปได้เช่นกันที่ค่าการสะท้อนแสงของกิจกรรมอื่น ๆ ในพื้นที่ที่กว้างใหญ่ที่ผู้วิเคราะห์ไม่สามารถกำหนดจุด training area ครอบคลุมถึง จะมีการปะปน หรือมีค่าใกล้เคียงกับค่า training area ที่ได้เลือกไว้สำหรับการใช้

ที่ดินแต่ละประเภท จำนวน training area และการรู้จักลักษณะกิจกรรมทางการเกษตรและการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากภาคสนามและจากข้อมูลอื่น ๆ ของพื้นที่จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับวิธีการนี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งขนาดพื้นที่ที่มีความใหญ่มากขึ้นเท่าใด ความยากลำบากในการกำหนด training area เพื่อการสร้าง signature file ก็จะมีมากขึ้นตามลำดับ สำหรับการจำแนกรายละเอียดแบบไม่ควบคุม ในทางปฏิบัติไม่มีการเลือก training area เพื่อการสร้าง signature file ของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน การแบ่งและจำแนกประเภทการใช้ที่ดินด้วยวิธีแบบไม่ควบคุมนี้ใช้ค่าสถิติของข้อมูลที่เป็นค่าการสะท้อนแสงของลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทเป็นตัวกำหนดชั้นของประเภทข้อมูล และข้อมูลภาคสนามหรือข้อมูลเชิงพื้นที่อื่น ๆ เป็นตัวช่วยระบุชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งสามารถแบ่งให้ละเอียดได้เท่าที่ค่าข้อมูลจะจำแนกได้ การจำแนกด้วยวิธีนี้ลักษณะค่าการสะท้อนแสงของการใช้ประโยชน์ที่ดินจึงเป็นตัวกำหนดชั้นของข้อมูลเอง โดยค่าลักษณะการสะท้อนแสงของกิจกรรมแต่ละอย่างจะถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ เป็นประเภทของข้อมูลที่จำแนกได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังสามารถทำการแยกชนิดข้อมูลที่ผู้วิเคราะห์ไม่ต้องการออกจากการจำแนกได้

อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของทั้งสองวิธี มีส่วนเกี่ยวข้องกับขนาดพื้นที่ที่ทำการจำแนก จำนวนชั้นประเภทของข้อมูลที่ต้องการจำแนก และความพร้อมในการปฏิบัติงานของผู้วิเคราะห์ กล่าวคือ หากเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก มีความแปรปรวนและความซับซ้อนทางข้อมูลน้อย ผู้วิเคราะห์สามารถเก็บข้อมูล training area ได้อย่างละเอียดถี่ถ้วน การจำแนกแบบควบคุมจะให้ค่าความถูกต้องของข้อมูลที่จำแนกได้ดีกว่า ในขณะที่หากเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ผู้วิเคราะห์ไม่สามารถที่จะสำรวจและหา training area ได้อย่างครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ การจำแนกแบบไม่ควบคุมน่าจะเหมาะสมและให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกรายละเอียดข้อมูลได้ดีกว่า และเนื่องจากพื้นที่ในการศึกษานี้มีขนาดพื้นที่ที่ใหญ่ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ ค่าความถูกต้องของการจำแนกแบบไม่ควบคุมจึงให้ค่าที่ดีกว่าการจำแนกแบบควบคุม

## กรณีระวางอำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

ผลการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยของระวางอำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ให้ผลการจำแนกด้วยวิธีแบบควบคุม และแบบไม่ควบคุมที่ได้ผลค่อนข้างดี เนื่องจากพื้นที่เกษตรกรรมในระวางมีรูปแบบและความต่อเนื่องที่ชัดเจน ทำให้ค่าลักษณะการสะท้อนแสงของข้อมูลมีความซับซ้อนน้อยกว่าค่าข้อมูลของระวางอำเภอน้ำโพรง

การประเมินค่าความถูกต้องของการจำแนกรายละเอียด ของระวางอำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่ามีค่าความถูกต้องที่ค่อนข้างสูงและอยู่ในระดับใกล้เคียงกันมาก คือมีค่าดัชนีรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 82-87 ของทั้งสี่วิธีการแปลภาพดาวเทียม ในขณะที่ค่า KHAT รวมที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 77-84 ซึ่งเป็นค่าความถูกต้องในระดับที่ค่อนข้างดี สำหรับการแปลภาพดาวเทียมของเดือนเมษายน 2538 ด้วยวิธีการแบบควบคุมค่อนข้างคลาดเคลื่อนเล็กน้อย อย่างไรก็ตามจากผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีเฉพาะพื้นที่อ้อยตามค่า Kappa statistics ของการประเมินค่าความถูกต้องแล้ว ชี้ให้เห็นว่าในพื้นที่บริเวณศึกษานี้ การใช้ข้อมูลภาพเดือน พฤศจิกายน และการจำแนกรายละเอียดแบบควบคุมจะให้ผลการจำแนกที่ถูกต้องมากที่สุด

การแปลงภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อผลิตแผนที่ปลูกอ้อยเชิงตัวเลขมีประโยชน์สองส่วน ส่วนแรกเป็นการพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมในทางปฏิบัติเพื่อการแปลงข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมเพื่อแสดงตำแหน่งที่แท้จริงของพื้นที่การปลูกอ้อย วิธีการที่ได้จากการกิจกรรมการวิจัยนี้จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานในส่วนราชการและส่วนเอกชนสามารถผลิตและประมาณพื้นที่การปลูกอ้อยได้ใกล้เคียงกับพื้นที่ผลิตจริงมากขึ้นกว่าเดิม ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมมีปริมาณมาก และมีข้อมูลใหม่ทุก 16 วันตามรอบของดาวเทียมที่มีกำหนดผ่านพื้นที่ประเทศไทย ประโยชน์ในส่วนที่สองได้แก่ความสามารถในการนำแผนที่การปลูกอ้อยที่ได้จากการแปลงข้อมูลดาวเทียมไปเชื่อมโยงเข้ากับระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการผลิตอ้อย ThaiSIS 1.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เอื้อให้ผู้ใช้งานสามารถเชื่อมข้อมูลเชิงพื้นที่ชุดอื่นในระบบ รวมทั้งแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย ThaiCane 1.0 เป็นระบบที่ผู้ใช้งานสามารถประมาณการผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ ในกรณีศึกษาที่คณะผู้วิจัยได้เลือกทำการศึกษาจะสามารถคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาด 27 x 27 ตารางกิโลเมตร ในทางปฏิบัติการผลิตแผนที่การปลูกอ้อยในระดับชาวไร่มีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ที่ผู้วิจัยเลือกทำการศึกษาเป็นอย่างมาก ในระดับโรงงานน้ำตาลอาจมีความต้องการแผนที่การปลูกอ้อยที่มีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ตัวอย่างมากและในทางปฏิบัติแล้ววิธีการที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถขยายได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน แต่อาจจะต้องการขนาดข้อมูลดาวเทียมใหญ่ขึ้นและต้องการเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อความรวดเร็วในการวิเคราะห์ข้อมูล

## การเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่บนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC

การแปลงภาพถ่ายดาวเทียม (image processing) เป็นขั้นตอนหนึ่งของการเตรียมข้อมูลที่มีผลลัพธ์ที่สำคัญต่อการประเมินพื้นที่การผลิตอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศนั้นคือ แผนที่การปลูกอ้อยเชิงตัวเลข (digital sugarcane map)

ตั้งแต่เริ่มโครงการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการแปลงภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในระดับ workstation ผลิตโดยบริษัท SUN เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับกลาง มีระบบจัดการเครื่องแบบ UNIX และใช้โปรแกรมแปลงภาพถ่ายดาวเทียม ERDAS

ในระยะ 5 ปี ที่ผ่านมาการพัฒนาเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC มีอัตราสูงมาก และมีเทคโนโลยีด้าน hardware ออกมาหลายรุ่นที่มีความสามารถประมวลผลข้อมูลตัวเลขในระดับสูง รวมทั้งมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งผู้ใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC สามารถใช้แปลงข้อมูลจากดาวเทียมได้ (ตารางที่ 93)

## การขยายผลการศึกษา

หมายถึงการวิจัยเพื่อศึกษาโอกาสและความเป็นไปได้เพื่อใช้วิธีการจำแนกข้อมูลดาวเทียมของทั้งสองระวางเพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูลหลายระวางที่ครอบคลุมพื้นที่ระดับจังหวัดและเขตการผลิตอ้อย การศึกษาลักษณะคลื่นแสงของข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อทำแผนที่แสดงพื้นที่การปลูกอ้อยที่ผ่านมา โครงการ พทอ. ได้ใช้กรณีศึกษา

ตารางที่ 93: ข้อเปรียบเทียบด้าน hardware software และ การฝึกอบรม ของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC และ SUN

| ระบบ                   | PC                                                                                                              | SUN workstation                                                                                                       |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hardware:</b>       |                                                                                                                 |                                                                                                                       |
| • operating system     | MS-DOS                                                                                                          | Solaris 2.3                                                                                                           |
| • hard disk space      | 10 MB                                                                                                           | 250 MB                                                                                                                |
| • swap space           |                                                                                                                 | 90 MB                                                                                                                 |
| • memory on main board | at least 8 MB                                                                                                   | 32 MB (64 MB when using a 24-bit display)                                                                             |
| • window manager       | Windows 3.1 and 95                                                                                              | Open Windows 3.2                                                                                                      |
| <b>Software:</b>       |                                                                                                                 |                                                                                                                       |
| • ชื่อ                 | IDRISI 1.0 for Windows                                                                                          | ERDAS 8.2                                                                                                             |
| • ราคารวม              | 80,000 บาท                                                                                                      | 1,200,000 บาท                                                                                                         |
| • ประสิทธิภาพ          | มีคำสั่งและทางเลือกในการปฏิบัติงานพอสมควรเหมาะต่องานที่ต้องการรายละเอียดในการจำแนกภาพถ่ายในระดับการจำแนกปานกลาง | มีคำสั่งและทางเลือกในการปฏิบัติงานมากกว่า เหมาะต่องานที่ต้องการรายละเอียดในการจำแนกภาพถ่ายในระดับการจำแนกสูงถึงสูงมาก |
| <b>การฝึกอบรม:</b>     |                                                                                                                 |                                                                                                                       |
|                        | ใช้อุปกรณ์ งบประมาณและระยะเวลาในการฝึกอบรมน้อยกว่าเครื่อง SUN                                                   | ใช้อุปกรณ์ งบประมาณและระยะเวลาในการฝึกอบรมมากกว่าเครื่อง PC                                                           |

เป็นเฉพาะระวางตัวอย่าง ที่มีขนาดพื้นที่ sub-fullscene ของเทปข้อมูลภาพถ่ายเทียม ซึ่งเท่ากับขนาด 1 ระวางของแผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร (27x27 ตร.กม.) ซึ่งลักษณะคลื่นแสงของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินมีการผสมผสาน และมีค่าเฉพาะภายในข้อมูลของระวางนั้น ๆ โครงการ พทอ. ได้คาดหวังว่างานจำแนกข้อมูลพื้นที่การปลูกอ้อยที่ควรจะได้ทดลองศึกษา คือ

- หากทำการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ระดับจังหวัด หรือภูมิภาคที่ขนาดมากกว่า 1 path การโคจรของดาวเทียม โดยใช้ค่าของ signature file ที่เกิดจากพื้นที่ตัวอย่าง (training area) ภายใน 1 ระวาง หรือ 1 path จะสามารถกระทำได้หรือไม่

- ซึ่งถ้าสามารถทำได้ ก็จะเป็นประโยชน์ต่องานจำแนกพื้นที่การปลูกอ้อยเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะเป็นการประหยัดเวลา และกำลังในการหาพื้นที่และสร้าง signature file ข้อมูลสำหรับพื้นที่ใหญ่ ๆ ดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตาม หากไม่สามารถทำได้สำเร็จ กรรมวิธีข้อมูลด้วยเทคนิคต่าง ๆ ก็จะสามารถช่วยงานจำแนกข้อมูลในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ แต่ประเด็นปัญหาที่สำคัญน่าจะอยู่ที่ประสิทธิภาพของ hardware และการจัดการข้อมูลจำนวนมากจะมีวิธีการอย่างไรที่จะสามารถดำเนินการวิธีข้อมูลเหล่านั้นให้ได้แผนที่แสดงพื้นที่การปลูกอ้อยได้ทันเวลาตามที่ต้องการ

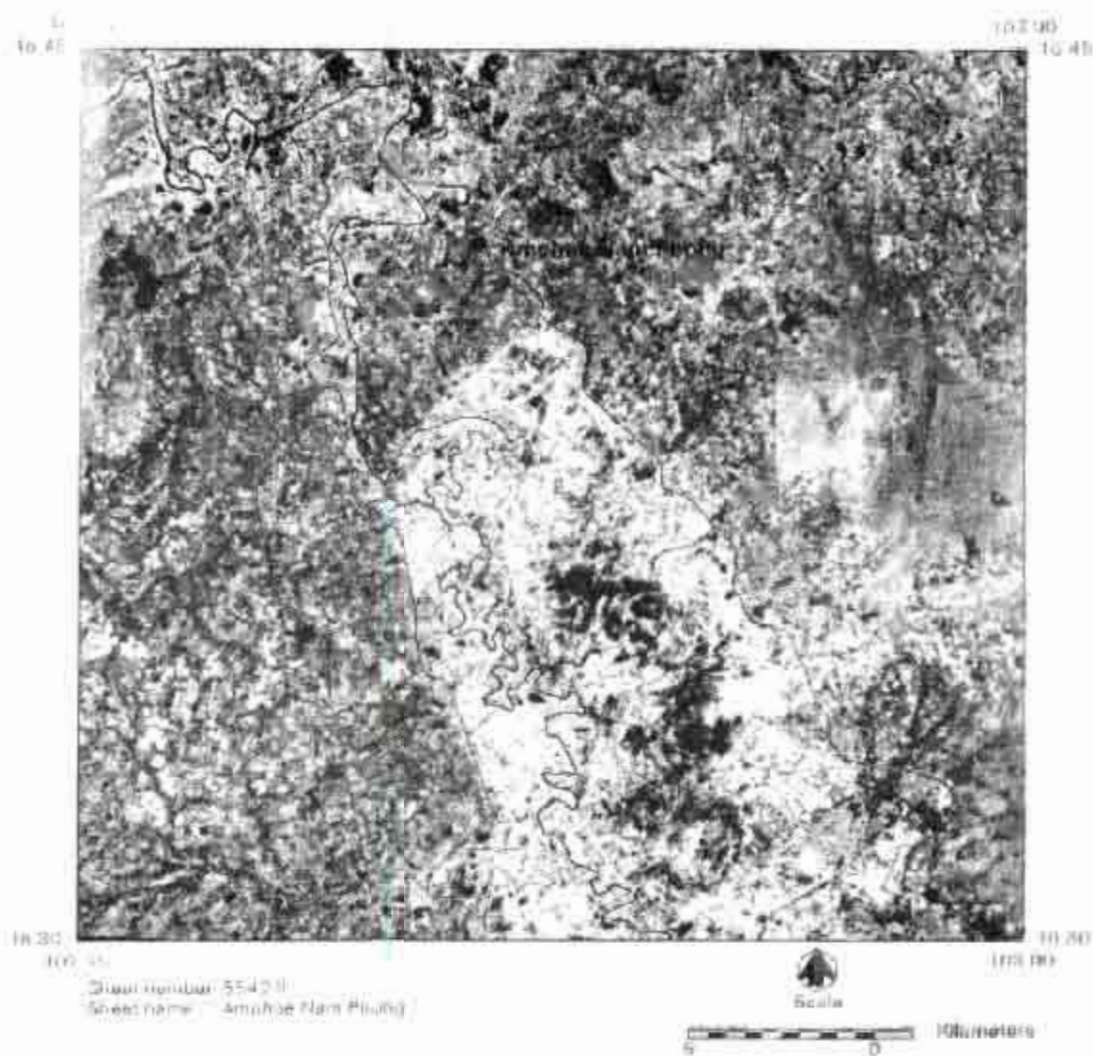
### การจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมในช่วงคลื่น Microwave

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่สามารถแสดงพื้นที่ปลูกอ้อยที่สมบูรณ์จริง ๆ จะอยู่ในช่วงปลายฤดูฝน ซึ่งข้อมูลพื้นที่ส่วนใหญ่มีปัญหาเรื่องข้อมูลเมฆบดบังรายละเอียด และข้อมูลปกติในช่วงคลื่น visible และ infrared ของดาวเทียม LANDSAT และดาวเทียมอื่น ๆ ในช่วงคลื่นเดียวกันไม่สามารถทะลุผ่านได้

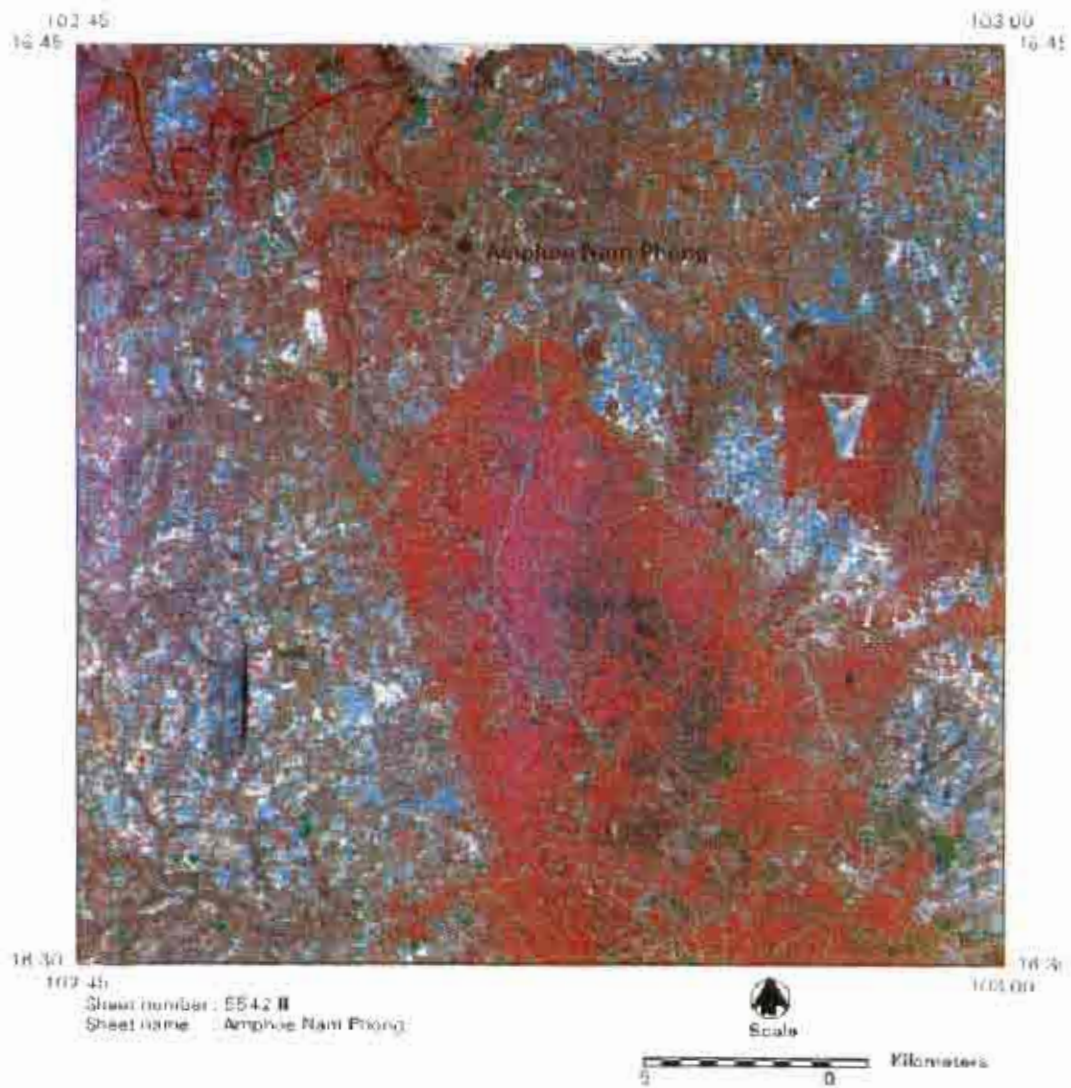
ข้อมูลระยะไกลในช่วงคลื่น microwave ถูกเก็บบันทึกด้วยแถบพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร ซึ่งมีความยาวกว่าแถบช่วงคลื่นที่สั้นที่สุดถึง 2,500,000 เท่า ระบบบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นนี้เรียกว่า RADAR ซึ่งถือเป็นแบบ active remote sensing คือสามารถผลิตสัญญาณขึ้นได้เองโดยส่งสัญญาณจากพาหนะบันทึกข้อมูลไปยังพื้นที่เป้าหมาย จากนั้นสัญญาณจะสะท้อนกลับสู่ระบบบันทึกข้อมูลนั้นอีกครั้งหนึ่ง ระบบ active remote sensing จึงสามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งกลางวันและกลางคืน คุณสมบัติของระบบบันทึกข้อมูลแบบ RADAR ในช่วงคลื่น microwave คือ (Lillisand and Kiefer, 1994a&b)

- สามารถผ่านทะลุบรรยากาศได้เกือบทุกสภาพ เช่น เมฆ หมอก หมอกแดด หิมะ ฝน และควัน เป็นต้น
- ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่น microwave ของข้อมูลบางชนิดบนพื้นโลกจะแตกต่างกับการสะท้อนในช่วงคลื่น visible เช่นลักษณะพื้นผิวที่ปรากฏในช่วงคลื่น visible เป็นพื้นผิวที่ขรุขระอาจปรากฏในช่วงคลื่น microwave เป็นพื้นผิวที่ราบเรียบได้ ทั้งนี้เกิดจากข้อมูลที่เป็นการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสีพลังงานความร้อนในช่วงคลื่น microwave นี้ ทำให้เห็นลักษณะพื้นผิวที่ต่างจากช่วงคลื่น visible โดยลักษณะการส่งผ่านสัญญาณข้อมูล RADAR เป็นแบบช่วงคลื่น (wavelength) และแบบส่งโดยตรง (polarization) ข้อมูลระยะไกลที่ประยุกต์ใช้ช่วงคลื่น microwave นี้ สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะตามประเภทยานพาหนะในการเก็บข้อมูล คือข้อมูล RADAR ที่ได้จากเครื่องบิน (airborne) และดาวเทียม (spaceborne) ในการเก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งระบบ SAR ทำงานโดยกำหนดช่วงคลื่นออกตั้งแต่ K-band ที่ความยาว 0.75-1.1 ซม. จนถึง P-band ที่ความยาว 30-100 ซม.

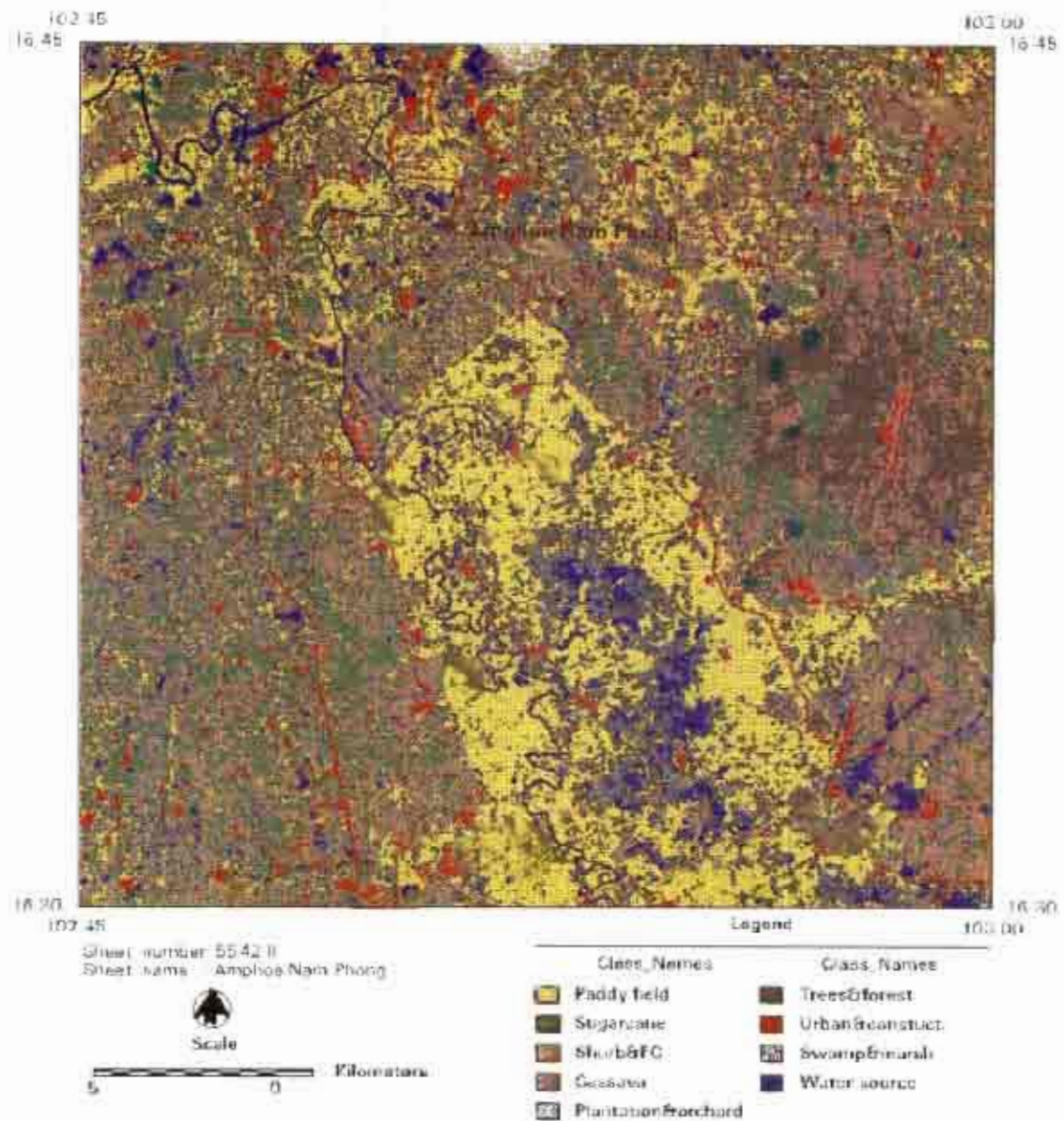
ภาพที่ 7 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM แบนด์ 4 ระหว่าง ยำน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น  
บันทึกข้อมูลเมื่อ พ.ศ. 2537



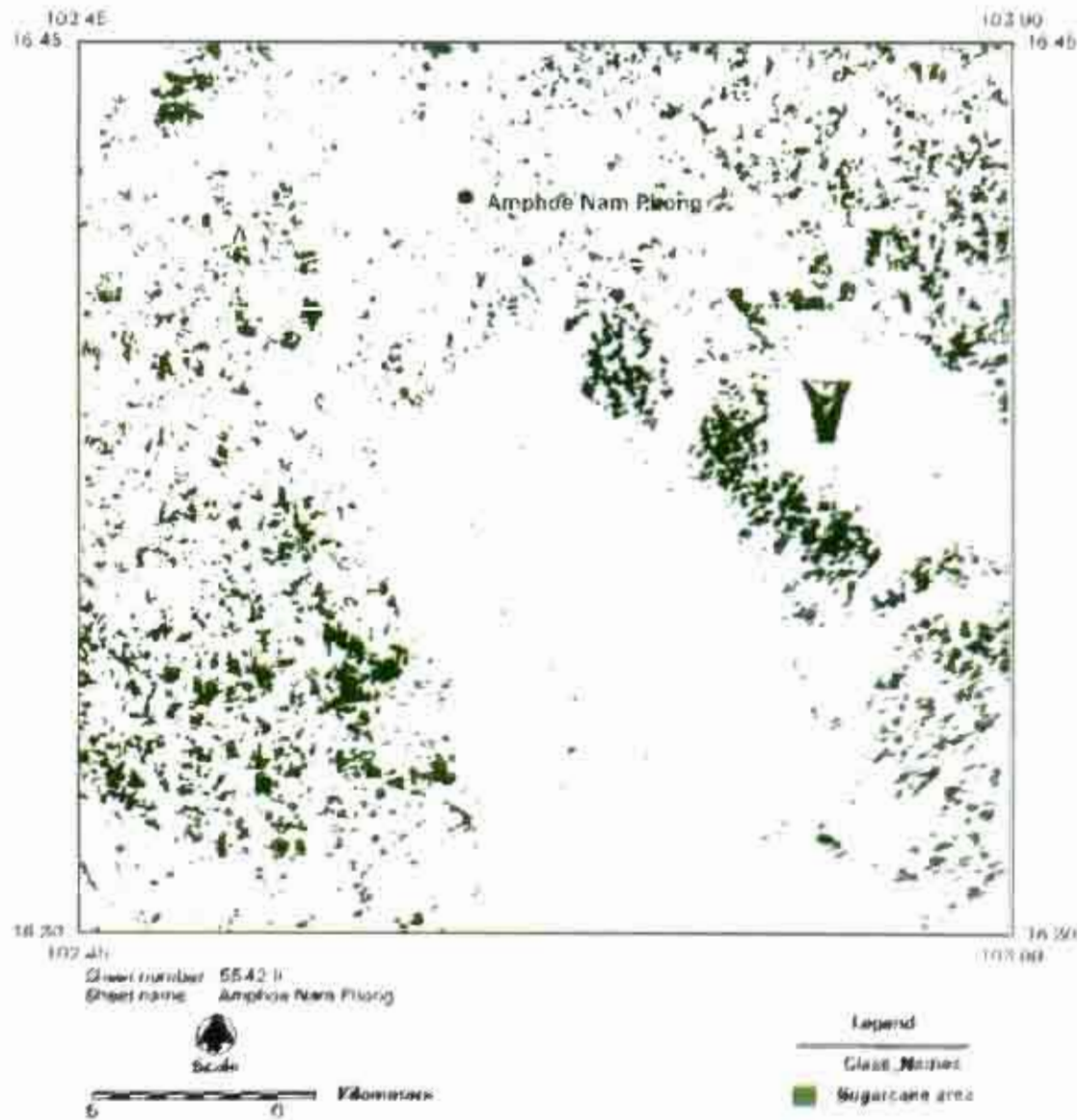
ภาพที่ 8: ข้อมูลภาพสีผสม แบนด์ 5,4,3/RGB จากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ราชวัง อำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น บันทึกข้อมูลเมื่อ พ.ย. 2537



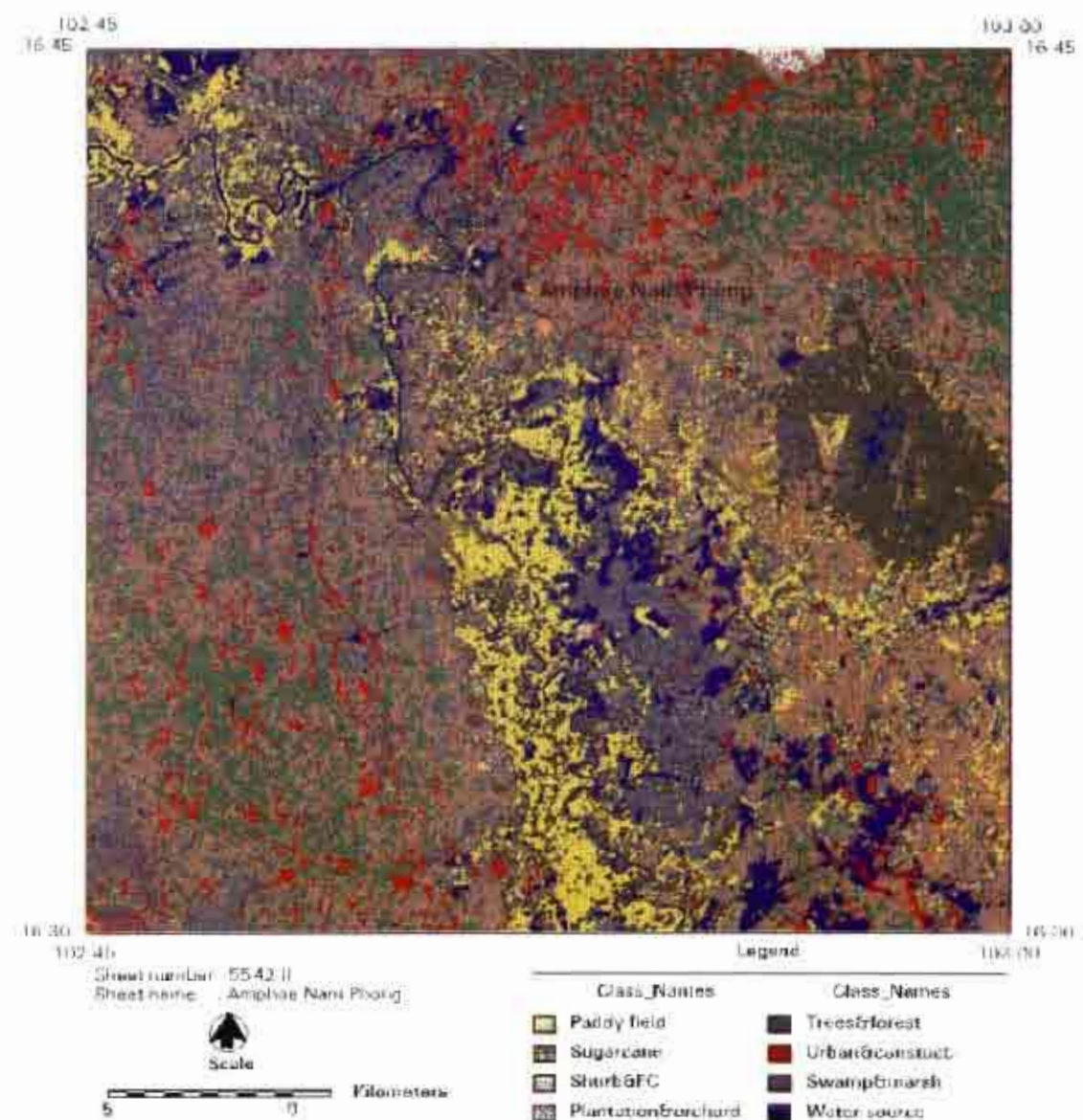
ภาพที่ 9: การใช้ประโยชน์ที่ดินระวาง อำเภอสำพะอง จังหวัดขอนแก่น จำแนกด้วยวิธีแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) ข้อมูล LANDSAT/TM บันทึกข้อมูลเมื่อ พ.ย. 2537



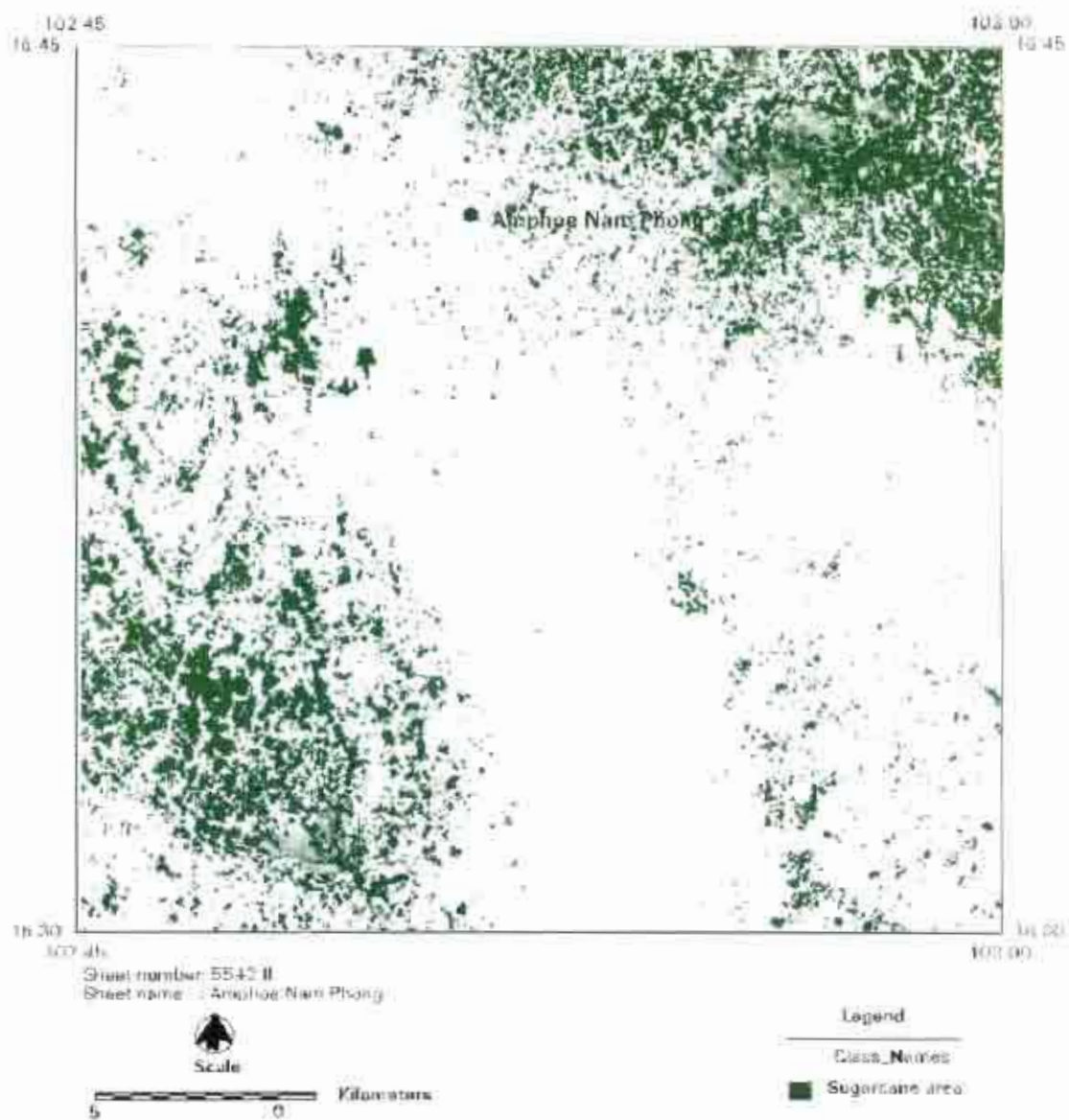
ภาพที่ 10: พื้นที่ปลูกอ้อยระหว่าง อำเภอคำพ่อง จังหวัดขอนแก่น จำแนกด้วยวิธีแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) ข้อมูล LANDSAT/TM บันทึกข้อมูลเมื่อ พ.ย. 2537



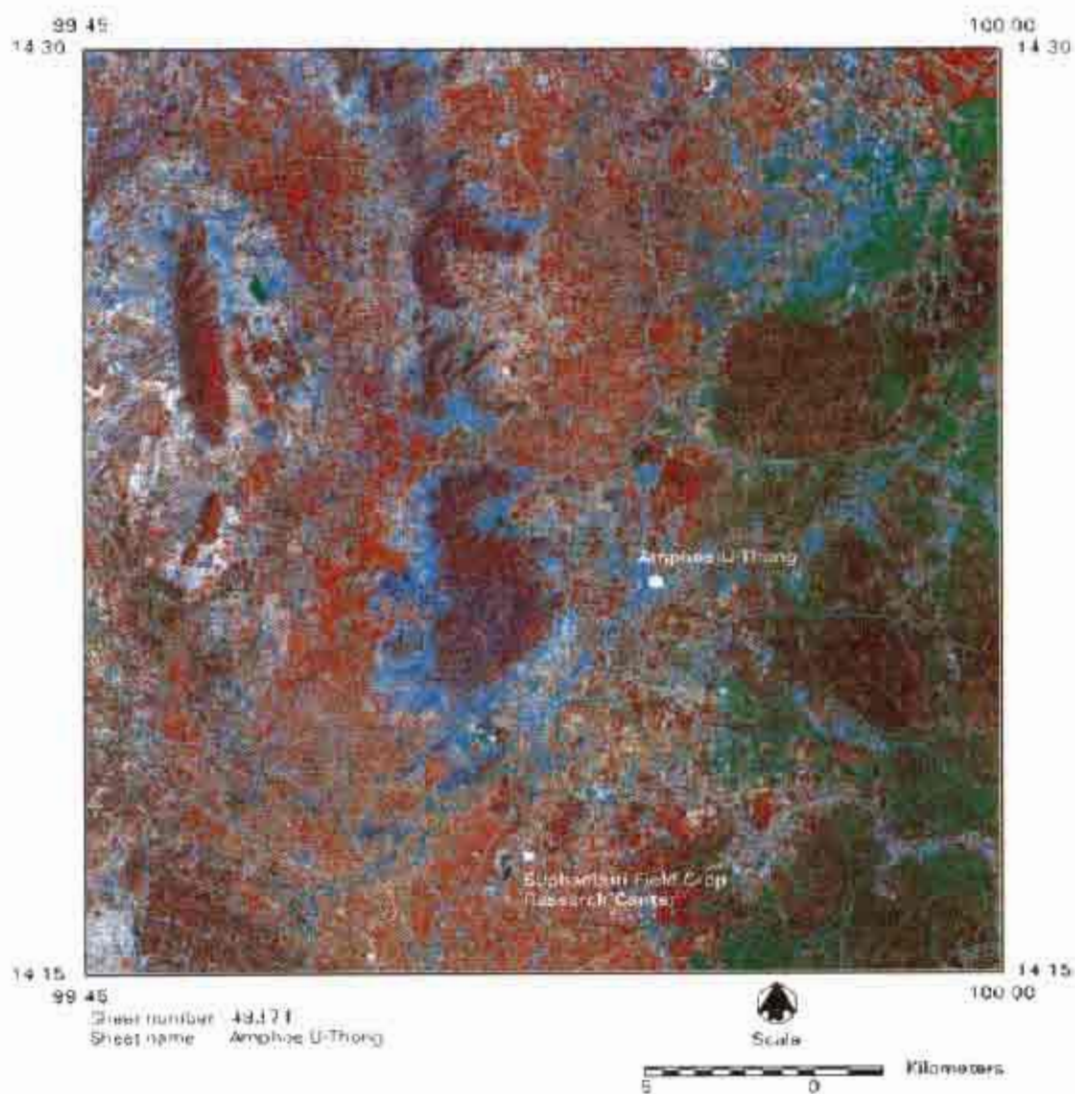
ภาพที่ 11: การใช้ประโยชน์ที่ดินระวาง อำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น จำแนกด้วยวิธีแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) ข้อมูล LANDSAT/TM บันทึกข้อมูลเมื่อ เม.ย. 2538



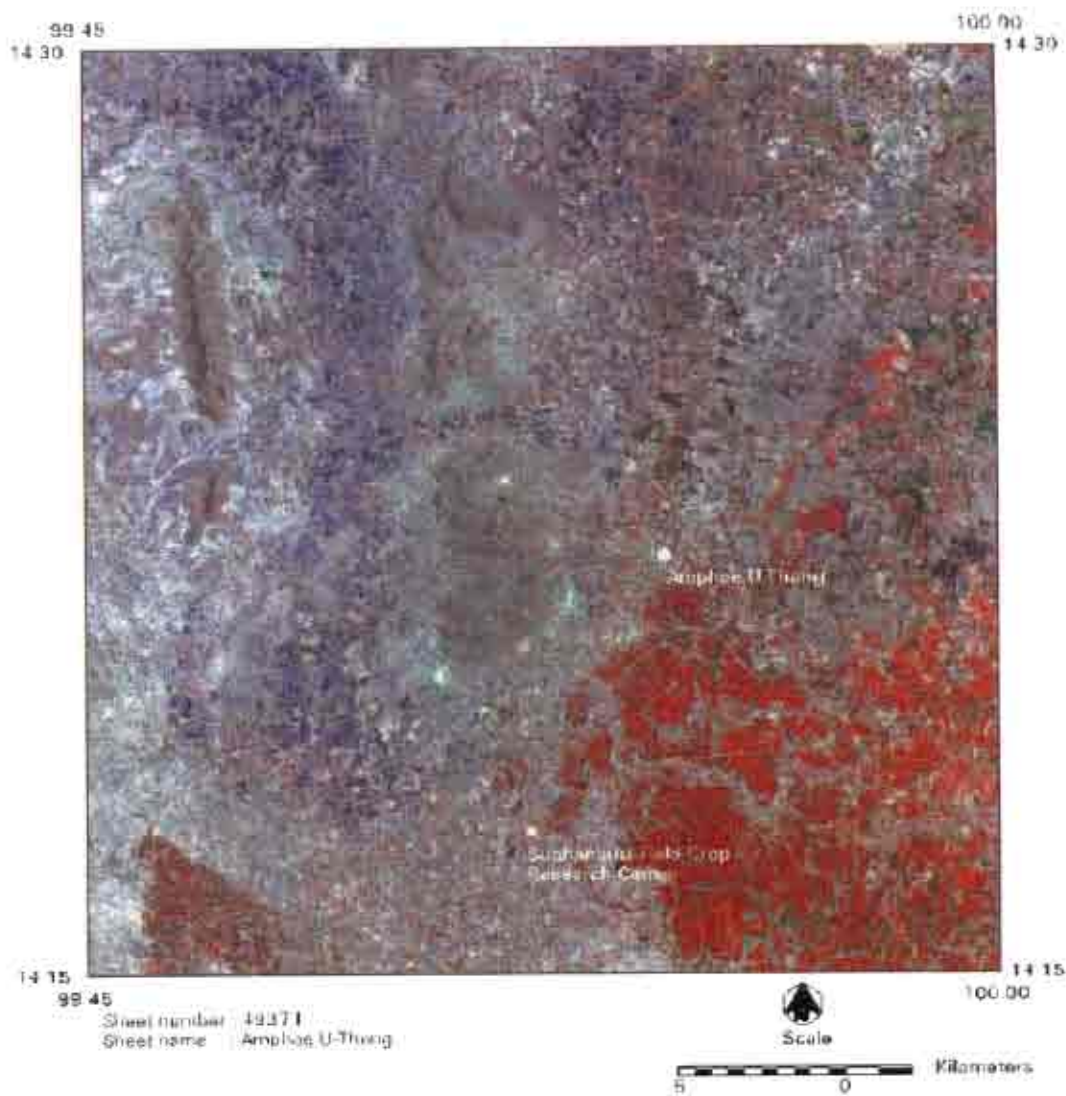
ภาพที่ 12: พื้นที่ปลูกอ้อยระวาง อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น จำแนกด้วยวิธีแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) ข้อมูล LANDSAT/TM บันทึกข้อมูลเมื่อ เม.ย. 2538



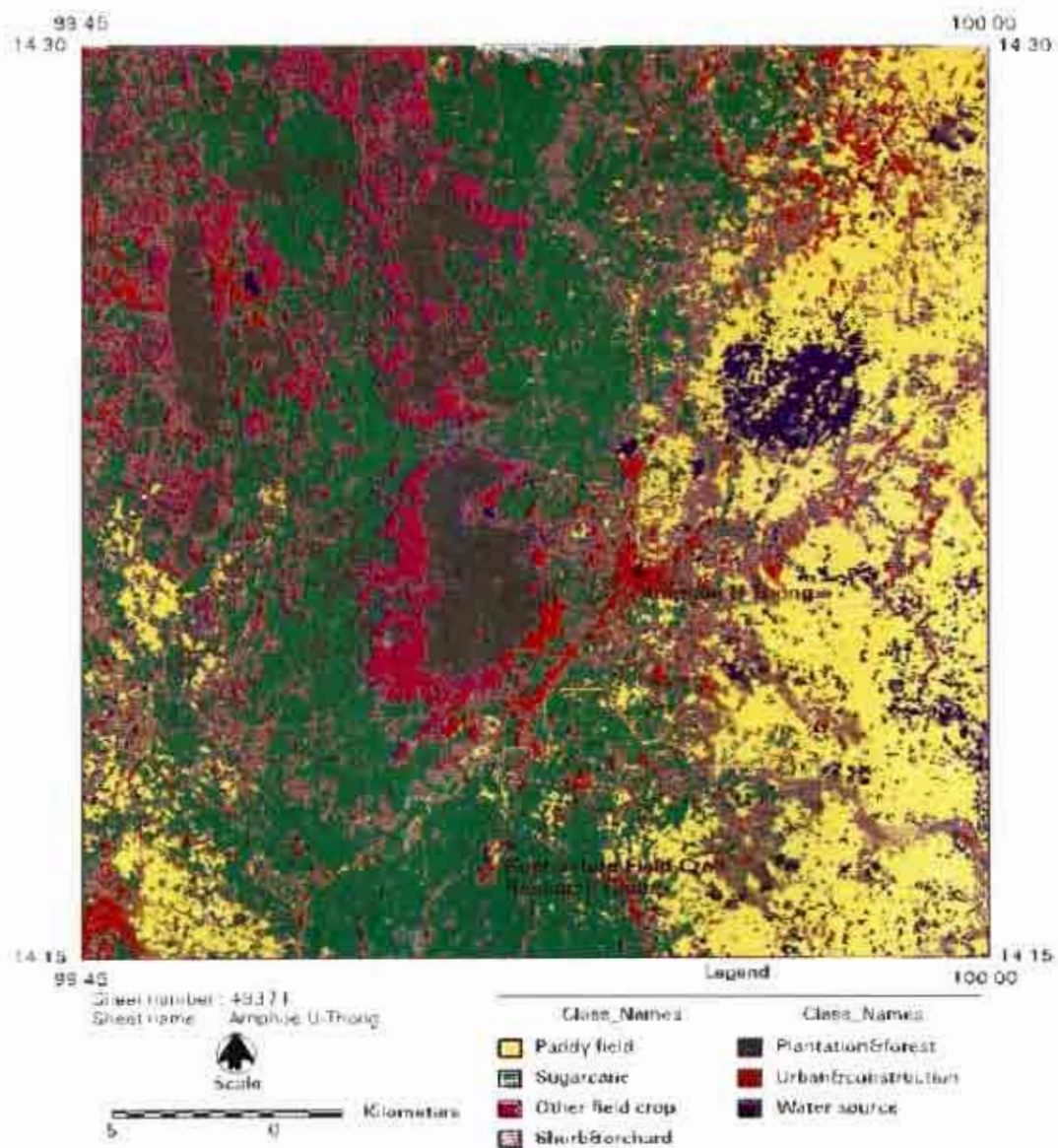
ภาพที่ 13: ข้อมูลภาพถ่ายสีผสม แบนด์ 4,3,6/RGB จากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ระหว่างอำเภออุทุมพร  
จังหวัดสุพรรณบุรี บันทึกข้อมูลเมื่อ พ.ย. 2537



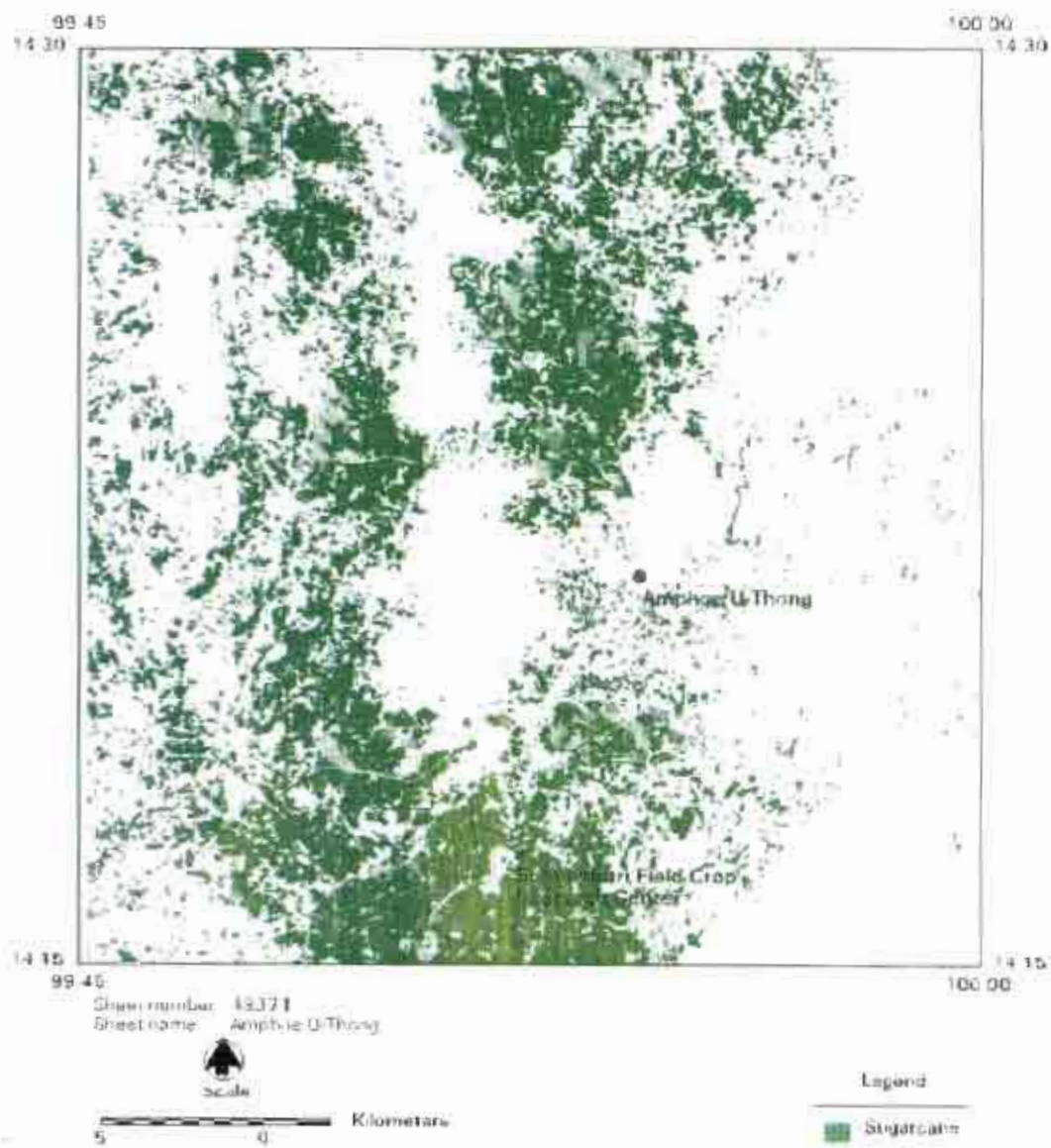
ภาพที่ 14: ข้อมูลภาพสีผสม แบบสี 4,3,6/RGB จากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ะวาง อำเภออุทของ จังหวัดสุพรรณบุรี บันทึกข้อมูลเมื่อ เม.ย. 2538



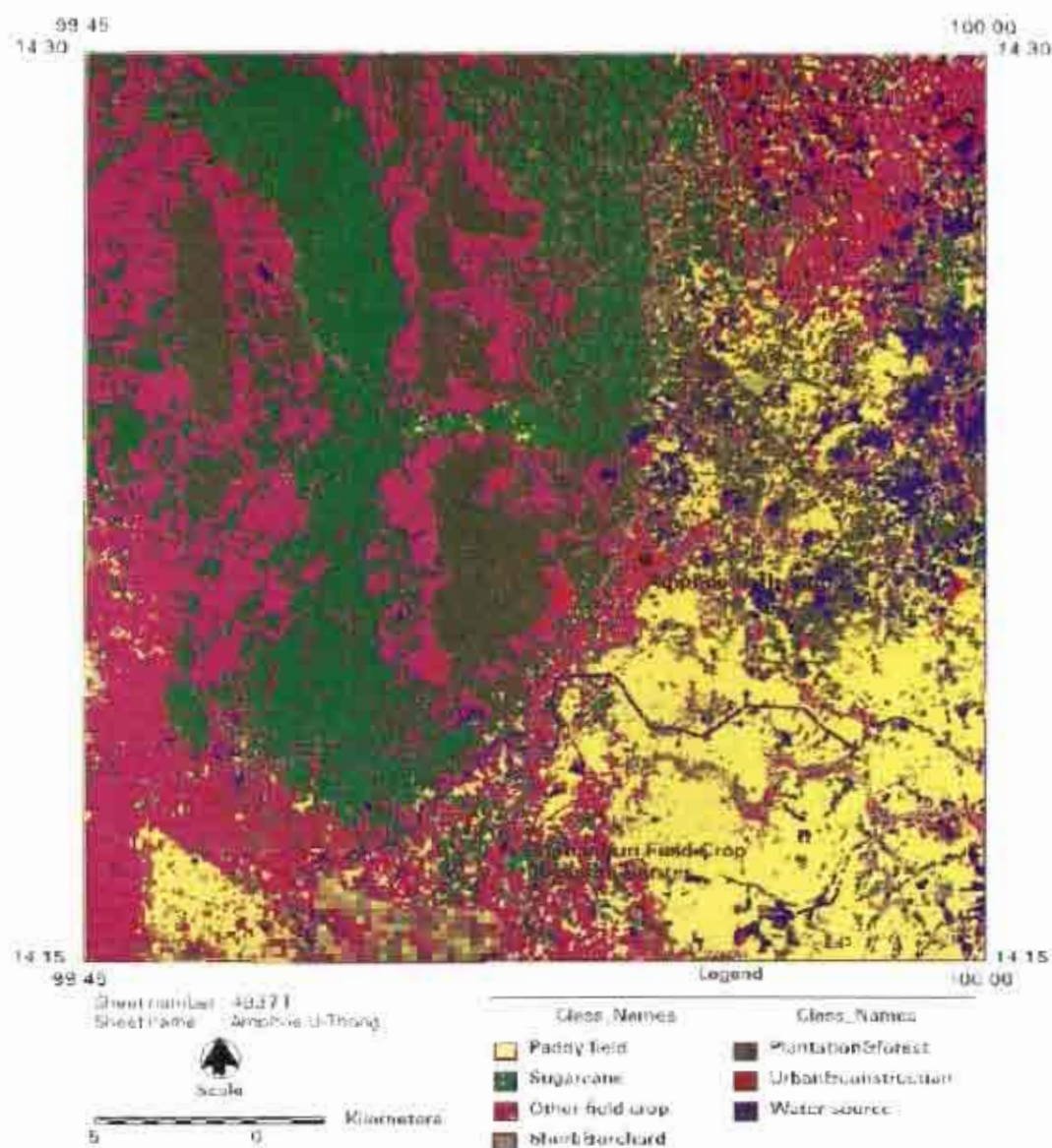
ภาพที่ 15 การใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง อำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี จำแนกด้วยวิธีแบบควบคุม (supervised classification) จากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM บันทึกข้อมูลเมื่อ พ.ย. 2537



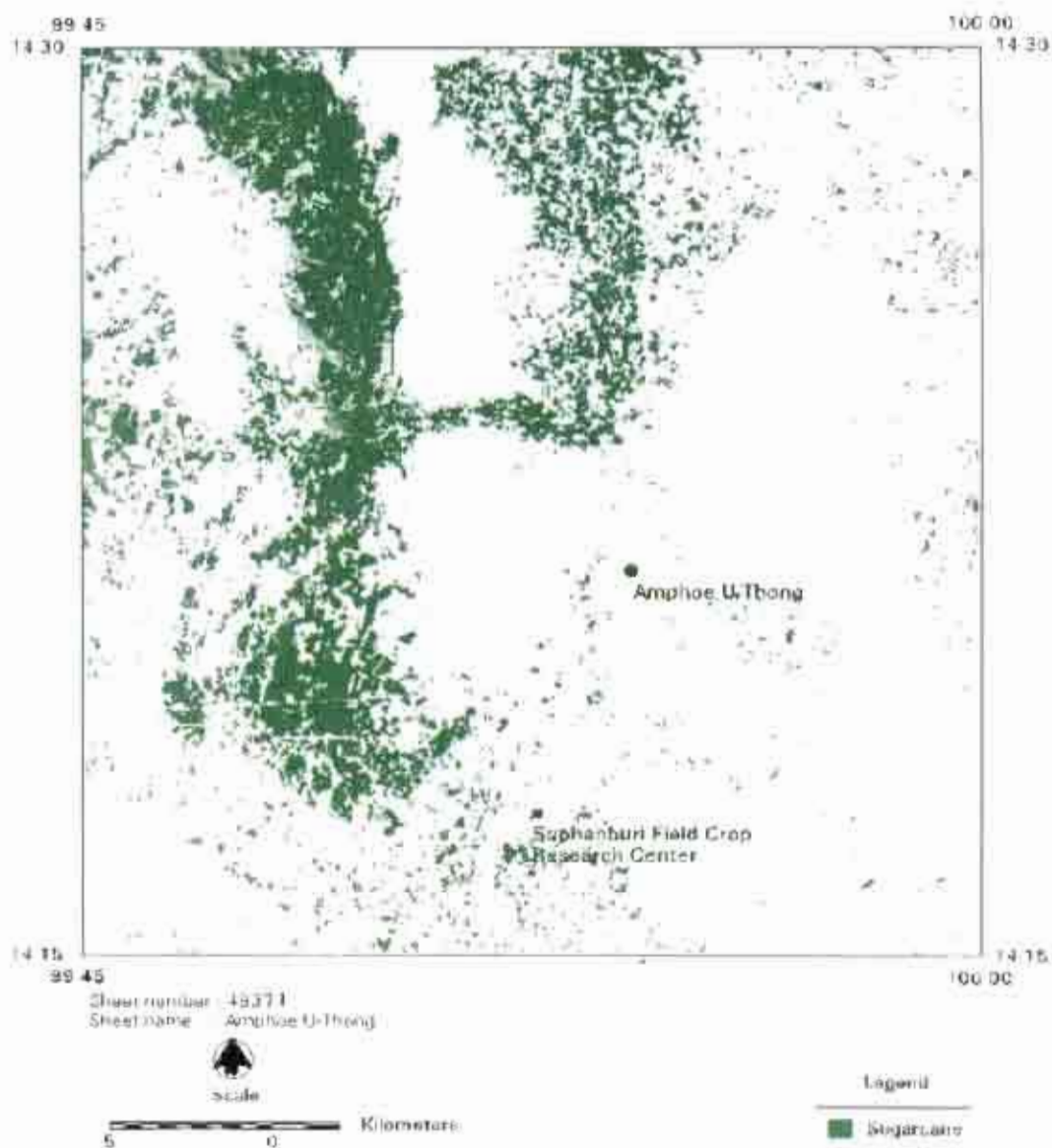
ภาพที่ 16: พื้นที่ปลูกอ้อยระหว่าง อำเภออุทง จังหวัดสุพรรณบุรี จำแนกด้วยวิธีแบบควบคุม (supervised classification) จากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM บันทึกข้อมูลเมื่อ พ.ศ. 2537



ภาพที่ 17- การใช้ประโยชน์ที่ดินระวาง อำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี จำแนกด้วยวิธีแบบควบคุม (supervised classification) จากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM บันทึกข้อมูลเมื่อ เม.ย. 2538



ภาพที่ 18. พื้นที่ปลูกอ้อยระวาง อำเภอรูทอง จังหวัดสุพรรณบุรี จำแนกด้วยวิธีแบบควบคุม (supervised classification) จากดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM บันทึกข้อมูลเมื่อ เม.ย. 2538



โครงการ พทอ. คาดว่าหากมีการนำข้อมูลจากดาวเทียมในช่วงคลื่น microwave หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า ข้อมูล RADAR มาใช้ควบคู่กับข้อมูล TM ของดาวเทียม LANDSAT แล้วจะทำให้การจำแนกข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อการทำแผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยจะไม่ต้องติดเงื่อนไขในการที่จะได้รับข้อมูลภาพในวันเวลาที่เหมาะสมอีกต่อไป ซึ่งควรได้รับการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้เข้าใจเงื่อนไขและวิธีการปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะเพื่อนำไปใช้งานจริง

---

## ส่วนที่ 2 การทำแผนที่ปลูกอ้อยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม

---

# ระบบการผลิตอ้อยใน ตำบลโนนท่อน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ทินกร กลมสอาด สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์ และ อรรถชัย จินตะเวช

**ความเข้าใจระบบการผลิตอ้อยของเกษตรกร**เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการพัฒนา และ/หรือ การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบการผลิต ความเข้าใจนี้อาจจะเป็นความเข้าใจเชิงบรรยายหรือเชิงปริมาณ ซึ่งสามารถชี้ประเด็นปัญหาและอุปสรรคในการผลิตรวมทั้งโอกาสของการปรับปรุงด้านต่าง ๆ เช่น ด้านปัจจัยกายภาพ ชีวภาพ และสังคมเศรษฐกิจ เป็นต้น ความเข้าใจที่ได้ อาจจะทำให้เฝ้าระวังการแก้ปัญหาในระดับต่าง ๆ ของระบบการผลิต เช่น ระดับไร่นา ระดับองค์กรเกษตรกร และระดับ โรงงานอ้อย เป็นต้น

จุดประสงค์ของการสำรวจอีกประการหนึ่งคือการสำรวจหาข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยจริงโดยใช้เครื่องตรวจวัดพิกัด GPS เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับผลการแปลภาพถ่ายดาวเทียมข้อมูลเดือนพฤศจิกายน 2537 และเดือนเมษายน 2538

## วิธีการสำรวจ

ใช้วิธีการสัมภาษณ์เกษตรกรในตำบลโนนท่อนที่ผลิตอ้อยทุกราย โดยใช้แบบสอบถามประเภทคำถามปิดและการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง semi-structured (สุเกสิณี สุภธีระ, 2528)

## ผลการสำรวจ

### ประเภทเกษตรกร

เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยต้องได้รับอนุญาตตามระบบโควตาจากโรงงานน้ำตาลในสังกัดจึงจะปลูกอ้อยได้ เจ้าหน้าที่ฝ่ายไร่ของโรงงานน้ำตาลเป็นผู้ดำเนินการตรวจสอบสภาพพื้นที่และกำหนดโควตา ระบบการผลิตอ้อยในตำบลโนนท่อนมีการจัดการหลายระดับตามขนาดพื้นที่ปลูก การสำรวจเกษตรกรผลิตอ้อยจำนวน 24 ราย (ตารางที่ 94) สามารถแบ่งตามขนาดพื้นที่ปลูกได้เป็นสองกลุ่มคือ

1. เกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยน้อยกว่า 100 ไร่
2. เกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยมากกว่า 100 ไร่

เกษตรกรปลูกอ้อยส่วนใหญ่มีฐานะเป็นหัวหน้าครอบครัว มีอายุตั้งแต่ 35-62 ปี การศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ถึงมัธยมปลายปีที่ 5 และแรงงานในครัวเรือนมีตั้งแต่ 1-5 คน (ตารางที่ 95) เงินทุนที่เกษตรกรใช้ในการผลิตอ้อยส่วนใหญ่เป็นเงินของตัวเอง และโรงงานน้ำตาล สำหรับเกษตรกรทั้งสองกลุ่มและมีเกษตรกรบางรายได้เงินทุนมาจากสหกรณ์ ธกส. ญาติและเพื่อนบ้าน

### ระบบการผลิตอ้อยของเกษตรกร

เกษตรกรปลูกอ้อยโดยใช้น้ำฝนเป็นหลัก และส่วนใหญ่ปลูกอ้อยข้ามแล้ง คือปลูกอ้อยระหว่างเดือนพฤศจิกายน-เดือนมกราคม เกษตรกรบางส่วนปลูกอ้อยต้นฝนคือปลูกอ้อยในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน การ

ในหมู่เพื่อนเกษตรกรผู้ปลูก้อยด้วยกัน และในเกษตรกรรายที่มีต้นทุนในการผลิตที่สูงนั้นจะมีการบำรุงรักษา้อยเป็นอย่างดี ทำให้รายรับที่ได้จากการขาย้อยสูงไปด้วย ในขณะที่เกษตรกรในกลุ่มที่สองนั้นมีต้นทุนและรายรับจากการขาย้อยพอประมาณ แต่เกษตรกรในกลุ่มนี้จะมีโควต้า้อยจำนวนมาก เกษตรกรในกลุ่มนี้มีรายได้สามส่วน ส่วนแรกจากค่าหัวตัน้อย ส่วนที่สองเป็นส่วนแบ่งจากการขายน้ำตาล และส่วนที่สามจากการขายท่อนพันธุ์้อย การสำรวจพบว่าร้อยละ 20-57 ของต้นทุนในการผลิต้อยเป็นค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว้อย (ตารางที่ 97)

### ปัญหาในการผลิต

การสำรวจเพื่อทราบระบบการผลิต้อยของเกษตรกรในพื้นที่ ต.โนนทัน อ.เมือง จ.ขอนแก่น สามารถสรุปปัญหาของเกษตรกรได้ดังนี้

#### ปัญหาด้านกายภาพ

1. การผลิตส่วนใหญ่ผลิตบนดินขุดน้ำพอง ซึ่งเป็นดินที่มีลักษณะเป็นดินทราย และมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
2. การผลิตอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก เกษตรกรไม่สามารถควบคุมเวลาและปริมาณของน้ำตามความต้องการของพืช

#### ปัญหาด้านชีวภาพ

1. พันธุ์้อยที่ใช้อยู่คิดว่ายังไม่ดีพอ อยากเปลี่ยนพันธุ์ถ้ามีพันธุ์ที่ดีกว่า และเกษตรกรอยากจะรู้ว่าในดินแต่ละที่ควรจะใช้พันธุ์อะไรปลูกถึงจะดี
2. เกษตรกรมีปัญหาในการกำจัดวัชพืชรากในการปลูกต้นฤดูฝน ยังไม่มีความรู้ที่ดีพอเกี่ยวกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืชที่เหมาะสม
3. ไม่มีการบำรุง้อยต่อที่ดีพอ ทำให้ผลผลิตของ้อยต่อดำ
4. ปัญหาในเรื่องของโรคใบขาว และโรคแฉ้ดำ
5. ้อยตายแล้ง ขาดแหล่งน้ำ มีการระบาดของหนอนกอและปลวกเมื่อประสบภาวะแล้ง

#### ปัญหาด้านสังคมเศรษฐกิจ

1. การผลิต้อยใช้เงินทุนค่อนข้างสูง เกษตรกรขาดแหล่งเงินทุนที่มีดอกเบี้ยต่ำ เนื่องจากแหล่งเงินทุนที่เกษตรกรได้รับส่วนใหญ่คิดดอกเบี้ยในอัตราสูงมากประมาณร้อยละ 18 บาทต่อปี ส่วนใหญ่ได้รับจากโรงงานน้ำตาล
2. ้วยมีราคาสูงมาก และราคา้วยไม่แน่นอนในแต่ละปี
3. ราคา้อยไม่แน่นอน
4. คิดว่าค่าจ้างของโรงงานไม่ได้มาตรฐาน การจ่ายเช็คล่วงหน้าของโรงงาน ทำให้ถูกหักเงินเมื่อนำเช็คไปขึ้นเงิน
5. ปัญหาในเรื่องของแรงงานมีราคาแพงและหาได้ยาก ทำให้เกษตรกรบางรายคิดอยากเลิกปลูก้อย

ตารางที่ 97: ต้นทุนและรายได้จากการผลิตย่อย ในเขตตำบลโนนท่อน อ.เมือง จ.ขอนแก่น

| รายชื่อ<br>เกษตรกร     | ค่าใช้จ่าย    |            |                |      |              |      |         | ค่ากำจัดวัชพืช |      |             | ค่าเก็บ-<br>เกี่ยว |       |               |        |        |
|------------------------|---------------|------------|----------------|------|--------------|------|---------|----------------|------|-------------|--------------------|-------|---------------|--------|--------|
|                        | เช่า<br>แปลง  | เชื้อเพลิง | ท่อน<br>พันธุ์ | ดูแล | จ้าง<br>ปลูก | ปุ๋ย | ใส่ปุ๋ย | คน             | ควาย | สาร<br>เคมี | มัด                | อบ    | ต้นทุน<br>รวม | ต้นทุน | รายได้ |
|                        | บาท/ไร่ (น/อ) |            |                |      |              |      |         |                |      |             |                    |       |               | %      | น/อ    |
| ----- กลุ่มที่ 1 ----- |               |            |                |      |              |      |         |                |      |             |                    |       |               |        |        |
| โนนท่อน 01             | 300           | 360        | 894            |      | 431          | 270  |         |                | 80   | 85          | 500                | 1,135 | 4,065         | 39     | 8,300  |
| โนนท่อน 02             |               | 340        | 500            |      | 104          | 300  |         | 89             |      | 233         |                    |       |               |        |        |
| โนนท่อน 03             |               | 340        | 127            |      | 251          | 396  | 107     | 190            | 80   |             | 480                | 1,143 | 3,114         | 52     | 4,190  |
| โนนท่อน 04             |               | 310        | 115            |      | 280          | 393  | 80      | 185            | 133  | 180         | 300                | 570   | 2,551         | 34     | 2,708  |
| โนนท่อน 05             | 200           | 350        | 204            |      | 194          | 553  | 15      | 186            | 80   | 164         | 275                | 600   | 2,821         | 31     | 4,580  |
| โนนท่อน 06             |               |            |                |      |              |      |         |                |      |             |                    |       |               |        |        |
| โนนท่อน 07             |               | 450        | 1,088          |      | 200          | 360  | 80      |                |      |             | 408                | 899   | 3,465         | 38     | 4,080  |
| โนนท่อน 08             |               |            |                |      |              |      |         |                |      |             |                    |       |               |        |        |
| โนนท่อน 09             |               | 360        | 1,300          |      | 500          | 700  | 184     | 150            |      | 110         | 750                | 1,733 | 5,787         | 43     | 8,267  |
| โนนท่อน 10             |               | 330        | 839            |      |              | 660  |         |                |      | 51          | 550                | 1,210 | 3,840         | 48     | 7,150  |
| โนนท่อน 11             |               | 340        | 269            |      |              | 254  |         |                |      | 40          | 692                | 500   | 2,095         | 57     | 2,000  |
| โนนท่อน 12             |               | 330        | 811            |      |              | 340  |         |                |      | 148         | 457                | 1,006 | 3,092         | 47     | 4,846  |
| โนนท่อน 13             | 200           | 330        | 714            |      | 95           | 540  |         |                | 38   | 11          |                    |       |               |        |        |
| โนนท่อน 14             |               | 450        | 1,258          |      | 280          | 265  |         |                | 70   | 156         |                    |       |               |        |        |
| โนนท่อน 15             |               | 380        | 650            |      | 350          | 700  | 80      | 180            |      | 240         | 400                | 1,100 | 4,060         | 37     | 8,000  |
| โนนท่อน 16             |               | 390        | 545            |      | 182          | 273  |         | 500            |      |             |                    |       |               |        |        |
| ----- กลุ่มที่ 2 ----- |               |            |                |      |              |      |         |                |      |             |                    |       |               |        |        |
| โนนท่อน 17             |               | 360        | 182            |      | 300          | 299  | 100     | 300            |      | 156         | 316                | 580   | 2,593         | 35     | 3,295  |
| โนนท่อน 18             | 400           | 340        | 58             |      | 300          | 442  | 80      | 300            | 80   | 166         | 375                | 975   | 3,516         | 38     | 4,500  |
| โนนท่อน 19             | 400           | 340        | 58             |      | 300          | 442  | 80      | 300            | 80   | 166         | 375                | 975   | 3,516         | 38     | 4,500  |
| โนนท่อน 20             |               | 390        |                | 650  |              | 450  |         |                |      |             | 400                | 1,200 | 3,090         | 52     | 4,800  |
| โนนท่อน 21             |               | 380        | 750            | 600  |              | 330  |         |                |      |             | 575                | 2,013 | 4,648         | 56     | 6,900  |
| โนนท่อน 22             |               | 380        | 750            | 600  |              | 330  |         |                |      |             | 575                | 2,013 | 4,648         | 56     | 6,900  |
| โนนท่อน 23             | 250           | 370        | 450            |      | 350          | 606  | 90      | 250            | 70   | 176         | 457                | 1,050 | 4,119         | 36     | 5,479  |
| โนนท่อน 24             |               | 390        |                | 600  |              | 480  |         |                |      |             | 375                | 938   | 2,783         | 47     | 4,200  |
| โนนท่อน 25             |               | 360        | 700            |      | 500          | 680  | 125     |                | 70   | 216         | 211                | 464   | 3,326         | 20     | 6,000  |
| โนนท่อน 26             |               | 480        |                |      | 154          | 513  | 66      |                | 50   | 128         | 325                | 715   | 2,431         | 43     | 3,900  |

6. เกษตรกรบางรายที่เริ่มการผลิตข้าวขาดความเข้าใจระบบการตลาดข้าวเป็นอย่างมาก ทำให้ประสบภาวะขาดทุน และเนื่องจากความไม่เข้าใจวิธีการขายข้าว

### **ความช่วยเหลือที่เกษตรกรต้องการ**

#### **ความต้องการในระดับรายเกษตรกร และกลุ่มเกษตรกร**

1. เพิ่มผลผลิตข้าว โดยการเปลี่ยนพันธุ์ข้าว
2. การจัดอบรมเกษตรกรผู้ปลูกข้าว เพื่อให้ได้ความรู้ที่ถูกต้องในการผลิตข้าว
3. ต้องการแหล่งเงินทุนที่มีดอกเบี้ยต่ำ เพื่อนำมาใช้ในการผลิตข้าว
4. ต้องการปุ๋ยเคมีราคาถูก

#### **ความต้องการในระดับไตรภาคี (เกษตรกร-โรงงาน-รัฐ)**

1. ต้องการมีคิวเสิร์ฟข้าวตลอด
2. ประกันราคาข้าวที่แน่นอนในแต่ละปี คิดว่าราคาไม่ควรต่ำกว่าตันละ 520 บาท โดยที่ยังไม่รวมค่าความหวาน

### **สรุป**

การผลิตข้าวในเขตตำบลโนนท่อนเป็นการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีทางเกษตรในระดับต่ำ ฟังพาททรัพยากรธรรมชาติเป็นอย่างมาก ทำให้เกษตรกรมีโอกาสน้อยในการควบคุมปัจจัยการผลิต ประสิทธิภาพของระบบการผลิตต่ำ ปัญหาของการผลิตด้านกายภาพคือดินเป็นดินทรายมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปัญหาในด้านชีวภาพคือโรคระบาดในฤดูฝน ปัญหาในด้านสังคมเศรษฐกิจคือการขาดระบบสินเชื่อที่เป็นธรรม ความต้องการในระดับครัวเรือนและกลุ่มเกษตรกรคือการให้ความรู้ที่ถูกต้องในการผลิตข้าว และความต้องการในระดับสหกรณ์คือราคาข้าวที่เป็นธรรม

# ส่วนที่ 3

---

การประมาณผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่  
โดยใช้โปรแกรมเชื่อมโยง ThaiSIS 1.0

- แนวคิดและหลักการ (principles & concepts)
- ระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่และเชิงอรรถ



ส่วนที่ 3 การประมาณผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้  
โปรแกรมเชื่อมโยง ThaiSIS 1.0

---

แนวคิดและหลักการ (principles & concepts)

อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์ และ  
เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง

**การ**ประมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ขนาดใหญ่ ระดับอำเภอ จังหวัด และเขตการผลิตข้าวเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญต่อการกำหนดราคาข้าวขึ้นตัวของประเทศ เป็นกิจกรรมที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่องในหลายองค์กรทั้งของภาครัฐและของภาคเอกชน วิธีการที่ใช้ส่วนใหญ่มีพื้นฐานจากการสำรวจภาคสนามและจากข้อมูลการผลิตในปีที่ผ่านมา เป็นวิธีการที่ยังไม่สะดวกต่อการผนวกปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศเกษตร ลักษณะทางกรรมพันธุ์ของข้าว ความชื้นดิน ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน พัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวแต่ละพันธุ์ในระดับการจัดการที่แตกต่างกันตามสภาพสังคมและเศรษฐกิจของเกษตรกร ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวเป็นอย่างมาก

โครงการ พทอ. ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาและทดสอบแบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวซึ่งสามารถนำปัจจัยดังกล่าวประมวลกันอย่างเป็นระบบในรูปของแบบจำลองข้าว เมื่อแบบจำลองข้าวได้รับการทดสอบกับข้อมูลในประเทศไทยอย่างเพียงพอ ผู้ใช้งานสามารถนำแบบจำลอง-ข้าวร่วมในการประมาณผลผลิตข้าว ร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และเทคโนโลยี-ข้อมูลระยะไกล ทำให้การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในระดับกระบวนการทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามหลักการสำคัญประการหนึ่งในการใช้แบบจำลองร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศอื่น ๆ คือการที่ผู้ใช้งานทั่วไปที่ไม่ต้องมีความเข้าใจและการฝึกอบรมอย่างหนัก ก็สามารถใช้เครื่องมือเหล่านี้ในการศึกษา ประเมินผลของระบบการผลิตข้าว และผลลัพธ์ของระบบการผลิตในพื้นที่ต่าง ๆ

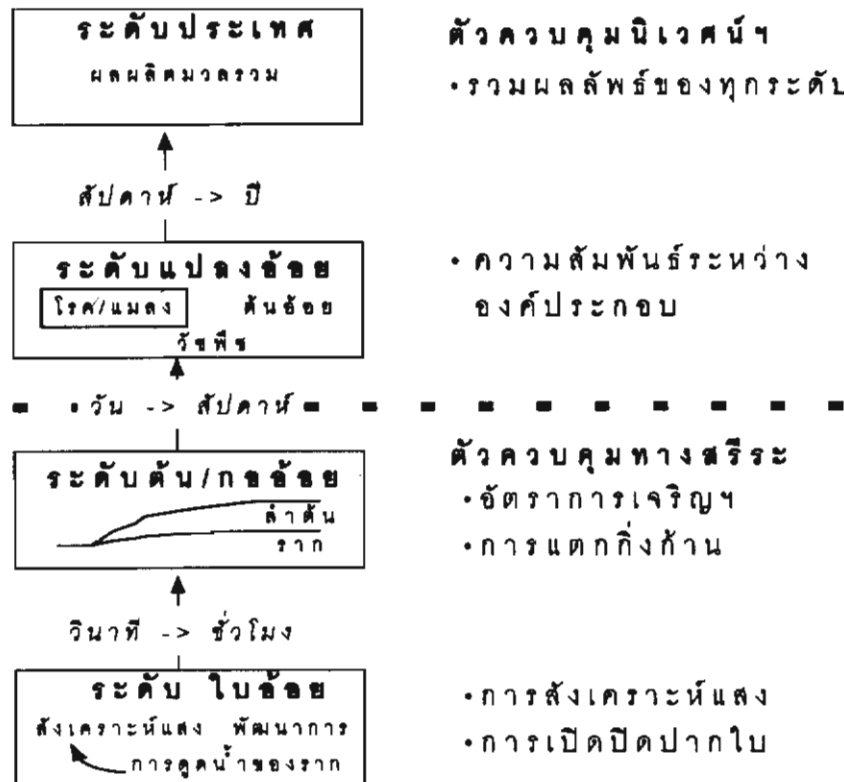
โปรแกรมเชื่อมโยง ThaiSIS 1.0 พัฒมาขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานประมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ โดยผู้ใช้งานต้องมีข้อมูลเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่เหมาะสม ประการสำคัญในการใช้งานโปรแกรมคือความเข้าใจเกี่ยวกับการขยายผลการคาดการณ์ที่ได้จากการใช้แบบจำลองข้าว ThaiCane ร่วมกับฐานข้อมูลทั้งสองฐาน

### การขยายผล (scaling from field to regional level)

นักวิชาการเกษตรในสาขาวิชา ปรับปรุงพันธุ์พืช ปฐพีวิทยา ภูมิวิทยา โรคพืช วิศวกรรม และอื่น ๆ อีกมากมายมีความมุ่งหวังที่จะเห็นการขยายผลงานวิจัยในสถานทดลองไปสู่เกษตรกร เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตทางพืชและทางสัตว์ เพื่อความมั่นคงในการผลิตอาหาร ปัญหาที่สำคัญมากคือ การวิเคราะห์โครงสร้างของระบบเกษตร และการคาดการณ์ผลลัพธ์ของระบบเกษตรในพื้นที่ขนาดใหญ่ (regional level) ให้มากกว่าแปลงทดลอง (field level) ที่นักวิชาการเกษตรคุ้นเคยในสถานทดลอง เป็นปัญหาที่ท้าทายความสามารถและเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก เนื่องจากระบบเกษตรซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศธรรมชาตินั้นเมืองค-ประกอบมากมาย แต่ละองค์ประกอบมีหน้าที่ บทบาท ในระบบแตกต่างกัน เป็นความแตกต่างในด้านเวลา (temporal) และสถานที่ (spatial)

การขยายผล (scaling up) และการย่อส่วนของผล (scaling down) งานวิจัยทางเกษตรเป็นการขยาย-ผลกระบวนการทางชีวภาพและทางกายภาพจากระดับใบข้าวถึงระดับประเทศ (รูปที่ 33) การเปลี่ยนแปลงระดับการสังเคราะห์แสงของใบข้าวส่งผลกระทบต่อการสะสมน้ำหนักรวมของข้าวทั้งน้ำหนักลำต้นและน้ำหนัก

รูปที่ 33: กรอบการขยายผลจากระดับใบย่อยถึงระดับประเทศ  
in temporal scale only *NEEDED* spatial scale



ราก และมีผลโดยตรงต่อผลผลิตน้ำตาล การที่อ้อยมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสังเคราะห์แสงเนื่องจากการสร้างใบใหม่มีน้อยลง ดังนั้นการขยายผลงานวิจัยในระดับกออ้อยขึ้นสู่ระดับแปลงอ้อยและในที่สุดระดับประเทศต้องเข้าใจว่าอิทธิพลของปัจจัยทางชีวภาพและกายภาพมีผลอย่างไร ขนาดเท่าใดต่อกระบวนการในระดับที่เล็กที่สุดที่จะทำได้ ในที่นี้คือระดับใบอ้อย ต้องเข้าใจอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมของปัจจัยเหล่านั้น

หลักการที่สำคัญประการหนึ่งการขยายผลงานวิจัยในระดับเล็กสู่ระดับใหญ่ คือ ระยะเวลาในการตอบสนอง (time scale) ของกระบวนการที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมหรือระดับการจัดการ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีชนิดต่างๆ ในอ้อยแต่ละพันธุ์ ในระดับใบอ้อยการลดลงของระดับความชื้นในดินมีผลทันทีต่อการเปิดปิดของปากใบ และในทางตรงส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ในเวลาเพียงไม่กี่วินาทีและส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของกออ้อยในทางตรงเช่นกันแต่อาจจะใช้เวลาเป็นวันถึงจะเห็นผลชัดเจน

การพัฒนาแบบจำลองส่วนใหญ่เน้นการพัฒนาแบบจำลองเพื่อบรรยายกระบวนการของพืช-ดิน (process) เพื่อทราบสถานะภาพและพฤติกรรมของพืช-ดิน (behavior) และเพื่อทราบผลลัพธ์ของการจัดการพืช-ดิน (performance) ทั้งสามคำมีความหมายต่างกัน ลองพิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้ การระบายน้ำออกจากดิน การ-

สังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการ ดินแห้งมีพฤติกรรมคล้ายกับสปริงมีความแข็ง ในขณะที่ดินชื้นมีพฤติกรรมคล้ายกับฟองน้ำมีความนุ่ม ดินอึมน้ำมีพฤติกรรมคล้ายกับของเหลว ส่วนผลลัพธ์เห็นได้ชัดว่าดินที่มีการระบายน้ำดีเหมาะสมต่อการปลูกข้าวโพด มากกว่าการปลูกข้าวนาดำ หรือพืชที่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็น C4 จะมีผลผลิตดีกว่าในสภาพอากาศร้อน การขยายผลของกระบวนการในระดับเล็กสู่พื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้แบบจำลองพืช ในที่นี้คือแบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0 ทำให้ผู้ใช้งานมีความมั่นใจมากกว่าวิธีการขยายผลวิธีการอื่นเนื่องจากได้ประมวลผลความเข้าใจในระดับกระบวนการ พฤติกรรมของพืช-ดิน และผลลัพธ์ของการจัดการพืชดินไว้ในแบบจำลองแล้ว คุณสมบัติเฉพาะของดิน-พืชในเวลาและพื้นที่ต่าง ๆ แตกต่างกันไป และมีผลโดยตรงต่อกระบวนการ พฤติกรรมของพืช-ดิน และผลลัพธ์คุณสมบัติเฉพาะของดิน-พืช

เนื่องจากระบบเกษตรมีความซับซ้อน การที่จะขยายผลงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีข้อมูลสภาพภูมิอากาศเกษตร ข้อมูลดิน ข้อมูลระบบจัดการผลิตพืช เพื่อประกอบการคาด-การณ์ผลผลิตพืชในพื้นที่ต่าง ๆ รวมทั้งระดับการจัดการต่าง ๆ ของเกษตรกรจำนวนมากได้อย่างเหมาะสม แม้ที่จริงแล้วประเทศไทยเป็นประเทศที่มีข้อมูลทางเกษตรเป็นจำนวนมากประเทศหนึ่งในโลก กระจัดกระจายอยู่ตามหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งในระดับกรม และระดับกระทรวง หลักการสำคัญประการหนึ่งในการขยายผลงานวิจัยทางเกษตรโดยใช้แบบจำลองพืชและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์คือการจัดฐานข้อมูลเชิงพื้นที่และฐานข้อมูลเชิงอัตราให้มีมาตรฐานเดียวกัน สามารถแลกเปลี่ยนกันได้ และสามารถตรวจสอบและปรับปรุงให้ทันสมัยได้ตลอดเวลา

## สรุป

การคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่เป็นกิจกรรมที่มีความซับซ้อนมาเนื่องจากมีกระบวนการทางชีวภาพและกายภาพที่สำคัญหลายกระบวนการ รวมทั้งมีปัจจัยเกี่ยวข้องมากมาย หลักการสำคัญที่ควรคำนึงในการขยายผลงานวิจัยจากระดับท้องถิ่นถึงระดับประเทศคือต้องทำความเข้าใจอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อกระบวนการในระดับที่สนใจ และต้องพิจารณาถึงระยะเวลาที่กระบวนการในระดับต่าง ๆ ใช้ในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยด้วย ประการสำคัญในการขยายผลการวิจัยคือระบบฐานข้อมูลมาตรฐานที่สามารถแลกเปลี่ยน ตรวจสอบ และปรับปรุงได้

ฐานข้อมูลที่ดี น่าเชื่อถือ เป็นผลลัพธ์ส่วนหนึ่งของการดำเนินงานวิจัยตามแนว modeling & system simulation ปัจจุบันมีหน่วยงานที่ปฏิบัติงานจัดเก็บข้อมูลอยู่มากมาย มีองค์ประกอบของข้อมูลตามภารกิจของหน่วยงาน ที่น่าจะเป็นไปได้ในประเทศไทยคือฐานข้อมูลมาตรฐาน หรือรูปแบบมาตรฐานของข้อมูลที่ถูกเก็บรักษาข้อมูลแต่ละหน่วยทำความเข้าใจและใช้ร่วมกันเพื่อประโยชน์ของการใช้ข้อมูลในการตัดสินใจทางเกษตร เช่น ใช้ร่วมกับแบบจำลองอ้อยในการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ เป็นต้น

ส่วนที่ 3 การประมาณผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้  
โปรแกรมเชื่อมโยง ThaiSIS 1.0

---

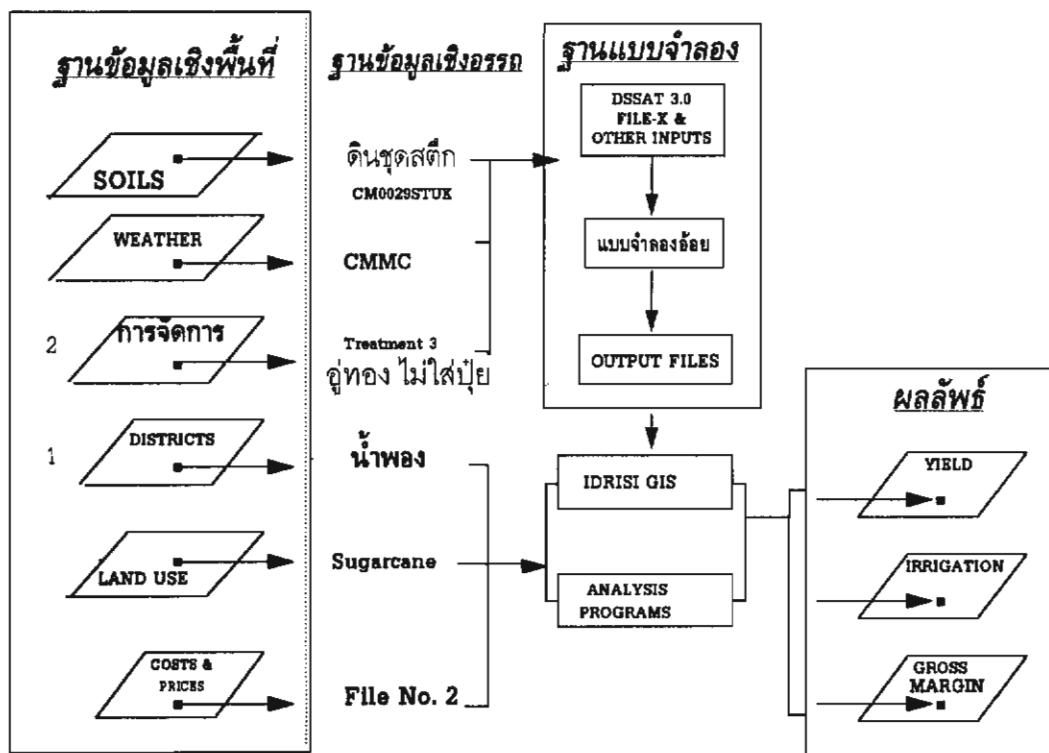
ระบบฐานข้อมูล ThaiSIS 1.0

อรรถชัย จินตะเวช และ Phillip K. Thornton

**การ**เสนอให้มีฐานข้อมูลทางเกษตรที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึง เรียกใช้ ปรับปรุงให้ทันสมัย เป็นเรื่องที่มีมาช้านานทั้งในระดับนานาชาติ (Nix, 1984; Tsuji et al, 1994) และระดับชาติ (พนมศักดิ์ พรหมบุญ และ เมธี เอกสิงห์ และ, 2539)

โครงการ พทอ. ดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาและทดสอบแบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อยที่เหมาะสมในประเทศ โดยคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสำคัญในอากาศพืช-ดิน แบบจำลองอ้อยที่พัฒนาได้นำไปประกอบการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยการเชื่อมโยงของโปรแกรม ThaiSIS 1.0 ภายใต้ระบบฐานข้อมูลมาตรฐานซึ่งสามารถนำปัจจัยดังกล่าวประมวลกันอย่างเป็นระบบ ผู้ใช้งานโปรแกรม ThaiSIS 1.0 ต้องมีฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial database) และฐานข้อมูลเชิงอรรถ (attribute database) ขึ้นตัว (รูปที่ 34) เพื่อใช้โปรแกรมในการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่

รูปที่ 34: ฐานข้อมูล ThaiSIS เพื่อการขยายผลจากระดับต้นอ้อยถึงระดับประเทศ



## ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่

เป็นฐานข้อมูลแสดงคุณสมบัติทางภูมิศาสตร์ของวัตถุ และ/หรือ สิ่งของบนพื้นผิวโลก แสดงลักษณะทั้งในด้านรูปร่าง ขนาด ขอบเขต (shape) และตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (position) เป็นข้อมูลที่มี 2 dimensions ขึ้นไป ซึ่ง

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนั้น ๆ กับระยะทาง เป็นข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องทราบจุดพิกัดของแต่ละตำแหน่งของข้อมูล เช่น ข้อมูลแสดงขอบเขตของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ข้อมูลแสดงขอบเขตที่ดินในแปลงทดลองของสถานีวิจัยและฝึกอบรมแม่เหียะของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หรือ ข้อมูลแสดงขอบเขตราคาที่ดินในเขตตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น ปัญหาหลักของข้อมูลเชิงพื้นที่คือรูปแบบของการจัดเก็บของแต่ละหน่วยงาน มีความหลากหลายตามโปรแกรมและระบบที่ใช้ในหน่วยงาน มีความหลากหลายในด้านมาตราส่วน projection ระยะเวลาในการจัดเก็บ ลักษณะของข้อมูลในรูปแบบของ raster และ vector

ในกรณีของโปรแกรม ThaiSIS 1.0 ต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถใช้งานร่วมกันทั้งสิ้นหกประเภท (ตารางที่ 98) เป็นข้อมูลประเภท image file ของโปรแกรม IDRISI รุ่นที่สามารถปฏิบัติงานได้บนระบบจัดการ DOS เครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC ข้อมูลเหล่านี้มีที่มาจากหลายแหล่ง เช่น แผนที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน แผนที่สภาพภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร แผนที่ได้จากการแปลข้อมูลดาวเทียม การสำรวจภาคสนาม และภาพถ่ายทางอากาศ ผู้ใช้งานสามารถพัฒนาและสืบหาได้จากหน่วยงานต่าง ๆ โดยทั่วไปสามารถนำเข้าข้อมูลเหล่านี้ได้โดยการ digitize, scanning, image processing, direct data entry, data transfer technologies

### ข้อมูลแสดงขอบเขตการปกครองหรือเขตการผลิตย่อย

เป็นแผนที่แสดงขอบเขตตำบล และ/หรือ ขอบเขตอำเภอ และ/หรือ เขตการผลิตย่อย และ/หรือ ขอบเขตอื่น ๆ ที่ผู้ใช้งานระบบกำหนด ใช้กำหนดขนาดและที่ตั้งของหน่วยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว โปรแกรม ThaiSIS 1.0 ใช้ขอบเขตใดขอบเขตหนึ่งในการจำกัดขนาดของข้อมูลเชิงอรรถในการคาดการณ์ผลผลิตย่อย ผู้ใช้งานสามารถนำเข้าแผนที่เหล่านี้โดยใช้ไดอะนำเข้าข้อมูล (digitizer)

ตารางที่ 98: ข้อมูลในระบบ ThaiSIS 1.0

| ชนิดข้อมูล              | ที่มา            | วิธีการนำเข้าคอมพิวเตอร์ |
|-------------------------|------------------|--------------------------|
| ขอบเขตภูมิอากาศ         | กรมอุตุนิยมวิทยา | digitize                 |
| ขอบเขตดิน               | กรมพัฒนาที่ดิน   | digitize                 |
| ขอบเขตการปกครอง         | กรมการปกครอง     | digitize                 |
| ขอบเขตราคาอ้อย          | สอน.             | Digitize                 |
| ขอบเขตต้นทุนการผลิตอ้อย | สอน.             | Digitize                 |
| ขอบเขตพื้นที่ปลูกอ้อย   | ข้อมูลดาวเทียม   | แปลข้อมูลดาวเทียม        |

### ข้อมูลแสดงขอบเขตภูมิอากาศเกษตร

เป็นแผนที่แสดงขอบเขตสภาพอากาศเกษตรรายปี แสดงว่าในพื้นที่หนึ่ง ๆ มีสภาพภูมิอากาศเกษตรเป็นลักษณะใด ครอบคลุมพื้นที่ในลักษณะไหน โปรแกรม ThaiSIS 1.0 ใช้ขอบเขตนี้ในการเรียกข้อมูลเชิงอรรถสภาพอากาศเกษตรได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศสูง-ต่ำ และปริมาณน้ำฝนรายวัน เพื่อใช้ร่วมกับแบบจำลองย่อย ThaiCane ในการคาดการณ์ผลผลิตย่อย ผู้ใช้งานสามารถนำเข้าแผนที่แสดงขอบเขตภูมิอากาศเกษตรโดยใช้โต๊ะนำเข้าข้อมูล (digitizer)

### ข้อมูลแสดงขอบเขตชุดดิน

เป็นแผนที่แสดงขอบเขตชุดดิน หรือกลุ่มชุดดินในพื้นที่หนึ่ง ๆ ตามคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่มีผลต่อการจัดการเพื่อผลิตย่อย ทั้งทางเกษตรและสิ่งแวดล้อม โปรแกรม ThaiSIS 1.0 ใช้ขอบเขตนี้ในการเรียกข้อมูลเชิงอรรถคุณสมบัติดังกล่าวได้แก่ ความหนาแน่นรวม %sand %silt %ทรายหยาบ ความเป็นกรดเป็นด่าง ระดับธาตุไนโตรเจน ระดับธาตุฟอสฟอรัส ระดับธาตุโพแทสเซียม เพื่อใช้ร่วมกับแบบจำลองย่อย ThaiCane ในการคาดการณ์ผลผลิตย่อย ผู้ใช้งานสามารถนำเข้าแผนที่แสดงขอบเขตชุดดิน หรือ กลุ่มชุดดินได้โดยใช้โต๊ะนำเข้าข้อมูล (digitizer)

### ข้อมูลแสดงขอบเขตการจัดการ

เป็นแผนที่แสดงขอบเขตระบบการจัดการผลิตย่อย ตามสภาพสังคมและสภาพเศรษฐกิจของชาวไร่ และระบบการสนับสนุนของโรงงานน้ำตาล โปรแกรม ThaiSIS 1.0 ใช้ขอบเขตนี้ในการเรียกข้อมูลเชิงอรรถที่เก็บในแฟ้มข้อมูล LF IEX (Tsuji et al, 1994) เพื่อใช้ร่วมกับแบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0 ในการคาดการณ์ผลผลิตย่อย แผนที่นี้สามารถนำเข้าในระบบโดยใช้โต๊ะนำเข้าข้อมูล (digitizer)

### ข้อมูลแสดงขอบเขตของต้นทุนการผลิตและราคาย่อย

เป็นแผนที่แสดงขอบเขตของต้นทุนการผลิตย่อยและราคาย่อยตามระบบการซื้อขายของโรงงาน โปรแกรม ThaiSIS 1.0 ใช้ขอบเขตนี้ในการเรียกข้อมูลเชิงอรรถที่เก็บในแฟ้มข้อมูล PRICE (Tsuji et al, 1994) เพื่อใช้ในการคำนวณรายจ่าย-รายได้จากการผลิตย่อย

### ข้อมูลแสดงขอบเขตพื้นที่ปลูกย่อย

เป็นแผนที่แสดงขอบเขตแปลงปลูกย่อยที่มีในพื้นที่จริง โปรแกรม ThaiSIS 1.0 ใช้ขอบเขตนี้ในการซ้อนทับกับขอบเขตสภาพอากาศเกษตร และขอบเขตชุดดิน เพื่อกำหนดข้อมูลเชิงอรรถที่จำเป็นในการปฏิบัติงานของแบบจำลอง ThaiCane 1.0 ซึ่งจะทำให้การคาดการณ์ผลผลิตย่อยเฉพาะในพื้นที่ปลูกย่อยเท่านั้น ผู้ใช้งานสามารถนำเข้า

แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่การปลูกข้าวได้โดยการแปลงข้อมูลดาวเทียมซึ่งได้มีการวิจัยและแสดงผลการศึกษาโดยถาวร อ่อนประไพ และคณะ ในรายงานฉบับนี้

## ฐานข้อมูลเชิงอรรถ

ThaiSIS 1.0 ใช้ระบบฐานข้อมูลเชิงอรรถ (attribute database) เช่นเดียวกับระบบฐานข้อมูล DSSAT 3.0 (Tsuji et al, 1994) ฐานข้อมูลเชิงอรรถเป็นข้อมูลแสดงคุณสมบัติของสิ่งของ และ/หรือวัตถุ เช่น ข้อมูลแสดงระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลางของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ข้อมูลแสดงชื่อชุดดินในแปลงทดลองของสถานีวิจัยและมีกอบรมแม่เหียะของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หรือ ข้อมูลราคาที่ดินในเขตตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น

ในระบบโปรแกรม ThaiSIS 1.0 ต้องการข้อมูลเชิงอรรถสี่ประเภท (ตารางที่ 99) เป็นข้อมูลที่เก็บในรูปแบบ ASCII ของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC ข้อมูลเหล่านี้มีที่มาจากหลายแหล่ง เช่น ข้อมูลดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลการจัดการพืช-ดิน ผู้ใช้งานสามารถพัฒนาและสืบหาได้จากหน่วยงานต่าง ๆ โดยทั่วไปสามารถนำเข้าสู่ข้อมูลเหล่านี้ได้โดยการ key board input

ตารางที่ 99: ข้อมูลเชิงอรรถในระบบ ThaiSIS 1.0

| ชนิดข้อมูล                 | ที่มา                                                                                                                                                                                                                 | วิธีการนำเข้าในคอมพิวเตอร์                        |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| สภาพอากาศเกษตรรายวัน       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• สถานีตรวจอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา</li> <li>• ศูนย์วิจัยพืชไร่และสถานีทดลองพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร</li> <li>• กรมชลประทาน</li> <li>• กรมป่าไม้</li> <li>• มหาวิทยาลัย</li> </ul> | โดย keyboard ในแฟ้มข้อมูลที่มีนามสกุล *.WTH.      |
| คุณสมบัติทางกายภาพ/เคมีดิน | กรมพัฒนาที่ดิน                                                                                                                                                                                                        | นำเข้าโดยโปรแกรม DLDSIS ในแฟ้ม SOIL.SOL           |
| ลักษณะเฉพาะพันธุ์          | กรมวิชาการเกษตร                                                                                                                                                                                                       | นำเข้าโดย keyboard ในแฟ้มข้อมูลที่มีนามสกุล *.CUL |
| การจัดการผลผลิตย่อย        | ผู้ใช้งานโปรแกรม ThaiSIS 1.0                                                                                                                                                                                          | นำเข้าโดย keyboard ในแฟ้ม FILEX                   |

# ส่วนที่ 4

---

## การขยายหลักการ

- หลักการของอักษรสัมพันธ์และสหสื่อ
- สหสื่อ CANEFOPEDIA
- โครงสร้างการฝึกอบรม ThaiSIS 1.0



## ส่วนที่ 4: การขยายหลักการ

---

### หลักการของอักษรสัมพันธ์และสหสื่อ

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ อรรถชัย จินตะเวช

การขยายหลักการในที่นี้หมายถึงกิจกรรมที่กำหนดขึ้นและจะดำเนินการเพื่อย้ายหลัก การและแนววิ ัยโดยใช้ modeling and simulation technique ในวงการวิจัยเกษตร เน้นแบบจำลองพืชเป็นหลัก โดยจะดำเนินการให้เกิดผลในทางปฏิบัติหลายทาง เช่น การใช้สื่อนี้ และการฝึกอบรมหลักการและการใช้งานแบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0 การใช้โปรแกรมเชื่อมโยง ThaiSIS 1.0 และ การทำงานทดลองจริงเพื่อให้เกิดความเข้าใจและ เกิดเป็นกลุ่มวิจัยในประเทศไทยในอีก 3-5 ปี ข้างหน้า ในบทนี้กล่าวถึงหลักการสำคัญของเทคโนโลยีสารสนเทศ อักษรสัมพันธ์และสื่อนี้

อักษรสัมพันธ์ (hypertext) และ สื่อนี้ (multimedia) เป็นเทคโนโลยีสารสนเทศที่เอื้อให้มีการสอดประสาน การใช้งานข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ (complex information management systems) เป็นไปอย่างมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพ ผู้พัฒนาเทคโนโลยีชนิดนี้สามารถ สร้าง เชื่อมโยง และแลกเปลี่ยนข้อมูลที่อยู่ในรูปตัวอักษร (text) ภาพนิ่ง (graphics) เสียง (audio) ภาพเคลื่อนไหว (video) ภาพการจำลองเหตุการณ์ (animation) และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (programs) ทั้งสื่อนี้และอักษรสัมพันธ์สนับสนุนให้ผู้ใช้งานเข้าถึง (access) ข้อมูลข่าวสารแบบไม่เป็นเส้นตรง (non-linear) หรือแบบไม่ตามลำดับได้ (non-sequential) ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศประเภทนี้สามารถตัดสินใจเพื่อประกอบกิจกรรมด้านต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากกว่าวิธีการเดิม เช่น การค้นคว้าจากหนังสือและตำรา หรือฐานข้อมูลทั่วไป ผู้ใช้งานสามารถจะเรียนรู้และสืบเสาะองค์ความรู้ตามความเหมาะสมและความถนัดของแต่ละคนโดยไม่จำเป็นต้องเดินตามกระบวนการดั้งเดิม

งานวิจัยส่วนหนึ่งของโครงการ พทอ. คือการวิจัยเพื่อนำผลงานวิจัยไปสู่ผู้ใช้งานของผลวิจัยนี้อย่างแพร่หลายในทุกรูปแบบ และให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานทุกระดับ โครงการได้กำหนดรูปแบบของการเผยแพร่ผลงานวิจัยไว้ 3 รูปแบบ คือ 1) การฝึกอบรมเพื่อให้ผู้สนใจสามารถใช้โปรแกรมเชื่อมโยง ThaiSIS ในการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ 2) การพิมพ์เอกสารเผยแพร่ผลงานวิจัยในสิ่งพิมพ์สาธารณะรูปแบบต่าง ๆ และ 3) การพัฒนา อักษรสัมพันธ์ และ สื่อนี้ ที่เกี่ยวข้องกับอ้อย เช่น สื่อนี้ CANEFOPEdia ซึ่งรวบรวมเรื่องราวเกี่ยวกับพันธุ์อ้อย การจัดการแปลงอ้อย แบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อย และการใช้งานโปรแกรม ThaiSIS 1.0 เป็นต้น

## หลักการของอักษรสัมพันธ์และสื่อนี้ (hypertext and multimedia principles)

อักษรสัมพันธ์ (hypertext หรือ non-linear text) หมายถึง แนวทางหนึ่งในการรวบรวมข้อมูล digital ซึ่งสภาพเดิมเป็นตัวอักษร (text) และ/หรือ รูปภาพ (graphic) ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม (node) สามารถเชื่อมโยง (link) กันได้ ประการสำคัญอักษรสัมพันธ์เป็นแนวคิด เป็นหลักการและเป็นวิธีการ แต่ไม่ได้เป็นผลผลิต หรือ ผลิตภัณฑ์ (product) ของเทคโนโลยีสารสนเทศ ผลผลิตที่เกิดจากแนวคิดนี้ในวงการเทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น สื่อนี้ในรูปแบบของแผ่นซีดีรอม (CD-ROM) และ ข่ายเชื่อมโยงโลกกว้าง (WWW) เป็นต้น

หนังสือ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ (product) ของเทคโนโลยีสารสนเทศซึ่งรวบรวมและเชื่อมโยงข้อมูล digital ของสื่อแต่ละชนิดเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสมต่อการใช้งาน หนังสือหนึ่ง ๆ อาจประกอบไปด้วยข้อมูลที่เป็นตัวอักษร (text) ภาพนิ่ง (graphics or picture) ภาพของจริงเคลื่อนไหว (video) ภาพจำลองเหตุการณ์เคลื่อนไหว (animation) และเสียง (sound) หนังสือมีลักษณะเฉพาะดังต่อไปนี้

1. เป็น Graphic User Interface ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการโดยการเชื่อมโยงของข้อมูลข่าวสารในกลุ่มเดียวกัน (รูปที่ 35) และสามารถอ่าน ทำความเข้าใจและพิมพ์ข้อมูลเหล่านั้นได้
2. เป็นโปรแกรมช่วยในการสร้างการเชื่อมโยงและปรุงแต่งรูปแบบของข้อมูลข่าวสารให้อยู่ในรูปแบบที่เชื่อมโยงกันได้โดยวิธี digital
3. เป็นเทคโนโลยีสารสนเทศที่ให้ความสำคัญแก่ผู้ใช้งาน

## ผลลัพธ์ของงานวิจัยโดยใช้หลักการอักษรสัมพันธ์

ในโครงการ พทอ. ผลลัพธ์หรือผลผลิตของการวิจัยโดยใช้แนวคิดและหลักการอักษรสัมพันธ์คือเทคโนโลยีสารสนเทศที่เรียกว่า หนังสือสารานุกรมอ้อย CANEFOPEdia ซึ่งคาดว่าจะสามารถนำเผยแพร่ต่อผู้ใช้งานในระยะเวลายาวไกลนี้ ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับอ้อยได้อย่างอิสระ

## ข้อดีของเทคโนโลยี

1. ผู้พัฒนาหนังสือและอักษรสัมพันธ์สามารถเก็บข้อมูลในรูปแบบ digital ได้มากกว่าการเก็บรูปหนังสือ ทำให้การเชื่อมโยงข้อมูลที่สัมพันธ์กันเป็นไปอย่างสมบูรณ์
2. ผู้พัฒนาและผู้ใช้งานสามารถปรับปรุงเนื้อหาหรือข้อมูลได้ในระยะเวลายาวสั้น
3. ผู้ใช้งานสามารถสืบค้นข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องการจัดเก็บในรูปแบบ digital มีระบบจัดเก็บที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า
4. ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลที่สืบค้นได้ไปใช้งานทันทีในรูปแบบ digital

## สรุป

การผลิตหนังสือนั้นสิ่งสำคัญคือองค์ความรู้ในเรื่องนั้น ๆ (knowledge bases) อุปกรณ์สนับสนุนการผลิตหนังสือและบุคคลากรที่มีความชำนาญในการใช้โปรแกรม

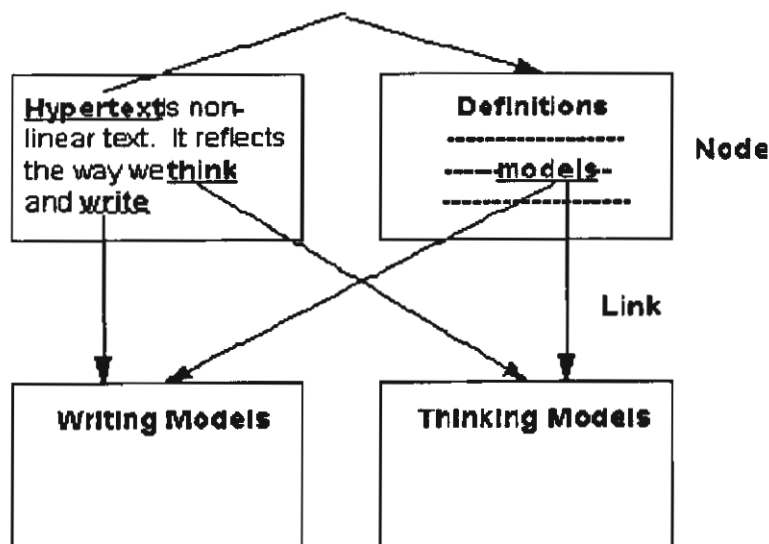
ในด้านองค์ความรู้นั้นคณะผู้วิจัยฯ จะเริ่มต้นดำเนินการประสานกับกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม และเกษตรกรผู้ชำนาญงาน เพื่อรวบรวมเอกสารวิชาการและสถิติเกี่ยวกับเรื่องอ้อย โดยจะเริ่มจากเรื่องที่มีความอึดตัวแล้วในเชิงวิชาการและเป็นประเด็นสำคัญในการผลิตอ้อย ไม่ซับซ้อนมากเกินไปในการพัฒนาหนังสือรุ่นแรก กลยุทธ์แรกคือการรวบรวมเอกสารเหล่า

นั้นให้อยู่ในสถานที่เดียวกัน อยู่ในรูปแบบที่สามารถสังเคราะห์ให้เป็นองค์ความรู้ (real knowledge base) ที่บุคคลทั่วไปสามารถนำไปใช้งานได้ก่อน

ในด้านอุปกรณ์การผลิตสื่อนั้น เนื่องจากต้องการ software ที่เกี่ยวข้องมากชนิด เช่น authoring tool (AUTHORWARE, DIRECTOR, etc) hypertext software, sound edit, image processing เป็นต้น คณะผู้วิจัยจะดำเนินการประสานงานกับกลุ่มวิจัยอื่นทั้งในและต่างประเทศที่ได้พัฒนาความชำนาญและมีประสบการณ์ในการใช้โปรแกรมผลิตสื่อนี้แล้ว เช่น โครงการวิจัยของ อ. ดร. วสันต์ จันทราทิตย์ ภาควิชาจุลชีววิทยาคณิศ คณะเทคนิคการแพทย์ และโครงการวิจัยของ อ.ดร.เมธี เอกะสิงห์ ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่กำลังพัฒนาเอกสารโครงการวิจัย เป็นต้น

ในด้านบุคลากรสำหรับผลิตสื่อนี้ คณะผู้วิจัยฯ จะดำเนินการขยายจำนวนผู้วิจัยทั้งในและนอกมหาวิทยาลัย รวมทั้งการเพิ่มจำนวนนักศึกษาปริญญาตรีและโทช่วยวิจัย

รูปที่ 35: ตัวอย่างของเพิ่มข้อมูลในรูปแบบของอักษรสัมพันธ์ (hypertext)  
(Balasubramanian, V., 1997)



## สหสื่อสารานุกรมอ้อย CANEFOPEDIA

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา อรรถชัย จินตะเวช  
เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง นิพนธ์ เอี่ยมสุภานิต  
ปรีชา พราหมณีย์ อัปสร เปลี่ยนสินไชย และ  
อ้อยทิน จันทรเมือง

ในสาขาวิชาต่าง ๆ โดยเฉพาะสาขาวิชาทางเกษตร นักวิชาการสายนี้มักจะได้รับคำถามหลากหลายจากเกษตรกรโดยตรง หรือเป็นคำถามที่ถูกตั้งขึ้นจากนักวิชาการด้วยกันเอง แต่นักวิชาการคนหนึ่ง ๆ นั้นอาจจะมีรู้ความสามารถเฉพาะเรื่อง เช่น วัชพืช หรือ โรคพืช เป็นต้น ดังนั้นการที่จะค้นหาคำตอบในทุก ๆ เรื่องจากนักวิชาการท่านหนึ่งท่านใดคงเป็นไปได้ยาก อย่างไรก็ตามการค้นหาคำตอบจากเอกสารวิชาการก็เป็นหนทางเลือกอีกทางหนึ่งในการที่จะหาคำตอบเหล่านั้น แต่แหล่งข้อมูลจากเอกสารต่าง ๆ เหล่านี้อาจจะอยู่กระจัดกระจายเช่นเดียวกับการกระจายของนักวิชาการที่มีความรู้เฉพาะเรื่อง นอกจากนั้นการเสนอข้อมูลในเอกสารวิชาการอาจไม่ชัดเจนนัก ดังนั้นถ้าหากว่าเราสามารถนำความรู้จากนักวิชาการผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขา และรวบรวมความรู้จากเอกสารวิชาการแล้วสามารถเสนอความรู้ที่รวบรวมมาอย่างมีระบบ และง่ายต่อการค้นหา สิ่งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งไม่เฉพาะในวงการการศึกษา หรืองานวิชาการ แต่จะมีประโยชน์ต่อผู้ปฏิบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ข้อมูลที่ได้ เพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและเสนอผลในรูปแบบที่ชัดเจนและเป็นที่น่าสนใจได้แก่ สหสื่อ หรือ multimedia ซึ่งสหสื่อเป็นเครื่องมือที่รวบรวมความรู้ในเรื่องหนึ่งเรื่องใดในรูปแบบของตัวอักษร (text) รูปภาพ เสียง ภาพเคลื่อนไหว และการจำลองเหตุการณ์ (animation) แล้วถ่ายทอดความรู้ในรูปแบบต่าง ๆ เหล่านี้โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้การเสนอความรู้โดยอาศัยสื่อต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นจะเป็นการถ่ายทอดอย่างมีระบบ เพื่อที่จะให้ผู้เข้าใช้ในเรื่องราวต่าง ๆ นั้นได้ง่าย ปัจจุบันเทคโนโลยีการพัฒนาสหสื่อเป็นที่แพร่หลายเช่นสหสื่อแสดงพรรณไม้ในสวนหลวง ร.๙ (นิรนาม, 2536) สหสื่อสารานุกรม MULTIMEDIA ENCYCLOPEDIA (Anon., 1992) สหสื่อเสนอเรื่องราวเกี่ยวกับระบบสุริยะ BEYOND PLANET EARTH (Anon., 1993) และสหสื่อเสนอขั้นตอนการพัฒนาของพืช HOW THINGS GROW (Anon., 1994) เป็นต้น สหสื่อเหล่านี้ถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ง่ายต่อการใช้ รวดเร็วต่อการค้นหาเรื่องที่ผู้ต้องการรู้ และแสดงผลเป็นที่เข้าใจง่ายและชัดเจน ปกติแล้วสหสื่อที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเผยแพร่จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของ CD-ROM

การพัฒนาสหสื่อในวงการวิชาการอ้อยนั้น นับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะในอนาคตอันใกล้นี้ ทั้งนี้เพราะปัญหาที่เกิดขึ้นในการเพาะปลูกอ้อย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องโรค แมลง พันธุ์ มักจะเกิดขึ้นเสมอ และเป็นปัญหาที่ไม่ซ้ำกัน ดังนั้นการที่จะติดตามการแก้ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องมีข้อมูลหรือแหล่งความรู้เฉพาะเรื่องนั้น ๆ อยู่ประจำไม่ว่าจะเป็นที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ หรือแม้แต่ในมหาวิทยาลัยเองก็ตาม นอกจากนั้นการคาดหวังว่าจะสามารถพบผู้เชี่ยวชาญเหล่านี้ย่อมเป็นไปได้ยาก ดังนั้นถ้าหากว่าเราสามารถรวบรวมความรู้จากการศึกษา หรือจากผู้เชี่ยวชาญในแต่ละด้านเข้าเป็นระบบและสามารถเสนอผลได้อย่างชัดเจน และพัฒนาเป็นสหสื่อแล้ว โอกาสการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจะเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะปัญหาซึ่งต้องนำมาซึ่งการตัดสินใจ

เหตุผลที่สำคัญประการหนึ่งซึ่งจะสนับสนุนการพัฒนาสหสื่อ เพื่อช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ หรือการค้นคว้าทางวิชาการ ได้แก่การที่อุปกรณ์คอมพิวเตอร์โดยเฉพาะส่วนที่เป็น hardware นั้นมีราคาไม่แพงดังเช่นในอดีตที่ผ่านมา ปัจจุบันชุดคอมพิวเตอร์ที่ใช้ CPU Pentium พร้อมอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานกับระบบสหสื่อ (CD-ROM, Sound Card) มีราคาที่ไม่แพง ดังนั้น ถ้าหากเราสามารถพัฒนาสหสื่อความรู้ทางอ้อยได้แล้ว การเผยแพร่

หนังสือเหล่านี้ไปตามสถานที่ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นศูนย์วิจัยพืชไร่ เกษตรอำเภอ โรงงานน้ำตาล ฯลฯ ก็เปรียบเสมือนการนำผู้เชี่ยวชาญในทุกสาขาไปประจำในสถานที่นั้น ๆ ที่พร้อมที่จะให้บริการการค้นคว้าหาความรู้ต่าง ๆ ที่จะ เป็นข้อมูลสำคัญในการใช้ในงานวิจัย หรือการผลิตต่อไป

กิจกรรมการวิจัยในส่วนหนังสือสารานุกรมข้อ CNEFOPEDIA เป็นผลลัพธ์ของการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเอกสารวิชาการข้อให้อยู่ในรูปของหนังสือ ทั้งนี้โดยเป็นการรวบรวมความรู้ และข้อมูลในด้านต่าง ๆ เช่น ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์พืช โรคและแมลงศัตรูพืช และการจัดการการเพาะปลูกพืช เป็นต้น อย่างเป็นระบบ และมีความชัดเจนง่ายต่อการศึกษาหรือค้นคว้าหาความรู้ในเรื่องต่าง ๆ ที่ต้องการ

## การพัฒนาสื่อ

การพัฒนาสื่อนั้นเป็นการทำงานที่ต้องอาศัยทีมงานซึ่งประกอบไปด้วย ผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ (Vaughan, 1994) คือ

1. ผู้จัดการโครงการ (project manager) ซึ่งเป็นผู้ควบคุมการพัฒนาระบบสื่อทั้งหมด
2. ผู้เขียนบท (writer) ซึ่งเป็นผู้ออกแบบรูปแบบการเสนอความรู้ในด้านตัวอักษร
3. ผู้เชี่ยวชาญทางวิดีโอ (video specialist) จะเป็นผู้ที่สร้าง และตัดต่อความรู้ที่จะเสนอในรูปแบบของการถ่าย ทอดภาพเคลื่อนไหว
4. ผู้เชี่ยวชาญทางการบันทึกและถ่ายทอดเสียง (audio specialist) จะเป็นผู้ที่จะบันทึก และตัดต่อเสียง โดยจะ นำเสนอความรู้ในรูปแบบของเสียง
5. ผู้เขียนโปรแกรม เป็นบุคคลสำคัญคนหนึ่งในทีมงานพัฒนาสื่อ เพราะจะเป็นผู้รวบรวมความรู้ต่าง ๆ ที่ได้ จากผู้เขียนบท ผู้เชี่ยวชาญทางวิดีโอ และผู้เชี่ยวชาญทางการบันทึกและถ่ายทอดเสียง กับทั้งนำแนวความคิด ของผู้จัดการโครงการมาถ่ายทอดในรูปลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะต้องเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อ การใช้งาน

## โครงสร้างและเนื้อหาของ CNEFOPEDIA

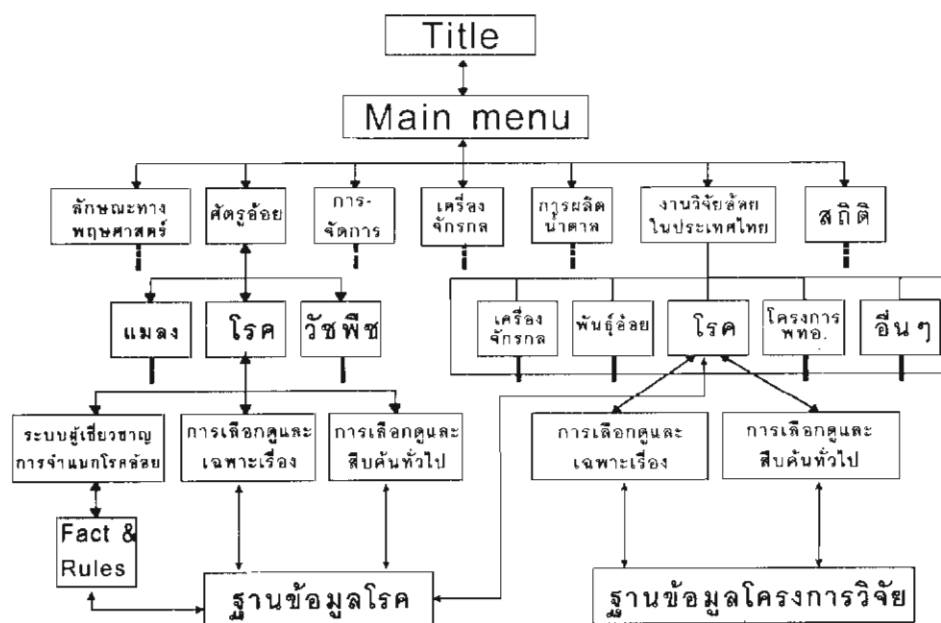
โครงสร้างของ CNEFOPEDIA จะมีลักษณะเป็นลำดับชั้นของเนื้อหา (hierarchical structure) นี้โดยแบ่งเนื้อหา ออกเป็นหัวข้อหลัก ๆ ไว้ได้แก่ ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์ การจัดการการเพาะปลูก เครื่องจักรกล ศัตรูพืช ผลงานวิจัยข้อในประเทศไทย การผลิตน้ำตาล และสถิติ (ภาพที่ 19) ในแต่ละหัวข้อหลักก็จะแบ่งย่อยออกเป็น หัวข้อรอง (รูปที่ 36)

ในการแสดงข้อมูลของ CNEFOPEDIA นั้นโดยทั่วไปจะแสดงในลักษณะ hypertext ซึ่งหมายถึงผู้ใช้ สามารถจะเลือกหรือค้นหาเรื่องที่สนใจศึกษาได้โดยไม่ต้องเรียงตามลำดับหัวข้อ ทั้งนี้โดยอาศัย pointer device เช่น mouse ในการเลือกค้นสิ่งที่ต้องการ สำหรับในส่วนของพันธุ์พืช โรคพืช วัชพืชในไร่พืช และ แมลงศัตรู พืชจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนที่ให้ผู้ใช้งานสามารถค้นหาความรู้ได้เกี่ยวกับเรื่องต่าง ๆ เหล่านี้ในลักษณะที่เป็น

ภาพที่ 19: โครงสร้างหลักของ CANEFOPEDIA 1.0



รูปที่ 35: หัวข้อย่อยในภายใต้โครงสร้างของ CANEFOPEDIA 1.0



hypertext และส่วนที่เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญหรือ expert system ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถวินิจฉัยชนิดประเภทของพันธุ์ โรค วัชพืช และแมลงได้ โดยอาศัยตัวอย่างที่นำมา ทั้งนี้โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวถึงจะอาศัยต้นแบบจากโปรแกรม WIX (ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ ชานชัย แสงชโยสวัสดิ์, 2536)

## โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้ในการพัฒนา CANEFOPEDIA

การสร้าง CANEFOPEDIA ต้องใช้โปรแกรมสองประเภท 1) โปรแกรมสร้างสหสื่อ (multimedia authoring software) และ 2) โปรแกรมใช้งานขั้นพื้นฐาน โปรแกรมประเภทแรกคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Authorware Professional (Authorware Professional เป็นชื่อการค้าของ Macromedia ตั้งอยู่ที่ 600 Townsend, Suite 310W, San Francisco, CA 94107) ซึ่งได้รับการออกแบบให้ผู้ใช้สามารถรวบรวมข้อมูลหลายรูปแบบเข้าด้วยกัน เช่น ข้อความ (text) ภาพนิ่ง (graphics) ภาพวิดีโอ (video) ภาพการจำลองระบบ (animations) และเสียง (sound) เข้าด้วยกัน

สำหรับโปรแกรมใช้งานพื้นฐานนั้นได้แก่โปรแกรมที่จะสร้างภาพ หรือตัวอักษรรวมทั้งโปรแกรมที่ใช้สำหรับตัดต่อภาพวิดีโอ และเสียง ซึ่งหลายโปรแกรมได้แก่

- โปรแกรมสำหรับการวาดภาพ เช่น Fractal Design Planter
- โปรแกรมสำหรับสร้างภาพสามมิติและการจำลองเหตุการณ์ เช่น Ray's Dream Studio
- โปรแกรมสำหรับตัดแต่งภาพ เช่น PhotoStyler
- โปรแกรมสำหรับสร้าง Text เช่น Microsoft-Word
- โปรแกรมสำหรับตัดแต่งเสียง เช่น WaveEdit
- โปรแกรมสำหรับตัดต่อภาพวิดีโอ เช่น VideoSpigot

## ตัวอย่างของฐานข้อมูลที่จะบรรจุใน CANEFOPEDIA

### แมลง

CANEFOPEDIA 1.0 มีข้อมูลเกี่ยวกับแมลงศัตรูอ้อยที่สำคัญ (ตารางที่ 101) ซึ่งพบการแพร่กระจายและมีระดับการทำลายถึงขั้นสูญเสียผลผลิตในประเทศไทยรวม 18 ชนิด ได้แก่ ตัววงวงอ้อย (*Sepiomus sp.*) ตัววงหนวดขาว ตั๊กแตนโลกัสดา (*Locusta migratoria manilensis* Megen) ตั๊กแตนไฮโรไกลฟัส (*Hieroglyphus banian* Fabricius) ปลวก (*Odontotermes takensis* Ahmad) เพลี้ยกระโดดดำ (*Callitetrax versicolor* Fabricius) เพลี้ยแป้งสีชมพู (*Saccharicoccus sacchari* Cockerell) เพลี้ยสำลี (*Oregma sp.*) เพลี้ยหอยอ้อย (*Aulacaspis tegalensis* Zehntner) มวนอ้อย (*Phaenacantha saccharicida* Karsch) แมลงงูหนหลวง (*Lepidiotia stigma* Fabricius) แมลงหีขาวอ้อย (*Aleurolobus barodensis* Muskell) หนอนกอหลายจุดเล็ก

(*Chilo infuscatellus* Snellen). หนอนกอลายจุดใหญ่ (*Chilo tumidicostalis* Hampson.) หนอนกอลายใหญ่ (*Chilo sacchariphagus* Bojer.) หนอนกอสีขาว (*Scirpophaga excerptalis* Walker) หนอนกอสีชมพู (*Sesamia inferens* Walker) หนอนบู่ (*Eupterote testacea* Walker)

โครงสร้างฐานข้อมูล ที่เกี่ยวกับแมลงแต่ละชนิดประกอบด้วย รูปร่าง ขนาด ลักษณะ และชีวประวัติ ลักษณะการทำลาย ฤดูกาลและเขตการระบาด และ การป้องกันกำจัดหลายวิธี

## โรค

CANEFOPEDIA 1.0 มีข้อมูลเกี่ยวกับโรคอ้อยที่สำคัญ ซึ่งพบการระบาดมีระดับการทำลายถึงขั้นสูญเสียผลผลิตในประเทศไทยรวม 14 โรค ได้แก่ กลิ่นสับปะรด (*Ceratocystis paradoxa*) กอตะไคร้ (*Mycoplasma*) เน่าคออ้อย (*Erwinia* sp.) ใบขาว ใบขีดแดงและยอดเน่า (*Xanthomonas rubrilineans*) ใบจุดเหลือง (*Mycovellosiella koepkii*) พืช รากโคนเน่า (*Marasmiellus* sp.) รากเน่าเกิดจากเชื้อรา *Pythium* sp. ราสนิม (*Puccinia melanocephala*) ลำต้นเน่า (*Fusarium moniliforme*) ลำต้นเน่าแดง แล่ดำ (*Ustilago scitaminea*) เหี่ยวเน่าแดง (*Colletotrichum falcatum*) และ (*Fusarium moniliforme*)

โครงสร้างของฐานข้อมูลโรคอ้อยประกอบด้วย ชนิดโรคที่สำคัญของอ้อย เชื้อสาเหตุ ลักษณะอาการของโรคแต่ละชนิด การป้องกันและกำจัด พื้นที่การแพร่กระจายของโรคในเขตเพาะปลูกอ้อยของประเทศไทย พันธุ์อ้อยที่ต้านทานต่อโรค และ โรคที่เกิดกับอ้อยพันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าและพันธุ์ที่น่าสนใจในประเทศไทย

## ฐานข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ พันธุกรรม การจัดการการเพาะปลูก และอื่น ๆ

ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ และพันธุกรรมของอ้อยแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ คือ การจำแนกชนิดพันธุ์อ้อย แหล่งกำเนิด การแพร่กระจายของพันธุ์อ้อย ประวัติและลักษณะของอ้อยแต่ละชนิด ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ และขั้นตอนการเจริญเติบโต

ข้อมูลการจัดการประกอบด้วย สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย การจัดการดินและปุ๋ย การจัดการการให้น้ำ การควบคุมและป้องกันกำจัดศัตรูอ้อย และการเก็บเกี่ยว

ข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ความสำคัญทางเศรษฐกิจ โรงงานน้ำตาลและขบวนการการผลิตน้ำตาล การใช้ประโยชน์และผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล สรุปและการรวบรวมผลงานวิจัยอ้อยในประเทศไทย

## โครงสร้างการฝึกอบรม

อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์  
เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา  
ถาวร อ่อนประไพ นิพนธ์ เอี่ยมสุภาชาติ  
ปรีชา พราหมณีย์ และ อัปสร เปลี่ยนสินไชย

**การนำผลการวิจัยของโครงการ พทอ. ไปเผยแพร่ยังผู้ใช้งานในระดับต่าง ๆ** จัดว่าเป็นกิจกรรมสำคัญประการหนึ่งของโครงการวิจัย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมที่ไม่ค่อยไปพบเห็นมากนักโดยเฉพาะในวงการเกษตร ทั้งนี้คณะผู้วิจัยให้ความสนใจที่จะพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรมเพื่อสนับสนุนการใช้งานเทคโนโลยีสารสนเทศทางเกษตร ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของโครงการ พทอ. เช่น ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ThaiSIS 1.0 แบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0 และการใช้ประโยชน์จากข้อมูลระยะไกลเพื่อการประมาณการผลผลิตย่อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ เป็นต้น

บทนี้กล่าวถึงโครงสร้างเพื่อการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ของรัฐและภาคเอกชนเพื่อให้เกิดความเข้าใจและสามารถประยุกต์ใช้โปรแกรม ThaiSIS 1.0, ThaiCane 1.0 และ CANEFOPEDIA 1.0 ไปประกอบการใช้งานสภาพจริง

## โครงสร้างการฝึกอบรม

การฝึกอบรมนี้ออกแบบสำหรับ 14-15 เดือน เป็นกิจกรรมหนึ่งที่คณะผู้วิจัยเชื่อว่าจะเป็นการเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องวิธีหนึ่ง โดยจะจัดในรูปแบบของการฝึกอบรมปฏิบัติการ (workshop) ร่วมกับปฏิบัติการจริงในสนาม (field work) สำหรับนักวิชาการและผู้เกี่ยวข้องในการผลิตย่อยของประเทศไทย โดยแบ่งเป็นภาคหลักการและภาคสนาม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### ภาคหลักการ (5 วัน)

กิจกรรมในภาคบรรยายเน้นการเสนอแนวคิดและแนวปฏิบัติ ตามวิธีการ modeling & simulation และ เปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เสนอโครงการวิจัยเพื่อนำวิธีการไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานต้นสังกัด (ตารางที่ 100)

### ภาคสนาม (ประมาณ 14 เดือน)

กิจกรรมภาคสนาม (ตารางที่ 101) เพื่อสนับสนุนการเผยแพร่แนวคิดและวิธีการ modeling & simulation ในประเทศมีหลักการสำคัญสองประการ คือ หนึ่งให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมและคณะผู้วิจัยได้มีโอกาสร่วมงานกันมากขึ้น และสองให้โอกาสแก่ทั้งสองฝ่ายในการปรับปรุงวิธีการวิจัยให้เหมาะสมและสามารถประยุกต์ใช้แนวคิดได้อย่างกลมกลืนกับงานเดิม

## สื่อที่คาดว่าจะใช้และต้องพัฒนาสำหรับการฝึกอบรม

1. คู่มือโปรแกรม DSSAT 3.1T, ThaiCane 1.0, และ ThaiSIS 1.0
2. หนังสือ CANEFOPEDIA 1.0

ตารางที่ 100: กำหนดการฝึกอบรมเพื่อขยายแนวความคิดและหลักการการวิจัยตามแนว modeling & simulation in agriculture ภาคบรรยายและหลักการ

| วัน | 9:00-12:00                                                                                                                                                                                                                            | 13:00-16:30                                                                                                              | หมายเหตุ                                    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1   | การใช้คอมพิวเตอร์กับการวิจัย-ส่งเสริมพัฒนาการเกษตร (เมธี เอกะสิงห์) แนวคิด/หลักการระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางเกษตร (อรรถชัย จินตะเวช) โครงสร้างระบบ DSSAT, I/O structure และ กลุ่มข้อมูลพื้นฐาน (MDS) อากาศ-พืช-ดิน (อรรถชัย จินตะเวช) | การติดตั้งระบบ DSSAT ใน Hard disk ของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC (วิทยากร)                                                  | ประชุม มวางแผนวิจัยร่วม (วิทยากร และทีมงาน) |
| 2   | โครงสร้าง FILEX เพื่อการกำหนดหน่วยงานทดลองทางเกษตร (ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา)                                                                                                                                                             | การสร้าง FILEX และการทำงานกับแบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0 โครงสร้างข้อมูลอากาศ และการนำเข้าข้อมูลอากาศผ่านโปรแกรม DSSAT 3.1 | ประชุม มวางแผนวิจัยร่วม                     |
| 3   | หลักการของกระบวนการที่สำคัญในดินพลวัตของน้ำในดิน ระบบฐานข้อมูลดิน DLDSIS                                                                                                                                                              | การเรียกข้อมูลดิน DLDSIS จาก DSSAT 3.1                                                                                   | ประชุม มวางแผนวิจัยร่วม                     |
| 4   | แนะนำหลักการแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชและแบบจำลองอ้อย หลักการและการใช้งานแบบจำลองการเจริญเติบโตอ้อย ThaiCane 1.0 (CANEGRO)                                                                                                          | ฝึกการใช้ แบบจำลองอ้อยและ DSSAT 3.1 ในการประเมินทางเลือกเพื่อการผลิต                                                     | ประชุม มวางแผนวิจัยร่วม                     |
| 5   | โครงสร้างโปรแกรม ThaiSIS 1.0 และแนวทางการใช้แบบจำลองอ้อย ร่วมกับ ThaiSIS 1.0 หลักการการแปลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อการเกษตร ทำแผนที่พื้นที่การปลูกอ้อย                                                                                     | ฝึกการใช้ แบบจำลองอ้อยและ ThaiSIS 1.0 ในการประเมินผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่                                            | สรุปแผนวิจัยร่วม                            |

ตารางที่ 101: กำหนดการฝึกอบรมเพื่อขยายแนวความคิดและหลักการการวิจัยตามแนว modeling & simulation in agriculture ภาคสนาม

| เดือน  | กิจกรรม                               | ผลลัพธ์                                          |
|--------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1      | ฝึกอบรม ThaiSIS 1.0<br>วางแผนงานทดลอง | เข้าใจระบบสามารถปฏิบัติงานได้<br>แผนงานทดลองร่วม |
| 1.5-12 | ดำเนินการทดลอง                        | แปลงทดลอง/ข้อมูล                                 |
| 13     | เก็บเกี่ยวงานทดลองย่อย                | ข้อมูลที่สมบูรณ์                                 |
| 14     | ประชุมเสนอผลงาน/แผนงานวิจัยร่วม       | รายงานการประชุม/แผนงานวิจัยร่วม                  |

3. ในระหว่างปี 2539-41 คณะผู้วิจัย คาดว่า จะสามารถผลิตหนังสือเพื่อสนับสนุนการเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากโครงการวิจัยหลายเรื่อง เช่น

- หนังสือการผลิตย่อยให้มีผลผลิตภาพ เสถียรภาพ และถาวรภาพอยู่ในระดับสูง
- หนังสือการใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการผลิตย่อย ThaiSIS 1.0 และ DSSAT 3.1T

## เอกสารที่ได้พัฒนาแล้ว

โครงการ พทอ. 2540 คู่มืออ้างอิง โปรแกรม ThaiSIS 1.0 หน้า 74-100 ในรายงานความก้าวหน้าโครงการ พทอ.

ระยะที่ 5 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โครงการ พทอ. 2540 ฐานข้อมูลสำหรับ ThaiSIS 1.0 ระวางน้ำพอง หน้า 101-124 ในรายงานความก้าวหน้าโครงการ

พทอ. ระยะที่ 5 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา 2540 การกำหนดหน่วยงานทดลอง (experimental unit) ในแบบจำลองการเจริญเติบโต

ของพืช หน้า 148-167 ในรายงานความก้าวหน้าโครงการ พทอ. ระยะที่ 5 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทาง

เกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อรรถชัย จินตะเวช 2539 หลักการของระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางเกษตร หน้า 99-107 ในรายงานความ

ก้าวหน้าโครงการ พทอ. ระยะที่ 4 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อรรถชัย จินตะเวช และทวีศักดิ์ เวียรศิลป์ 2540 การเรียกข้อมูลดินจาก DLDSIS หน้า 143-147 ในรายงานความ

ก้าวหน้าโครงการ พทอ. ระยะที่ 5 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อรรถชัย จินตะเวช และศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา 2540 กลุ่มข้อมูลพื้นฐาน อากาศ-พืช-ดิน เพื่อประกอบการใช้งาน

แบบจำลองย่อย หน้า 132-137 ในรายงานความก้าวหน้าโครงการ พทอ. ระยะที่ 5 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผล

ผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อรรถชัย จินตะเวช และศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา 2540 ฝึกปฏิบัติ: นำเข้าข้อมูลอากาศเกษตรใน shell DSSAT 3.0  
หน้า 138-142 ในรายงานความก้าวหน้าโครงการ พทอ. ระยะที่ 5 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

---

## เอกสารอ้างอิง และบรรณานุกรม

- กรมแผนที่ทหาร 2533. ระบบการกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม;หลักการและระเบียบปฏิบัติ-งานสนาม. กองยี่ออเดซี กรมแผนที่ทหาร. 48 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร 2528 โรคอ้อย เอกสารวิชาการ เล่มที่ 11 กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร 96 หน้า
- นิรนาม 2536 พรรณไม้ในสวนหลวง ร.๙ บริษัท จินดา อีเลคทรอนิกส์ พับลิชชิง จำกัด
- พนมศักดิ์ พรหมบุญ และ เมธี เอกสิงห์ 2539 โครงสร้างระบบข้อมูลดิน รายงานวิชาการ #40 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 64 หน้า
- ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ ชัญชัย แสงไชยสวัสดิ์ 2536 วัชพืชในระบบการปลูกถั่วเหลืองในประเทศไทย: 2. การจัดการฐานข้อมูลและระบบผู้เชี่ยวชาญ เอกสารประกอบการประชุมวิชาการอรัญญาพิชแห่งชาติ ครั้งที่ 1 20-22 ตุลาคม 2536 ณ โรงแรมรามารการ์เดนส์ กรุงเทพฯ
- ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี 2537 เอกสารวิชาการการปลูกพืชไร่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.
- สุเกสินี สุกธีระ 2528 การใช้เทคนิคการประเมินสภาพชนบทแบบเร่งด่วน (Rapid Rural Appraisal) ในการศึกษาสภาพพื้นที่ เอกสารเสนอในการประชุม ระบบการทำฟาร์มครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัด-ขอนแก่น หน้า 77-99
- อรรถชัย จินตะเวช และ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา 2540 แบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0 รายงานความก้าวหน้า-ระยะที่ 5 โครงการ พทอ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 183 หน้า
- อาร์นัต พัฒนโทย 2528 บรรยายพิเศษเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาระบบการทำฟาร์ม คำบรรยายประกอบสไลด์ชุด Introduction to Farming Systems Research and Extension (FSR/E) เอกสารเสนอในการประชุม ระบบการทำฟาร์มครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัด-ขอนแก่น หน้า 1-28
- Aase, J.K. 1978. Relationship between leaf area and dry matter in winter wheat. *Agron. J.* 70:563-565.
- Anonymous. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology.* 41:785-790.
- Anonymous. 1992. MULTIMEDIA ENCYCLOPEDIA. Online Computer Systems, Inc. USA.
- Anonymous. 1993. BEYOND PLANET EARTH. Discovery Communications, Inc. USA.
- Anonymous. 1994. HOW THINGS GROW. Interactive Publishing Corporation. USA..
- Arnold, C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat\_unit system. *Am. Soc. Hort. Sci.* 74: 430-445.
- Baker, J.M. 1996. Use and abuse of crop simulation models. *Agron. J.* 88: 689.
- Balasubramanian, V., 1997. State of the Art Review on Hypermedia Issues And Applications. Graduate School of Management, Rutgers University, Newark, New Jersey [bala@pegasus.rutgers.edu]
- Bhagsari, A.S., R.H. Brown. 1986. Leaf photosynthesis and its correlation with leaf area. *Crop Sci.* 26:127-132.
- Bleasdale, J.K.A. 1967. Systematic design for spacing experiment. *Exp. Agric.* 3:73-85.
- Boote, K.J. 1992. Growth stages of peanut (*Arachis hypogaeae* L.). *Peanut Science.* 9:35-40.
- Boote, K.J., J.W. Jones, N.B. Pickering. 1996. Potential uses and limitations of crop models. *Agron. J.* 88: 704-716.

- Bull, T.A. 1975. Row spacing and potential productivity in sugarcane. *Agron. J.* 67:421-423.
- Cao, W., and D.N. Moss. 1989. Temperature effect on leaf emergence and phyllochron in wheat and barley. *Crop Sci.* 29: 1018-1021.
- Carstensen, L.W., Jr. 1987. A Measure of Similarity for cellular maps. *Amer. Cart.* 14:345-358.
- Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.* 37:35-46.
- Dax, E., O. Livneh, O. Edelbaum, N. Kedar, N. Gavish, H. Karchi, J. Milo, I. Sela, and H.D. Rabinowitz. 1994. A random amplified polymorphic DNA (RAPD) molecular marker for the TM-2 gene in tomato. *Euphytica* 74: 159-163.
- Dent, J.B., and M.J. Blackie. 1979. Simulation in Agriculture. Applied Sci., Pub., Ltd., London. 180 pp.
- de Wit, C.T. 1982. Simulation of living systems. In F.W.T. Penning de Vries, and H.H. van Laar (eds.) *Simulation of plant growth and crop production. Simulation monographs*, CABO, Wageningen, p 3-8.
- Egli, D.B. 1994. Mechanism responsible for soybean yield response to equidistant planting pattern. *Agron. J.* 86:1046-1049.
- Ekasingh, M., A. Jintrawet, S. Jongkaewwattana, and S. Buranaviriyakul. 1992. Simulation models in agriculture: Activities at Chiang Mai University. A paper presented in a workshop on "Simulation model in agricultural Development in Thailand", Aug. 21, 1992. Field Crop Research Inst., Bangkok, Thailand.
- ERDAS, Inc., 1991. Classification ERDAS Field Guide. ERDAS Inc., 2801 Bufford Highway, NE, Suite 300, Atlanta, Georgia 30329-2137, USA. 225-278 pp.
- ERDAS, Inc., 1994a. Classification ERDAS Field Guide. ERDAS Inc., 2801 Bufford Highway, NE, Suite 300, Atlanta, Georgia 30329-2137, USA. 225-278 pp.
- ERDAS, Inc., 1994b. Rectification ERDAS Field Guide. ERDAS Inc., 2801 Bufford Highway, NE, Suite 300, Atlanta, Georgia 30329-2137, USA. 279-318 pp.
- Fehr, W.R., C.E. Caviness, D.T. Burmood, and J.S. Pennington. 1971. Stage and development descriptions for soybean (*Glycine max* L.) Merrill. *Crop Sci.* 11:929-931.
- Foody, G.M. 1992. On the Compensation for Change Agreement in Image Classification Accuracy Assessment. *Photog. Eng. & Remote Sens.* 58: 1459-1460.
- Freeman, K.C. 1968. Influence of row spacing on yield and quality of sugarcane in Georgia. *Agron. J.* 60:421-423.
- Hadrys, H., M. Black, and B. Schierwater. 1992. Applications of random amplified polymorphic DNA (RAPD) in molecular ecology. *Molecular Ecology*. 1: 55-63.
- Hanway, J.F., 1963. Growth stage of corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 55: 487-492.
- Hesketh, J.D. and I.J. Warrington. 1989. Corn growth response to temperature: rate and duration of leaf emergence. 81:969-701.
- Hodges, T., and E.T. Kanemasu. 1977. Modeling daily dry matter production of winter wheat. *Agron. J.* 69:674-678.
- Hunt, L.A., J.W. Jones, J.T. Ritchie, and P.S. Teng. 1989. Genetic coefficients for the IBSNAT crop models. *Proc. IBSNAT Symp., held at the 81th Ann. Meeting of ASA, Las Vegas, Nevada, Oct 17, 1989.*

- IDRISI, 1995. Installation Guide: IDRISI for Windows 1995. Clark labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA 01616-1477, USA.
- Inman-Bamber, N.G. 1991. A growth model for sugarcane based on a simple carbon balance and the CERES-Maize water balance. *S. Afr. J Plant and Soil*. 8:93-99.
- Irvine, J.E. 1967. Photosynthesis in sugarcane varieties under field conditions. *Crop Sci*. 7:297-300.
- James C.P. Chen. 1985. Cane Sugar Handbook-A manual for cane sugar manufactures and their chemists. 11th Edition, John Willey & Sons, London.
- Jensen, J.R. 1986. Image Enhancement: Introductory Digital Image processing, A Remote Sensing Perspective. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. DT 632, 117-173 pp.
- Jintrawet., A. 1991. A decision support system for rapid appraisal of rice-based agricultural innovations. Ph.D. disser., U. of Hawaii, USA., 167 pp.
- Jongkaewwattana, S. 1995. Systems simulation and modeling. Multiple Cropping Center, Chiang Mai Univ., Chiang Mai, 50200, Thailand., 199. pp.
- Keig Q., J.R. McAlpine, and E.M. Pointing, 1991. Cane-land productivity monitoring and Enhancement-Appropriate use of Information Technology. Proceedings of Australian Society of Sugarcane. Technologist 1991, 138-145 pp.
- Kennedy, M. 1996. The global positioning system and GIS. Ann Arbor Press, Inc., Chelsea, Michigan, USA., 268 pp.
- Klein-Lankhorst, R.M., A.Vermunt, R.Weide, T.Liharska, and P.Zabel. 1991. Isolation of molecular markers for tomato (*L. esculentum*) using random amplified polymorphic DNA (RAPD). *Theo. Appl. Genet.* 83: 108-114.
- Lillesand, T.M., and R.W. Kiefer. 1994a. Image Classification: Digital Image Processing, Remote Sensing and Image Interpretation. Third Edition John Wiley & Sons, Inc. USA, 585-607 pp.
- Lillesand, T.M., and R.W. Kiefer. 1994b. Classification Accuracy Assessment: Digital Image Processing. Remote Sensing and Image Interpretation; Third Edition John Wiley & Sons, Inc. USA. 611-618pp.
- Mongelard, J.C., and L. Mimura. 1971. Growth studies on the sugarcane plant. I. Effect of temperature. *Crop Sci*. 11: 795-800.
- Monteith, J.L. 1994. Remote Sensing in Agriculture: Progress and Prospects. International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru P.O. , Andhra Pradesh 502324 , India , Conference paper No. 1485 ICRISAT. 397-402pp.
- Nelder, J.R. 1962. New kind of systematic design for spacing experiment. *Biometric*. 18:283-307.
- Nelson. Ted., 1965. A File Structure for the Complex, The Changing and The Indeterminate, ACM 20th National Conference, 1965.
- Nix, H. 1984. Minimum data sets for agrotechnology transfer. *In ICRISAT Proc. of the Inter. Sym. on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer*, 21-26 March, 1983. India.
- O'Toole, J.C., and C.O. Stackle. 1991. Conceptual and simulation modeling in plant breeding. 205-225 pp. Proceeding of the International Symposium. 26-29 October, 1987 Cordoba, Spain.
- Penning de Vries, F.W.T. 1982. Systems analysis and models of crop growth. *In F.W.T. Penning de Vries, and H.H. van Laar (eds.) Simulation of plant growth and crop production. Simulation monographs*, CABO, Wageningen, p 9-19.

- Penning, de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M.\* Berge and A.Bajena. 1989. Simulation of ecophysiological process of growth in several annual crops. Wageningen 271p.
- Silva, J.A. 1989. Sugarcane. p 201-223. In D.L. Plucknett and H.B. Sprague. Detecting mineral nutrient deficiencies in tropical and temperate crops. Westview tropical agric. series #7. Colo., USA.
- Silva, J.A.G., M.E. Sorells, W.L. Burnquist, and S.D. Tanksley. 1993. RFLP linkage map genome analysis of *Saccharum spontaneum* L. Genome 36: 782-791.
- Skorupska, H.T., R.C. Shoemaker, A. Warner, E.R. Shipe, and W.C. Bridges. 1993. Restriction fragment length polymorphism in soybean germplasm of the Southern USA. Crop Sci. 33:1169-1176.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy, a Basic system of soil classification for Making and Interpreting soil Surveys. USDA Agric. Handbook No. 436. US. Govt. Print. Off., Washington, D.C.
- Tanimoto, T.T.(1969). Floral differentiation in sugarcane and the subsequent rate of development of the differentiated tissues. Agron. J.(60): 275-278.
- Tetio-Kagho, F., and F.P Guarduer. 1988. Response of maize to plant density. I. Canopy development, light relationship, and vegetative growth. Agron. J. 80:930-935.
- Tollenaar, M., T.B. Daynard, and R.B. Hunner. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in Maize. Crop Sci. 19: 363-366.
- Trimble Navigation, 1992. General Reference, GPS Pathfinder System Trimble Navigation, Ltd. 585 North Mary Ave. P.O.Box 3642 Sunnyvale, CA, 94088 - 3642 USA
- Tsuji, G.Y., S. Balas and G. Uehara. (Eds.) 1994. DSSAT 3.0 user's manual. University of Hawaii, Manoa, Honolulu, HI 96848, USA.
- Vanderlip, R.L. and H.F. Reeves. 1992. Growth Stage of Sorghum (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench.). Agron.J. 64: 13-16.
- Vaughan, T. 1994. Multimedia: Make it Work (2nd. Ed.). Osborne McGraw-Hill. 560 p.
- Wahua, T.A.T., and D.A. Miller. 1978. Relative yield totals and yield component of intercropped sorghum and soybeans. Agron. J. 70:287-291.
- Warrington, I.J, and E.T. Kanemasu. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod II. Leaf-initiation and leaf appearance rates. Agron. J. 75:755-761.
- Wilcox, J.R. 1974. Response of three soybean strains to equidistant spacing. Agron J. 66:409-412.
- William Horwitz. 1965. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 10th Edition Association of official Agricultural chemists Publishing.
- Williams, J.G.K., A.R. Kubelic, K.J. Livak, J.A. Rafalski, and S.V. Tingey. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetics markers. Nucleic Acids Research 18: 6531-6535.
- Witty, J.E., and R.W. Arnold. 1987. Soil Taxonomy: An overview. Outlook on Agriculture. 16:8-13.
- Xingming, F. 1995. Grain yield assessment of quality protein maize in different environments using a modeling approach. M.S. Thesis, Grad. Sch, Chiang Mai Univ., Chiang Mai, Thailand, 144 pp.

## ภาคผนวก 1

---

### สมการที่ใช้ในการคำนวณงานทดลองรูปแบบพัด

(จาก Bleasdale, 1967)

อัตราการพัฒนาของแต่ละจุดในแต่ละแถว

$$(2N - 2)\log\alpha = \log A_N - \log A_1 \text{-----} (1)$$

$$\alpha = \exp\left[\frac{(\log A_N - \log A_1)}{(2N - 2)}\right] \text{-----} (2)$$

มุมระหว่างแถว สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\theta = \frac{T(\alpha - 1)}{\sqrt{\alpha}} \text{-----} (3)$$

ระยะห่างของจุดแรกจากจุดหลัก สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$r_0 = \sqrt{\frac{2A_1}{\theta(\alpha^3 - \alpha)}} \text{-----} (4)$$

ระยะห่างต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$r_{N+1} = \alpha * r_N, \text{-----} (5)$$

ขนาดของแต่ละพื้นที่ต่อต้น สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$A_N = \frac{(r_N)^2 \theta (\alpha^2 - 1)}{2\alpha} \text{-----} (6)$$


---

ตารางภาคผนวกที่ 1 โรคที่เข้าทำลายในระหว่างการเจริญเติบโตต่าง ๆ ของอ้อย

| ระยะการเติบโตของอ้อย | ชื่อโรค                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | อาการโรค                                                                                                                                  |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ระยะเริ่มปลูก        | ใบขาว แล้ดำ ท่อนพันธุ์เน่า<br>กลืนสับประรด ลำต้นเน่าแดง<br>ราน้ำค้าง<br>ใบขาว แล้ดำ พืช ใบลวก                                                                                                                                                                                                                                                                       | ท่อนพันธุ์งอกน้อยหรือไม่งอก<br><br>การไวต่อไม่ดี                                                                                          |
| ระยะต้นอ่อน          | ใบขาว ใบลวก เส้นใบแดง รา<br>น้ำค้าง ใบด่างขีดเหลือง ใบ<br>ขีด ใบด่าง ความผิดปกติ<br>ทางพันธุกรรม                                                                                                                                                                                                                                                                    | ยอดเหี่ยว ใบด่างหรือ ขีดทาง<br>สีขาว                                                                                                      |
|                      | พืช ตอแคะแกรน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ยอดบิดเบี้ยว ใบหนาสั้นจิก<br>ขาดสีเขียวเข้ม                                                                                               |
| ระยะย่างปล้อง        | ใบขาว ใบด่าง ใบด่างขีดเหลือง<br>ใบขีด ใบลวก ใบขีดแดง<br>โคนเน่า ราน้ำค้าง อาการผิดปกติทางพันธุกรรม ขาดธาตุเหล็ก<br>ไฟลวก<br>ราสนิม ใบจุดสีเหลือง ใบจุดสีน้ำตาล ใบจุดวงแหวน ใบจุดแผลใหญ่ ใบจุดรูปตา ใบจุดแผลซ้อน ใบจุดดำ ใบจุดม่วง<br>ยอดบิด พืช<br>ใบลวก ยอดเน่า เหี่ยวเน่า น้ำขัง แล้งจัด<br>ใบขาว แล้ดำ ใบลวก อ้อยตอแคะแกรน โคนเน่า ราน้ำค้าง ใบด่างขีดเหลือง พืช | ใบด่าง หรือ มีขีดเป็นทาง<br><br>เนื้อใบตาย<br>ใบจุด<br><br>รูปร่างใบสั้นปิด จี๊ขาด<br>ใบแห้งตาย<br><br>การเจริญต่ำมาก หรือตายหรือลำผอมยาว |
| ระยะเติบโตเต็มที่    | ใบขาว ใบลวก ใบจุดรูปตา ใบจุด-เหลือง<br>ใบลวก ใบขาว แล้ดำ<br>กลืนสับประรด ลำต้นเน่าแดง ลำต้นแห้ง เหี่ยวเน่า<br>ใบขาว แล้ดำ ตอแคะแกรน พืช ราน้ำค้าง                                                                                                                                                                                                                   | ใบแห้งตายก่อนแก่<br><br>ต้นอ่อนงอกจากตาข้าง<br>ลำต้นถูกทำลายหรือตาย<br><br>กอสูงไม่สม่ำเสมอ                                               |

(ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2528)

## ภาคผนวก 2

---

### การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

#### สารที่ใช้เตรียม PDA

มันฝรั่ง 200 กรัม, น้ำตาล dextrose 20 กรัม, และ ไข่ 17 กรัม

#### วิธีทำ PDA

ปอกเปลือกมันฝรั่งแล้วนำไปล้าง สับให้ละเอียดแล้วนำไปต้มให้สุก โดยใส่น้ำกลั่นลงไป 400 มิลลิลิตร เมื่อมันฝรั่งสุกแล้วกรองเอาแต่น้ำ นำน้ำต้มมันฝรั่งที่ได้ผสมกับน้ำตาล dextrose บน hot plate ให้ น้ำตาลละลาย นำไข่ใส่ในบีเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน แล้วนำไปต้มที่หม้ออบความดัน (autoclave) ใช้ความดันต่ำ และต้มนาน 10 นาที นำน้ำอุ่นที่ได้มาผสมกับน้ำต้มมันฝรั่ง แล้วเติมน้ำให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร เทลง flask ขนาด 250 มิลลิลิตร flask ละ 200 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อในหม้ออบความดัน ประมาณ 15-20 นาที แล้วนำมาเทใน plate เพื่อที่จะใช้ต่อไป

#### สารที่ใช้เตรียม 523

Sucrose 10 gm/lit, Casein enzymatic hydrolyzate 8 gm/lit, Yeast Extract 4 gm/lit,  $K_2HPO_4$  (anhydrous) 2 gm/lit,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0.3 gm/lit, Agar 15 gm/lit

#### วิธีทำ 523

ชั่งสารตามรายการ แล้วนำมาผสมกันในบีเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำ 400 มิลลิลิตร นำไปต้มบน hot plate นำไข่ในบีเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน นำไปต้มที่หม้ออบความดัน (autoclave) ใช้ความดันต่ำ ต้มนาน 10 นาที นำน้ำอุ่นที่ได้มาผสมกับสารละลาย เสร็จแล้วเทลง flask ขนาด 250 มิลลิลิตร flask ละ 200 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อในหม้ออบความดัน หลังจากนั้นสามารถนำไปเลี้ยงเชื้อได้

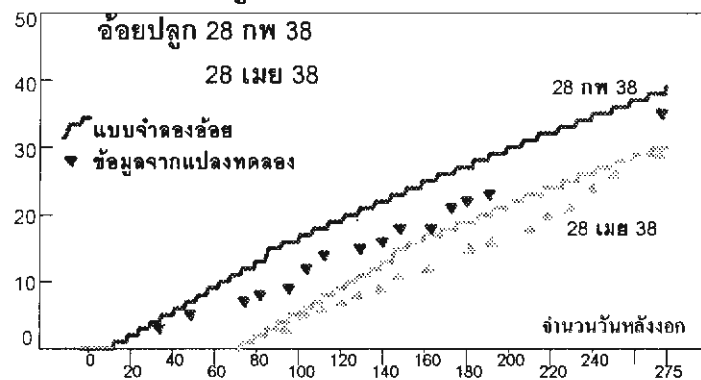
---

### ภาคผนวก 3: เปรียบเทียบการคาดการณ์การปรากฏของใบอ้อย

รูปภาคผนวก 3.1 การปรากฏของใบอ้อยบนลำหลักระหว่างแบบจำลองอ้อย และข้อมูลในสนาม

#### 1. วันปลูกที่ ม. เชียงใหม่ พัฒนาการอ้อยปลูก

จำนวนใบบนลำหลัก อู่ทอง 2

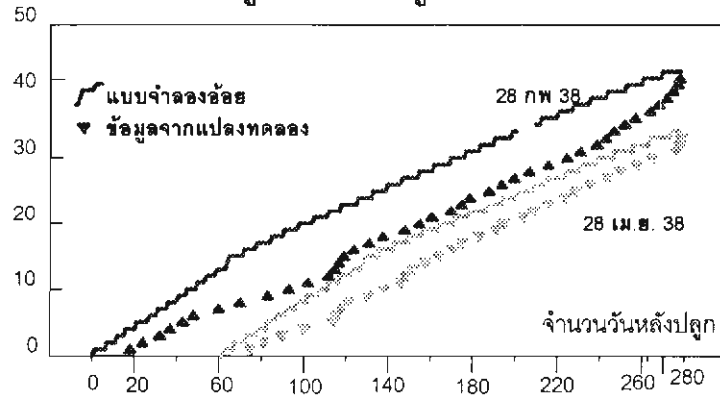


Multiple C. Leaping Center, Chiang Mai Univ., Thailand

รูปภาคผนวก 3.2 การปรากฏของใบอ้อยบนลำหลักระหว่างแบบจำลองอ้อย และข้อมูลในสนาม

#### 1. วันปลูกที่ ม. ขอนแก่น

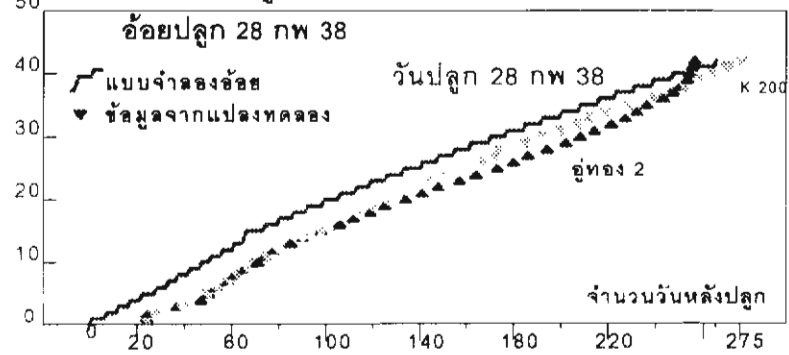
จำนวนใบบนลำหลัก อู่ทอง 2 อ้อยปลูก 28 กพ 38 & 28 เมย 38



รูปภาคผนวก 3.3 การปรากฏของใบอ้อยบนลำหลักระหว่างแบบจำลองอ้อย และข้อมูลในสนาม

### 1. วันปลูกที่ ศว.ร. สุพรรณบุรี

จำนวนใบบนลำหลัก อู่ทอง 2 และ K84-200



แนวคิดและ

ระบบฐาน

## ภาคผนวก 4: Julian date (DAY OF YEAR)

|           |    | *STANDARD YEARS |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|----|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           |    | MONTH           | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC |
| หลักการ   | 1  | 1               | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |     |
|           | 2  | 1               | 32  | 60  | 91  | 121 | 152 | 182 | 213 | 244 | 274 | 305 | 335 | 365 |
|           | 3  | 2               | 33  | 61  | 92  | 122 | 153 | 183 | 214 | 245 | 275 | 306 | 336 | 366 |
| สหสื่อสาร | 4  | 3               | 34  | 62  | 93  | 123 | 154 | 184 | 215 | 246 | 276 | 307 | 337 | 367 |
|           | 5  | 4               | 35  | 63  | 94  | 124 | 155 | 185 | 216 | 247 | 277 | 308 | 338 | 368 |
|           | 6  | 5               | 36  | 64  | 95  | 125 | 156 | 186 | 217 | 248 | 278 | 309 | 339 | 369 |
| โครงสร้าง | 7  | 6               | 37  | 65  | 96  | 126 | 157 | 187 | 218 | 249 | 279 | 310 | 340 | 370 |
|           | 8  | 7               | 38  | 66  | 97  | 127 | 158 | 188 | 219 | 250 | 280 | 311 | 341 | 371 |
|           | 9  | 8               | 39  | 67  | 98  | 128 | 159 | 189 | 220 | 251 | 281 | 312 | 342 | 372 |
|           | 10 | 9               | 40  | 68  | 99  | 129 | 160 | 190 | 221 | 252 | 282 | 313 | 343 | 373 |
|           | 11 | 10              | 41  | 69  | 100 | 130 | 161 | 191 | 222 | 253 | 283 | 314 | 344 | 374 |
|           | 12 | 11              | 42  | 70  | 101 | 131 | 162 | 192 | 223 | 254 | 284 | 315 | 345 | 375 |
|           | 13 | 12              | 43  | 71  | 102 | 132 | 163 | 193 | 224 | 255 | 285 | 316 | 346 | 376 |
|           | 14 | 13              | 44  | 72  | 103 | 133 | 164 | 194 | 225 | 256 | 286 | 317 | 347 | 377 |
|           | 15 | 14              | 45  | 73  | 104 | 134 | 165 | 195 | 226 | 257 | 287 | 318 | 348 | 378 |
| เอกสาร    | 16 | 15              | 46  | 74  | 105 | 135 | 166 | 196 | 227 | 258 | 288 | 319 | 349 | 379 |
|           | 17 | 16              | 47  | 75  | 106 | 136 | 167 | 197 | 228 | 259 | 289 | 320 | 350 | 380 |
|           | 18 | 17              | 48  | 76  | 107 | 137 | 168 | 198 | 229 | 260 | 290 | 321 | 351 | 381 |
| ภาคผนวก   | 19 | 18              | 49  | 77  | 108 | 138 | 169 | 199 | 230 | 261 | 291 | 322 | 352 | 382 |
|           | 20 | 19              | 50  | 78  | 109 | 139 | 170 | 200 | 231 | 262 | 292 | 323 | 353 | 383 |
|           | 21 | 20              | 51  | 79  | 110 | 140 | 171 | 201 | 232 | 263 | 293 | 324 | 354 | 384 |
|           | 22 | 21              | 52  | 80  | 111 | 141 | 172 | 202 | 233 | 264 | 294 | 325 | 355 | 385 |
|           | 23 | 22              | 53  | 81  | 112 | 142 | 173 | 203 | 234 | 265 | 295 | 326 | 356 | 386 |
|           | 24 | 23              | 54  | 82  | 113 | 143 | 174 | 204 | 235 | 266 | 296 | 327 | 357 | 387 |
|           | 25 | 24              | 55  | 83  | 114 | 144 | 175 | 205 | 236 | 267 | 297 | 328 | 358 | 388 |
|           | 26 | 25              | 56  | 84  | 115 | 145 | 176 | 206 | 237 | 268 | 298 | 329 | 359 | 389 |
|           | 27 | 26              | 57  | 85  | 116 | 146 | 177 | 207 | 238 | 269 | 299 | 330 | 360 | 390 |
|           | 28 | 27              | 58  | 86  | 117 | 147 | 178 | 208 | 239 | 270 | 300 | 331 | 361 | 391 |
|           | 29 | 28              | 59  | 87  | 118 | 148 | 179 | 209 | 240 | 271 | 301 | 332 | 362 | 392 |
|           | 30 | 29              | 88  | 119 | 149 | 180 | 210 | 241 | 272 | 302 | 333 | 363 | 393 | 393 |
|           | 31 | 30              | 89  | 120 | 150 | 181 | 211 | 242 | 273 | 303 | 334 | 364 | 394 | 394 |
|           |    | 31              | 90  |     |     | 151 |     | 182 | 212 | 243 |     | 335 | 365 | 395 |
|           |    |                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

|    |    | *LEAP YEARS |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|    |    | MONTH       | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC |
| 1  | 1  | 1           | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |     |
|    | 2  | 1           | 32  | 61  | 92  | 122 | 153 | 183 | 214 | 245 | 275 | 306 | 336 | 366 |
|    | 3  | 2           | 33  | 62  | 93  | 123 | 154 | 184 | 215 | 246 | 276 | 307 | 337 | 367 |
| 4  | 3  | 3           | 34  | 63  | 94  | 124 | 155 | 185 | 216 | 247 | 277 | 308 | 338 | 368 |
|    | 4  | 4           | 35  | 64  | 95  | 125 | 156 | 186 | 217 | 248 | 278 | 309 | 339 | 369 |
|    | 5  | 5           | 36  | 65  | 96  | 126 | 157 | 187 | 218 | 249 | 279 | 310 | 340 | 370 |
| 6  | 6  | 6           | 37  | 66  | 97  | 127 | 158 | 188 | 219 | 250 | 280 | 311 | 341 | 371 |
|    | 7  | 7           | 38  | 67  | 98  | 128 | 159 | 189 | 220 | 251 | 281 | 312 | 342 | 372 |
|    | 8  | 8           | 39  | 68  | 99  | 129 | 160 | 190 | 221 | 252 | 282 | 313 | 343 | 373 |
| 10 | 9  | 9           | 40  | 69  | 100 | 130 | 161 | 191 | 222 | 253 | 283 | 314 | 344 | 374 |
|    | 10 | 10          | 41  | 70  | 101 | 131 | 162 | 192 | 223 | 254 | 284 | 315 | 345 | 375 |
|    | 11 | 11          | 42  | 71  | 102 | 132 | 163 | 193 | 224 | 255 | 285 | 316 | 346 | 376 |
| 12 | 12 | 43          | 72  | 103 | 133 | 164 | 194 | 225 | 256 | 286 | 317 | 347 | 377 | 377 |
|    | 13 | 13          | 44  | 73  | 104 | 134 | 165 | 195 | 226 | 257 | 287 | 318 | 348 | 378 |
|    | 14 | 14          | 45  | 74  | 105 | 135 | 166 | 196 | 227 | 258 | 288 | 319 | 349 | 379 |
| 15 | 15 | 15          | 46  | 75  | 106 | 136 | 167 | 197 | 228 | 259 | 289 | 320 | 350 | 380 |
|    | 16 | 16          | 47  | 76  | 107 | 137 | 168 | 198 | 229 | 260 | 290 | 321 | 351 | 381 |
|    | 17 | 17          | 48  | 77  | 108 | 138 | 169 | 199 | 230 | 261 | 291 | 322 | 352 | 382 |
| 18 | 18 | 18          | 49  | 78  | 109 | 139 | 170 | 200 | 231 | 262 | 292 | 323 | 353 | 383 |
|    | 19 | 19          | 50  | 79  | 110 | 140 | 171 | 201 | 232 | 263 | 293 | 324 | 354 | 384 |
|    | 20 | 20          | 51  | 80  | 111 | 141 | 172 | 202 | 233 | 264 | 294 | 325 | 355 | 385 |
| 21 | 21 | 21          | 52  | 81  | 112 | 142 | 173 | 203 | 234 | 265 | 295 | 326 | 356 | 386 |
|    | 22 | 22          | 53  | 82  | 113 | 143 | 174 | 204 | 235 | 266 | 296 | 327 | 357 | 387 |
|    | 23 | 23          | 54  | 83  | 114 | 144 | 175 | 205 | 236 | 267 | 297 | 328 | 358 | 388 |
| 24 | 24 | 24          | 55  | 84  | 115 | 145 | 176 | 206 | 237 | 268 | 298 | 329 | 359 | 389 |
|    | 25 | 25          | 56  | 85  | 116 | 146 | 177 | 207 | 238 | 269 | 299 | 330 | 360 | 390 |
|    | 26 | 26          | 57  | 86  | 117 | 147 | 178 | 208 | 239 | 270 | 300 | 331 | 361 | 391 |
| 27 | 27 | 27          | 58  | 87  | 118 | 148 | 179 | 209 | 240 | 271 | 301 | 332 | 362 | 392 |
|    | 28 | 28          | 59  | 88  | 119 | 149 | 180 | 210 | 241 | 272 | 302 | 333 | 363 | 393 |
|    | 29 | 29          | 60  | 89  | 120 | 150 | 181 | 211 | 242 | 273 | 303 | 334 | 364 | 394 |
| 30 | 30 | 30          | 90  | 121 | 151 | 182 | 212 | 243 | 274 | 304 | 335 | 365 | 395 | 395 |
|    | 31 | 31          | 91  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|    |    |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

## \*LEAP YEARS

|           |    | MONTH | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC |
|-----------|----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| หลักการ   | 1  | 1     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|           | 2  | 2     | 32  | 61  | 92  | 122 | 153 | 183 | 214 | 245 | 275 | 306 | 336 | 366 |
|           | 3  | 3     | 33  | 62  | 93  | 123 | 154 | 184 | 215 | 246 | 276 | 307 | 337 | 367 |
| สหสื่อสาร | 4  | 4     | 34  | 63  | 94  | 124 | 155 | 185 | 216 | 247 | 277 | 308 | 338 | 368 |
|           | 5  | 5     | 35  | 64  | 95  | 125 | 156 | 186 | 217 | 248 | 278 | 309 | 339 | 369 |
|           | 6  | 6     | 36  | 65  | 96  | 126 | 157 | 187 | 218 | 249 | 279 | 310 | 340 | 370 |
| โครงสร้าง | 7  | 7     | 37  | 66  | 97  | 127 | 158 | 188 | 219 | 250 | 280 | 311 | 341 | 371 |
|           | 8  | 8     | 38  | 67  | 98  | 128 | 159 | 189 | 220 | 251 | 281 | 312 | 342 | 372 |
|           | 9  | 9     | 39  | 68  | 99  | 129 | 160 | 190 | 221 | 252 | 282 | 313 | 343 | 373 |
| เอกสาร    | 10 | 10    | 40  | 69  | 100 | 130 | 161 | 191 | 222 | 253 | 283 | 314 | 344 | 374 |
|           | 11 | 11    | 41  | 70  | 101 | 131 | 162 | 192 | 223 | 254 | 284 | 315 | 345 | 375 |
|           | 12 | 12    | 42  | 71  | 102 | 132 | 163 | 193 | 224 | 255 | 285 | 316 | 346 | 376 |
| ภาคผนวก   | 13 | 13    | 43  | 72  | 103 | 133 | 164 | 194 | 225 | 256 | 286 | 317 | 347 | 377 |
|           | 14 | 14    | 44  | 73  | 104 | 134 | 165 | 195 | 226 | 257 | 287 | 318 | 348 | 378 |
|           | 15 | 15    | 45  | 74  | 105 | 135 | 166 | 196 | 227 | 258 | 288 | 319 | 349 | 379 |
| เอกสาร    | 16 | 16    | 46  | 75  | 106 | 136 | 167 | 197 | 228 | 259 | 289 | 320 | 350 | 380 |
|           | 17 | 17    | 47  | 76  | 107 | 137 | 168 | 198 | 229 | 260 | 290 | 321 | 351 | 381 |
|           | 18 | 18    | 48  | 77  | 108 | 138 | 169 | 199 | 230 | 261 | 291 | 322 | 352 | 382 |
| ภาคผนวก   | 19 | 19    | 49  | 78  | 109 | 139 | 170 | 200 | 231 | 262 | 292 | 323 | 353 | 383 |
|           | 20 | 20    | 50  | 79  | 110 | 140 | 171 | 201 | 232 | 263 | 293 | 324 | 354 | 384 |
|           | 21 | 21    | 51  | 80  | 111 | 141 | 172 | 202 | 233 | 264 | 294 | 325 | 355 | 385 |
| เอกสาร    | 22 | 22    | 52  | 81  | 112 | 142 | 173 | 203 | 234 | 265 | 295 | 326 | 356 | 386 |
|           | 23 | 23    | 53  | 82  | 113 | 143 | 174 | 204 | 235 | 266 | 296 | 327 | 357 | 387 |
|           | 24 | 24    | 54  | 83  | 114 | 144 | 175 | 205 | 236 | 267 | 297 | 328 | 358 | 388 |
| ภาคผนวก   | 25 | 25    | 55  | 84  | 115 | 145 | 176 | 206 | 237 | 268 | 298 | 329 | 359 | 389 |
|           | 26 | 26    | 56  | 85  | 116 | 146 | 177 | 207 | 238 | 269 | 299 | 330 | 360 | 390 |
|           | 27 | 27    | 57  | 86  | 117 | 147 | 178 | 208 | 239 | 270 | 300 | 331 | 361 | 391 |
| เอกสาร    | 28 | 28    | 58  | 87  | 118 | 148 | 179 | 209 | 240 | 271 | 301 | 332 | 362 | 392 |
|           | 29 | 29    | 59  | 88  | 119 | 149 | 180 | 210 | 241 | 272 | 302 | 333 | 363 | 393 |
|           | 30 | 30    | 60  | 89  | 120 | 150 | 181 | 211 | 242 | 273 | 303 | 334 | 364 | 394 |
| ภาคผนวก   | 31 | 31    | 90  | 121 | 151 | 182 | 212 | 243 | 274 | 304 | 335 | 365 | 395 | 395 |
|           |    |       | 91  | 122 | 152 | 183 | 213 | 244 | 275 | 305 | 336 | 366 | 396 | 396 |
|           |    |       | 92  | 123 | 153 | 184 | 214 | 245 | 276 | 306 | 337 | 367 | 397 | 397 |