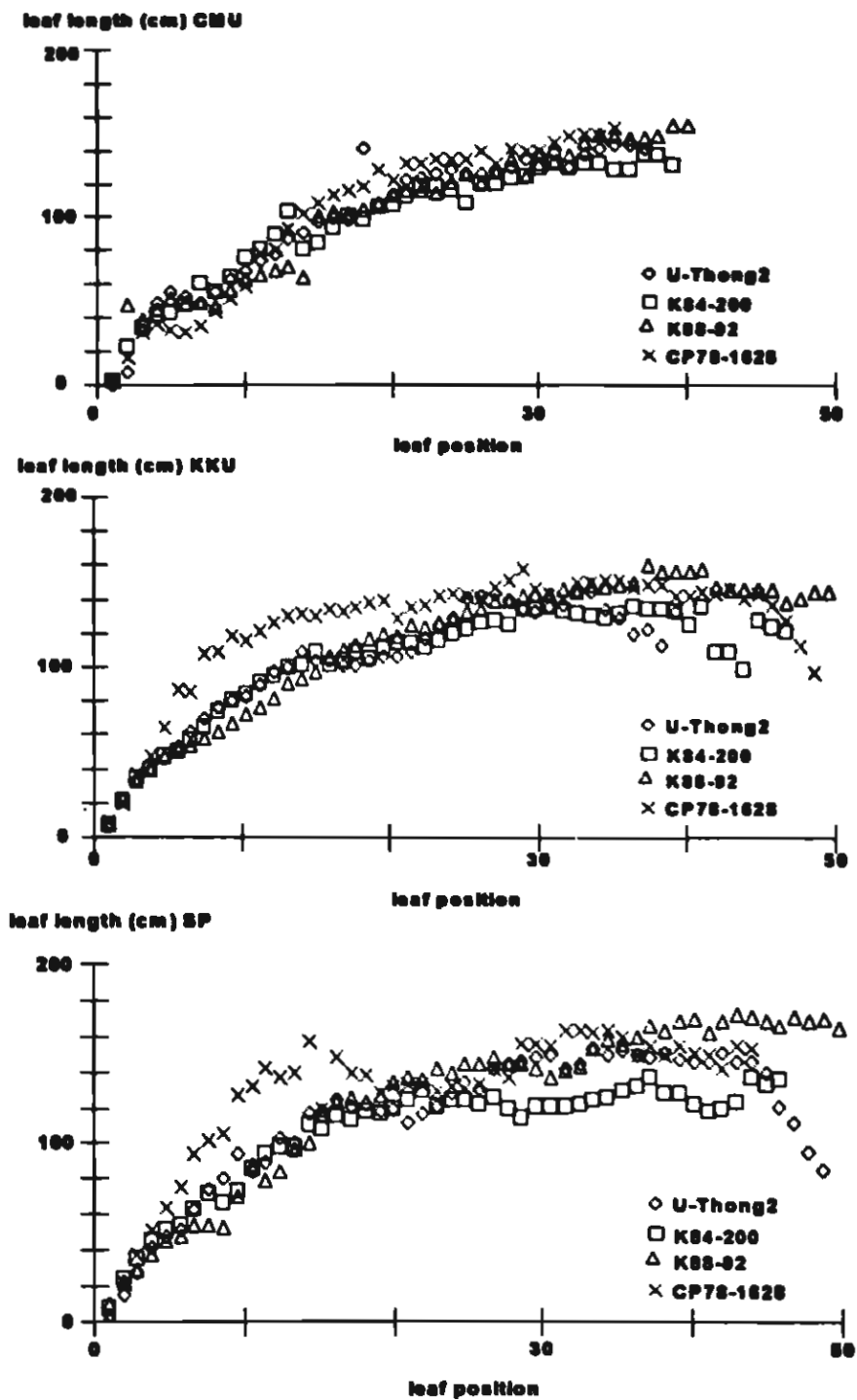


ความยาวเฉลี่ยของใบที่ 30 เรียงตามลำดับได้ดังนี้ พันธุ์ CP 78-1628, U-Thong 2, K 88-92, K 84-200 มีความยาวใบเฉลี่ยเป็น 148.7; 140.5; 138.5; และ 123.2 ซม. ตามลำดับ (ตารางที่ 64)

รูปที่ 15: ความยาวของใบ (leaf width) เป็นเส้นโค้งของอ้อยสี่พันธุ์จากสามสถานี



ตารางที่ 64: ความยาวของใบอ้อยสี่พันธุ์เมื่อมีพัฒนาการถึงใบที่ 30 แผ่ขยายเต็มที่

สถานที่ทดลอง	ความยาวใบที่ 30 (เซ็นติเมตร)			
	U-Thong 2	K 84-200	K 88-92	CP 78-1628
CMU	136.9	129.4	131.5	139.4
KUW	139.1	125.3	139.4	151.2
SP	146.6	116.9	144.7	156.6
Mean	140.6b	123.2d	138.6c	148.7a

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบกับพื้นที่ใบอ้อย

พื้นที่ใบอ้อยเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีพัฒนาการเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มของพื้นที่ใบมีมากหลังจากระยะที่อ้อยมีใบที่ 3 (รูปที่ 16) เช่นเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของความกว้าง และความยาวของใบ พื้นที่ใบอ้อยทุกพันธุ์มีขนาดสูงสุดเมื่ออ้อยมีพัฒนาการถึงระยะใบที่ 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	469.7	382.76
KUW	644.4	694.3	632.9	694.3
SP	911.9	609	612.9	640.9
Mean	744.0a	696.9b	601.6c	506.7c

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

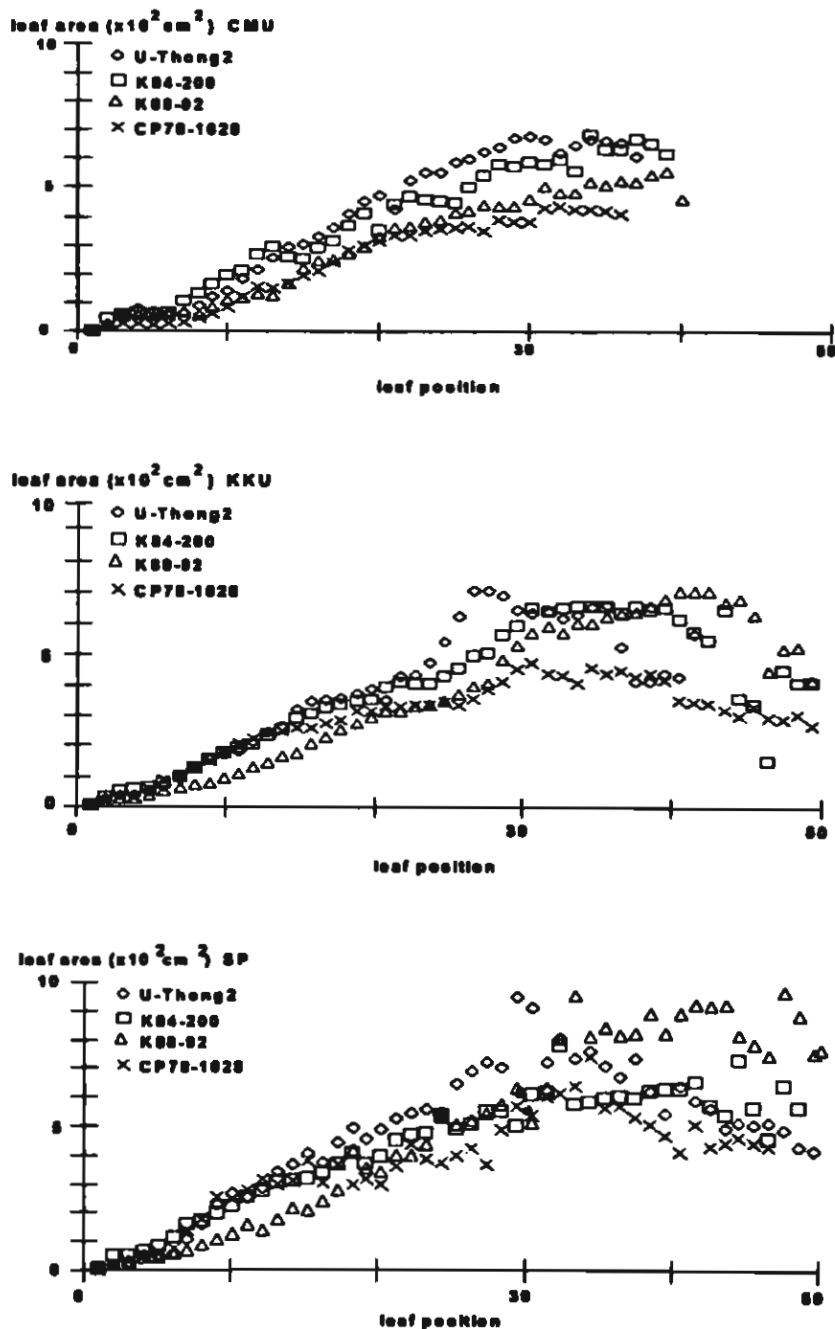
ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสะสมกับพัฒนาการของใบ

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

การปรากฏของใบของอ้อยค่อนข้างช้าในช่วงใบที่ 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



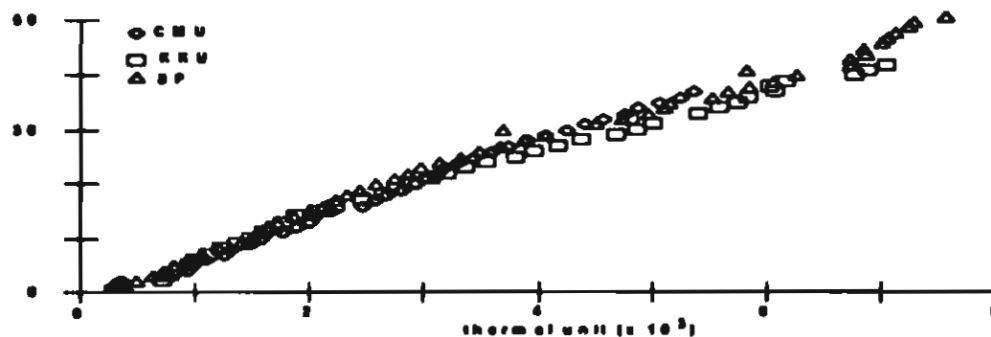
แผ่ขยายเต็มที่ (เฉลี่ย 90 วันหลังปลูก) จุดดังกล่าวนี้เรียกว่า turning point ซึ่งตรงกับระยะที่อ้อยมีใบเฉลี่ย 13-15 ใบ

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

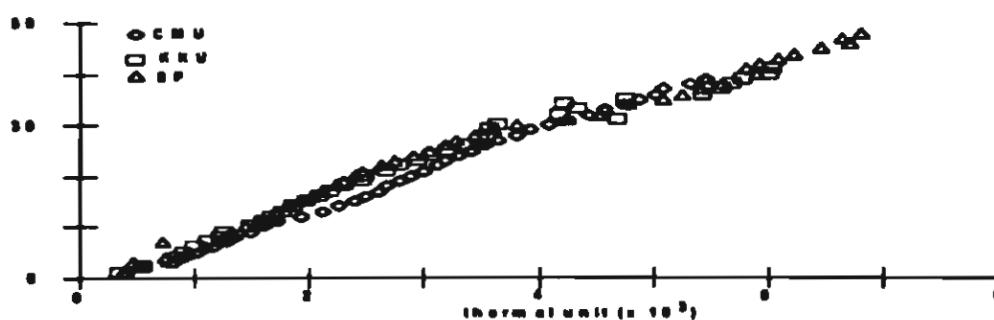
รูปที่ 17

ใบ (leaf interval) เป็นจุดหมุมพิชของข้อยสี่พันธุ์จากสามสถานี

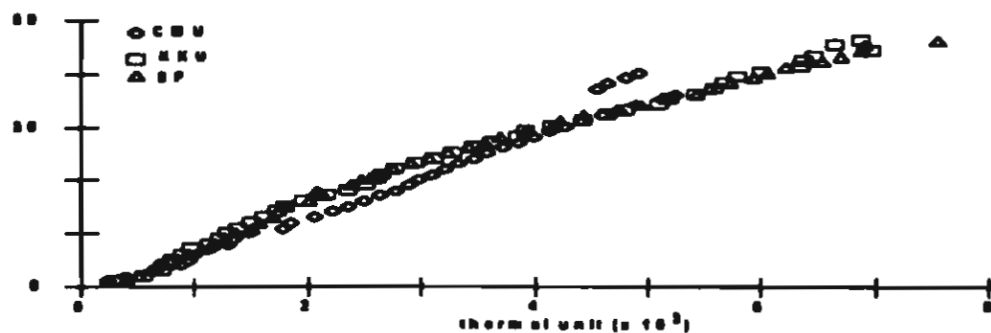
leaf numbers M-Thung 2



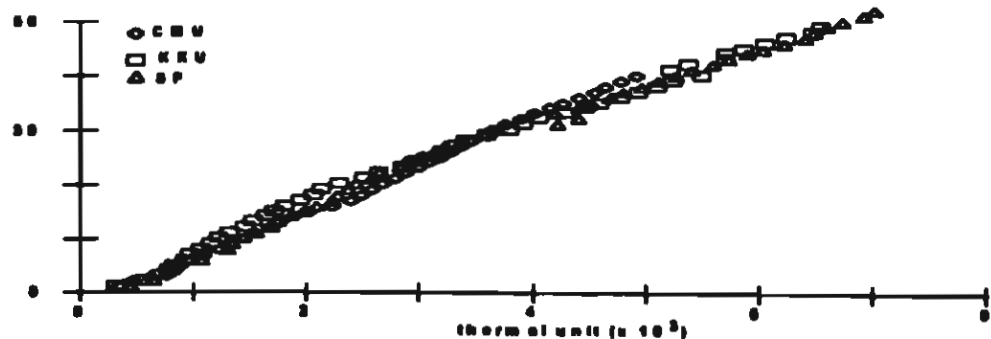
leaf numbers K 84-200



leaf numbers CP 78-1028



leaf number K 88-02



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	1851.0	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	93.5c	100.0a

ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบกับจำนวนหน่อของอ้อย

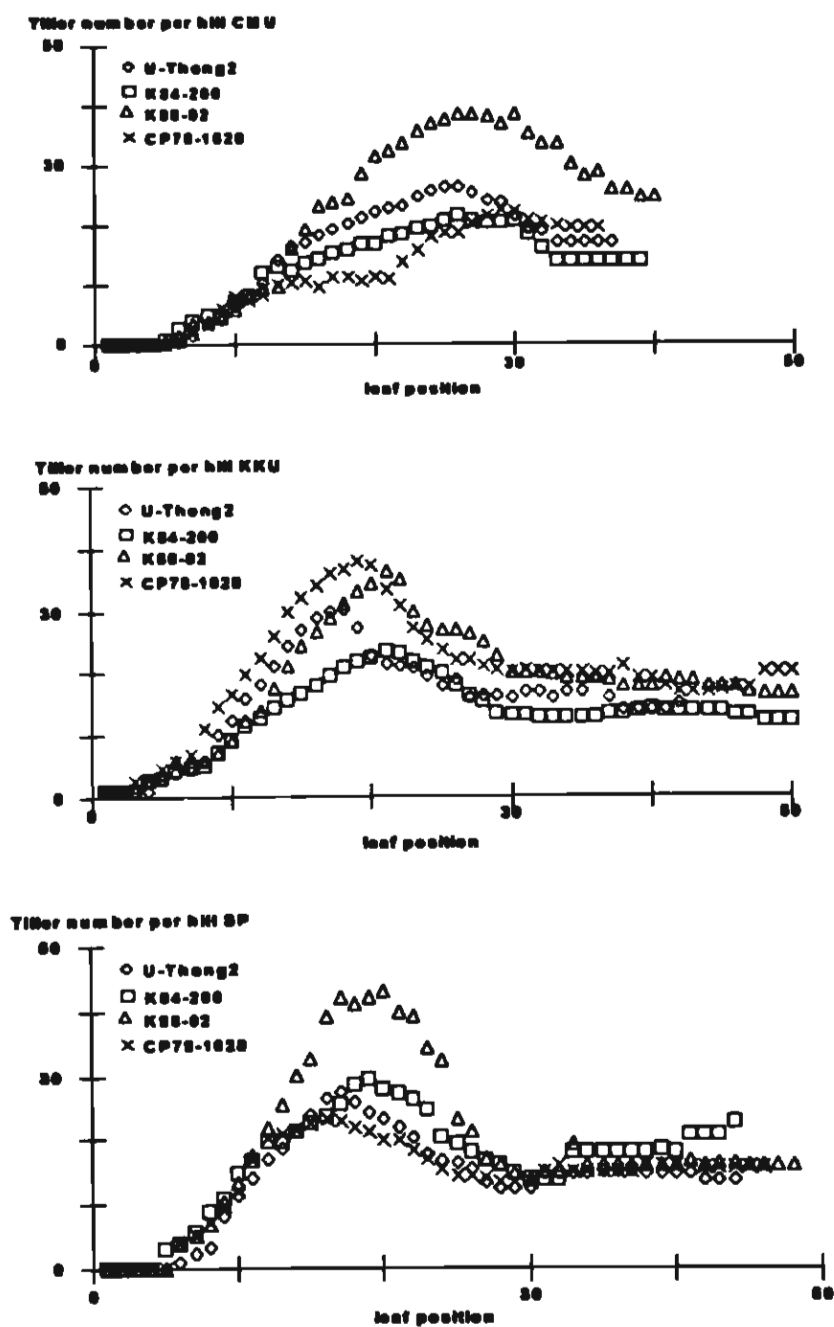
อ้อยทุกพันธุ์เริ่มมีการแตกหน่อเมื่อมีพัฒนาการทางใบบนลำหลักได้ 4-5 ใบ จุดที่อ้อยมีจำนวนหน่อสูงสุดแตกต่างกันระหว่างสถานี พบว่าจำนวนหน่อสูงสุดที่สถานีสุพรรณบุรี ม.ขอนแก่น และ ม.เชียงใหม่ เมื่ออ้อยมีพัฒนาการทางใบบนลำหลักถึงใบที่ 18, 20 และ 25 ตามลำดับ (รูปที่ 18) หลังจากนั้นอ้อยทุกพันธุ์เข้าสู่ระยะการสลดหน่อทิ้ง 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

การศึกษาพัฒนาของอ้อยปลูกทั้งสามสถานีชี้ให้เห็นว่ามีโอกาสในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์พัฒนาการ (genotype coefficient) ของอ้อยได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาพัฒนาการของอ้อยต่อเพิ่มเติมเพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งอาจมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าสัมประสิทธิ์ของอ้อยปลูก

รูปที่ 18: จำนวนหน่อตอกกอข้าว



ตารางที่ 68: ค่าเฉลี่ยจำนวนลำตอกกอเมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้าวสายพันธุ์ จากสามสถานีทดลอง

สถานีทดลอง	พันธุ์ข้าว			
	U-Thong 2	K84-200	K88-02	CP78-1628
CMU	17.8	14.8	28.8	28.8
KKU	14.8	11.8	18.8	17.8
SP	15.8	18.8	16.8	16.8
Mean	16.3c	20.3a	20.8a	17.8b

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 ศูนย์วิจัยพืชไร่นาสุพรรณบุรี (2537) และได้แบ่งพัฒนาการของอ้อยออกเป็นสี่ระยะด้วยกัน แต่เป็นการแบ่งเพื่อประโยชน์ในการสื่อสารระหว่างกลุ่มนักวิชาการเกษตรและผู้สนใจ ยังไม่มีการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกระบวนการและนำความเข้าใจที่ได้ประกอบการคาดการณ์ระยะพัฒนาการของอ้อยที่มีการปลูกอยู่ในประเทศไทย

เหตุผลหลักของการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกระบวนการพัฒนาการของอ้อย เนื่องจากในทางทฤษฎีนั้น ผลผลิตพืชเป็นผลลัพธ์ของผลคูณของอัตราการเจริญเติบโตและระยะเวลาที่พืชมีโอกาสดูอยู่ในแปลงปลูก (Ritchie and NeSmith, 1991) อัตราการเจริญเติบโตมีหน่วยวัดเป็น กิโลกรัมมวลชีวภาพ ตม.⁻¹ วัน⁻¹ เป็นน้ำหนักที่พืชสามารถสะสมได้ซึ่งเป็นผลต่างที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและใช้บางส่วนในกระบวนการหายใจ ในทางปฏิบัติถ้าทราบพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศเราสามารถคาดการณ์อัตราการเจริญเติบโตของพืชได้ไม่ยุ่งยากนัก ระยะเวลาที่พืชมีโอกาสดูอยู่ในแปลงปลูกมีหน่วยวัดเป็น วัน เมื่อวิเคราะห์หน่วยที่ได้จากอัตราการเจริญเติบโตและระยะเวลาก็ได้หน่วยเป็น กิโลกรัมมวลชีวภาพ ตม.⁻¹ หรือต่อไร่ ดังนั้นการคาดการณ์ระยะเวลาที่พืชมีโอกาสดูอยู่ในแปลงปลูกเป็นเรื่องที่ต้องการการศึกษามากขึ้น เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของสูตรการคาดการณ์ผล-ผลิตพืชส่วนหนึ่งที่หายไปจากสมการข้างต้น ซึ่งระยะเวลาที่พืชมีโอกาสดูอยู่ในแปลงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือ 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 (ศูนย์วิจัยพืชไร่นาสุพรรณบุรี 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. โดยท่อถูกฝังลงดินในแปลงทดลองมีขอบโผล่พ้นผิวดิน 10 ซม. ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 100 กก. ไร่¹ จำนวน 3 ครั้ง คือ ใส่พร้อมปลูก ใส่เมื่ออ้อยอายุได้สองและสามเดือนหลังงอก ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูอ้อยตามความเหมาะสม บันทึกสภาพอากาศเกษตรรายวันโดยเครื่องบันทึกสภาพอากาศเกษตรกึ่งอัตโนมัติของ UNIDATA Starlog system ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลสภาพอากาศเกษตรได้อย่างได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการบันทึกข้อมูลพืชเป็นรายต้นโดยบันทึก วันเพาะ วันงอก และวันย้ายปลูกของอ้อย วันที่แต่ละใบจริงแผ่เต็มที่โดยสังเกตจากการที่สามารถมองเห็น ligule ของใบอ้อยได้อย่างชัดเจน บันทึกความยาว ความกว้าง และพื้นที่ใบของอ้อยเมื่อวันที่ใบนั้น ๆ แผ่เต็มที่ ตั้งแต่ใบแรกจนถึงวันเก็บเกี่ยว และบันทึกจำนวนหน่อของอ้อยแต่ละต้นในวันที่ใบใหม่แผ่เต็มที่ ตั้งแต่ใบแรกจนถึงวันเก็บเกี่ยว

ผลการวิจัย

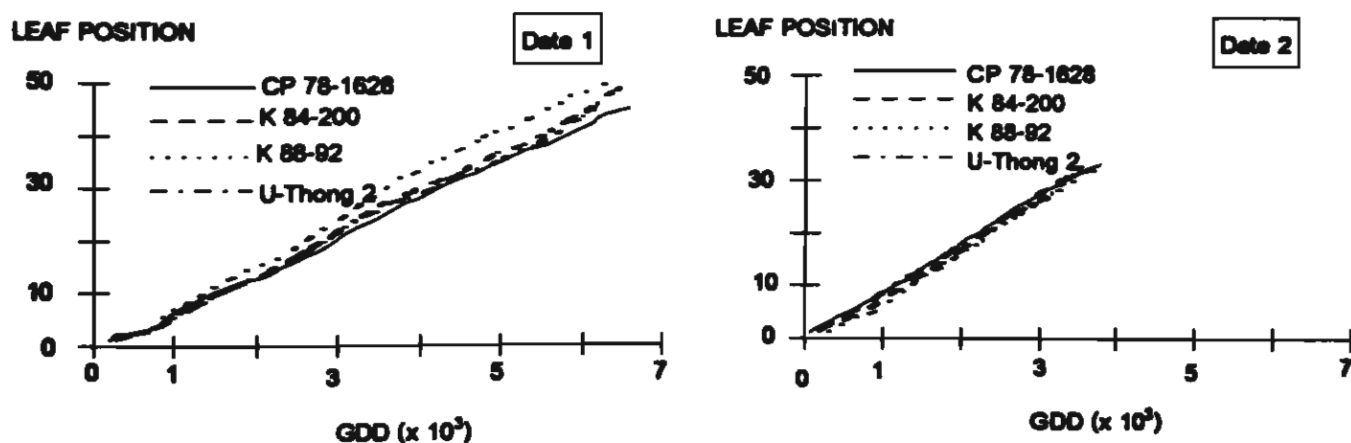
ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบอ้อยและอุณหภูมิสะสม

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 เฉลี่ยจากหั่งสี่พันธุ์การสร้างใบอ้อยหนึ่งใบคิดเป็นอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 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 ในวันปลูกที่สองอ้อยหั่งสี่พันธุ์มีใบรวมทั้งหมด 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 เมื่อพิจารณาการสร้างใบหนึ่งใบของอ้อยหั่งสี่พันธุ์เฉลี่ยทั้งสองวันปลูกคิดเป็นอุณหภูมิสะสม 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 (อรุณชัย จินตะเวช และ ศักดิ์ดา ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา, 2540)

เมื่อเปรียบเทียบพัฒนาการของใบอ้อย หั่งสี่พันธุ์ของสองวันปลูกพบว่าอ้อยหั่งสี่พันธุ์มีพัฒนาการของใบแตกต่างกัน 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 ซึ่งอาจเป็นผลจากมีความแปรปรวนของพันธุ์ในพันธุ์อ้อยทั้งสิ้น และเนื่องมาจากการตอบสนองต่ออุณหภูมิและช่วงแสงที่แตกต่างกันในสองวันวันปลูก 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 ซึ่งเป็นไปตามการจำแนกพันธุ์ของศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี (2539) และพบว่าความกว้างของแต่ละใบในอ้อยพันธุ์หนึ่ง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันในวันปลูกที่หนึ่ง และวันปลูกที่สอง

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

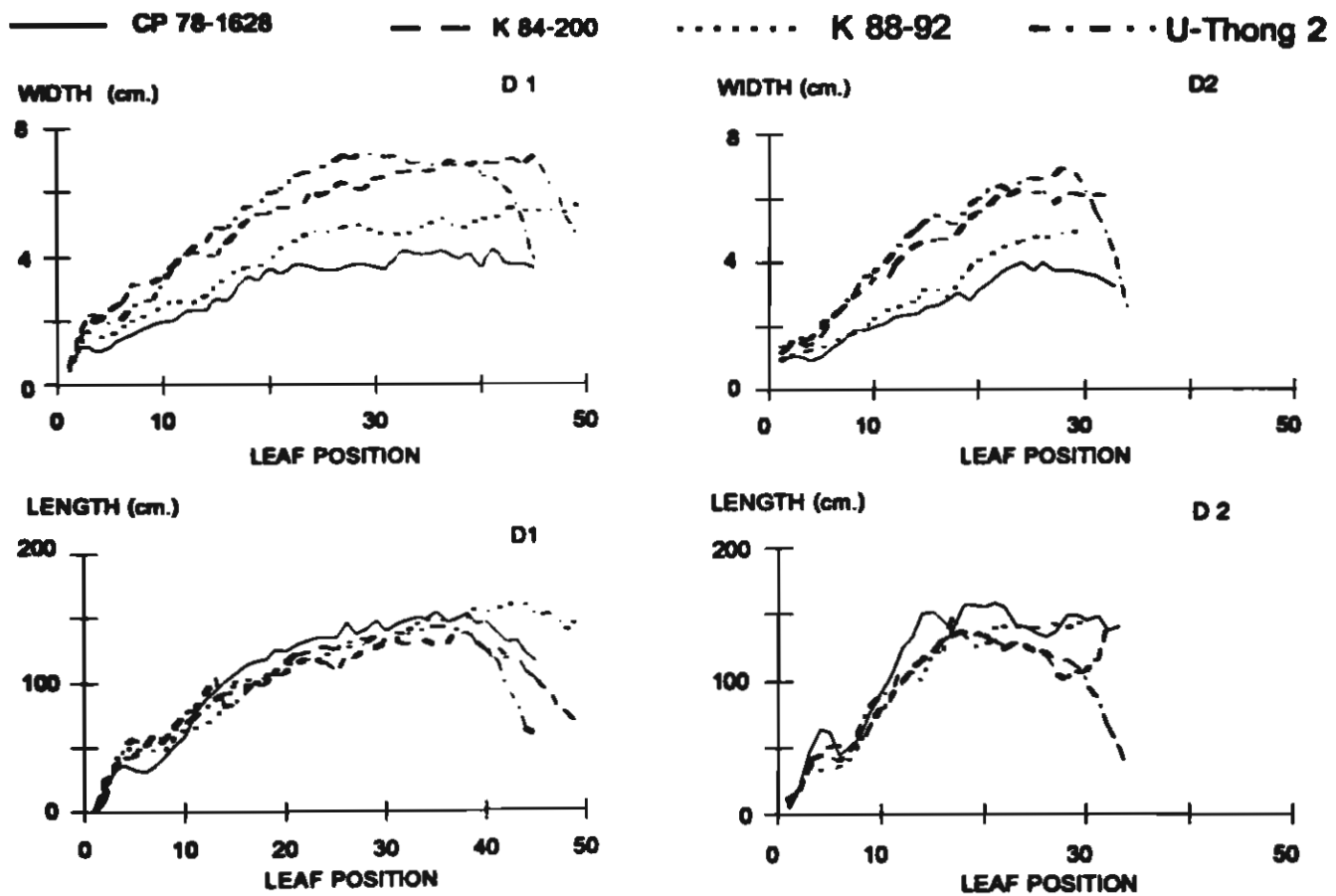
ความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของใบและพื้นที่ใบ

อ้อยทั้งสี่พันธุ์มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเมื่อมีพัฒนาการของใบถึงระยะหนึ่ง จากนั้นพื้นที่ใบจะมีขนาดลดลง เช่นเดียวกันกับความกว้างและความยาวใบในทั้งสองวันปลูก 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 และอ้อยจะมีพื้นที่ลดลงต่ำสุดเมื่อถึงใบธง 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 มหาวิทยาลัย เชียงใหม่

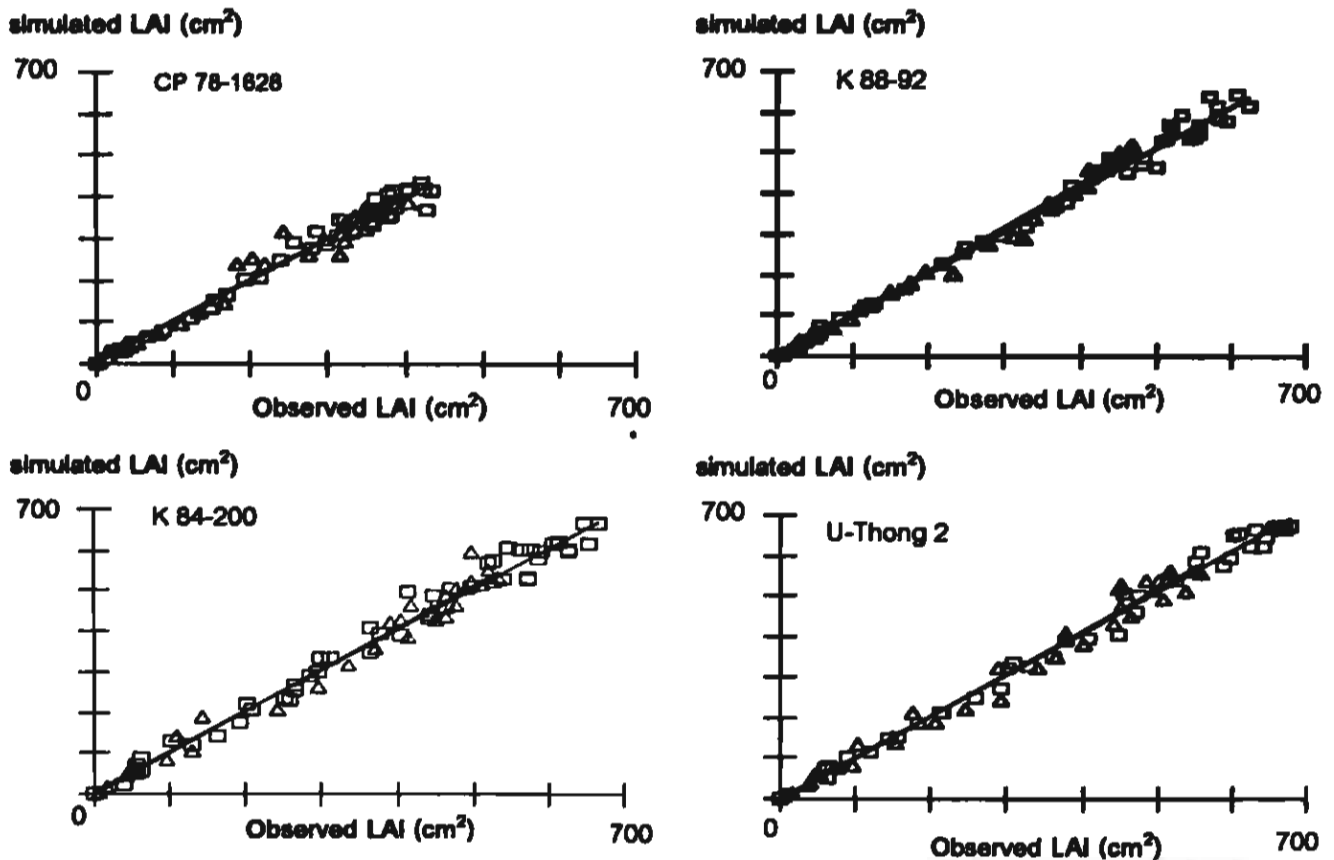


ยาวใบ (calculated LA) (Kemp, 1960) ซึ่งค่า intercept หาได้จากเส้น regression ของพื้นที่ใบที่วัดได้ (observed LA) และ calculated LA ของใบทุกใบตลอดระยะพัฒนาการ และค่า calculated LA หาได้จาก ค่าสัมประสิทธิ์ (K) คูณด้วยผลคูณระหว่างความกว้างและความยาวใบ โดยค่า K ได้จากค่า observed LAหารด้วยผลคูณระหว่างความกว้างและความยาวใบ

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

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

รูปที่ 21: Regression ของอ้อยสี่พันธุ์ในวันปลูกที่หนึ่ง (a) และวันปลูกที่สอง (b)



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

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

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 มีอัตราการแตกหน่อในขณะนี้สูงสุด 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 แต่มีระยะพัฒนาการที่แตกต่างกันเนื่องจากอ้อยแต่ละพันธุ์นั้นมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิและช่วงแสงที่แตกต่างกัน ในวันปลูกที่หนึ่งพันธุ์ที่มีระยะพัฒนาการเร็วที่สุดหรือถึงระยะการสุกแก่เร็ว คือ U-Thong 2 และ K84-200 มีการสร้างช่อดอก (panicle

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

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

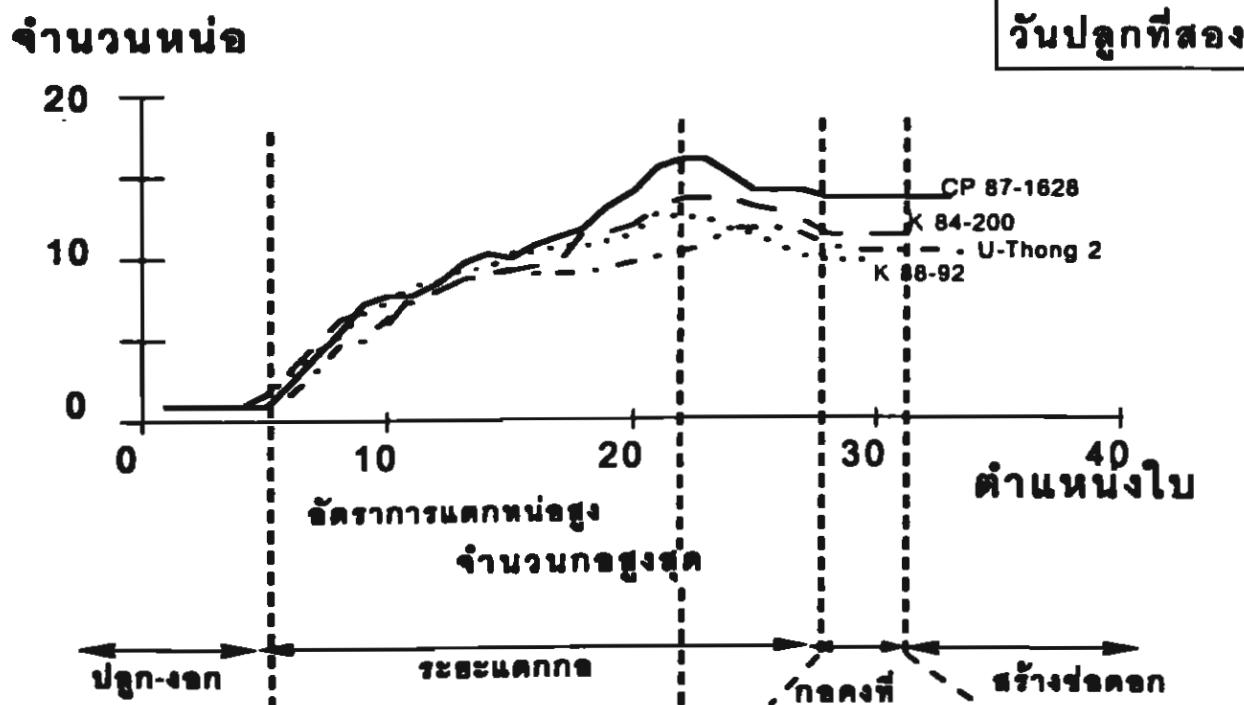
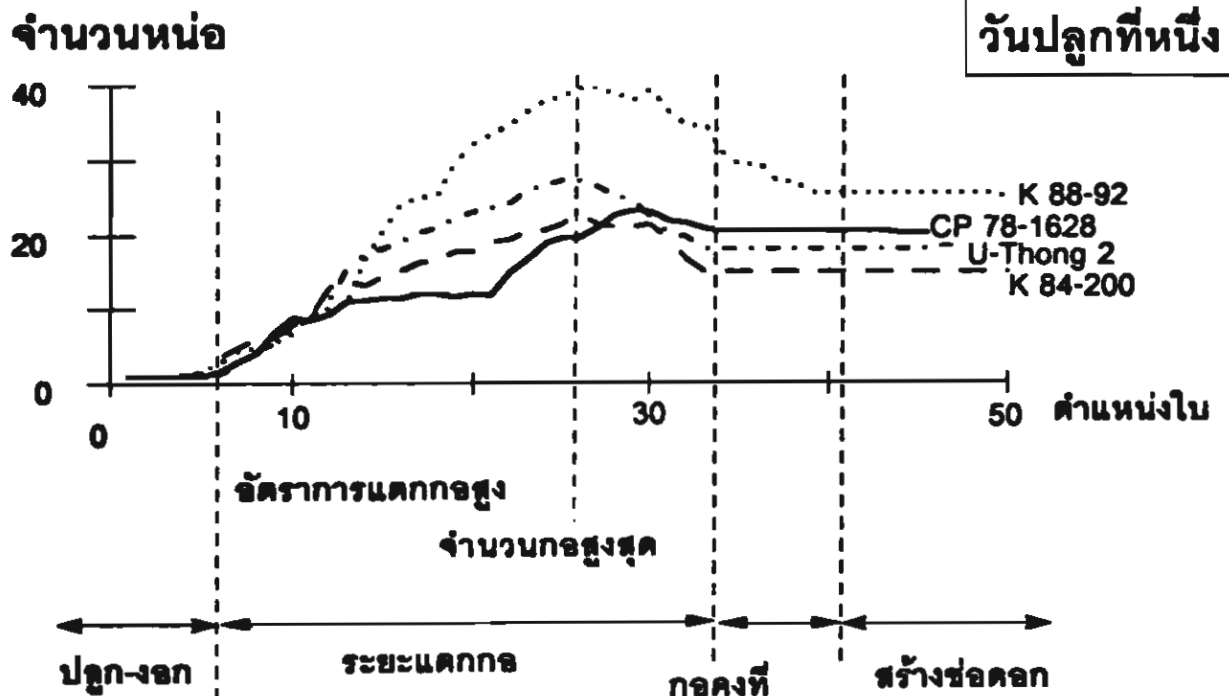
สรุป

อ้อยทั้งสี่พันธุ์มีพัฒนาการทางใบค่อนข้างจะคงที่คิดเป็นอุณหภูมิสะสมเฉลี่ยได้ 126 องศา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่ใช้ในแบบจำลองอ้อย CANEGRO 3.0 และ ThaiCane 1.0 แม้ว่าการศึกษารุ่นนี้จะเป็นการศึกษาในสนามการควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อพัฒนาการของอ้อยกระทำได้ยาก 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) การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศที่มีต่อการยืดของใบแต่ละใบ และการเกิดปล้องของอ้อย รวมทั้งความสัมพันธ์กับการสะสมน้ำหนักรในส่วนต่าง ๆ ของอ้อย และการสะสมน้ำตาล

รูปที่ 22: มังพัฒนาการของอ้อยพัฒนาจากงานทดลองอ้อยสี่พันธุ์ ปุ๋ย ณ แปลงทดลองศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2539



ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ การเจริญเติบโตของอ้อย

การตอบสนองของอ้อยที่มีต่อความหนาแน่น โดยใช้รูปแบบการทดลองแบบพด

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⁻¹ Wahu และ Miller (1978) ใช้หลักการเดียวกันในการศึกษาการตอบสนองของถั่วเหลืองปลูกแซมกับข้าวฟ่างที่ความหนาแน่น 1.38 ถึง 33 ต้น ตม⁻¹ Tetio-Kagho and Garduer (1988) ใช้หลักการนี้ในการศึกษาการตอบสนองของข้าวโพด 3 พันธุ์ที่มีต่อความหนาแน่นตั้งแต่ 0.8 ถึง 15.4 ต้น ตม⁻¹ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการประยุกต์ใช้หลักการและวิธีการนี้เพื่อศึกษาการตอบสนองของอ้อยที่มีต่อความหนาแน่น

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับการเจริญเติบโตของอ้อย และเพื่อหาความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของอ้อยโดยใช้หลักการของการทดลองรูปแบบพัด

อุปกรณ์และวิธีการ

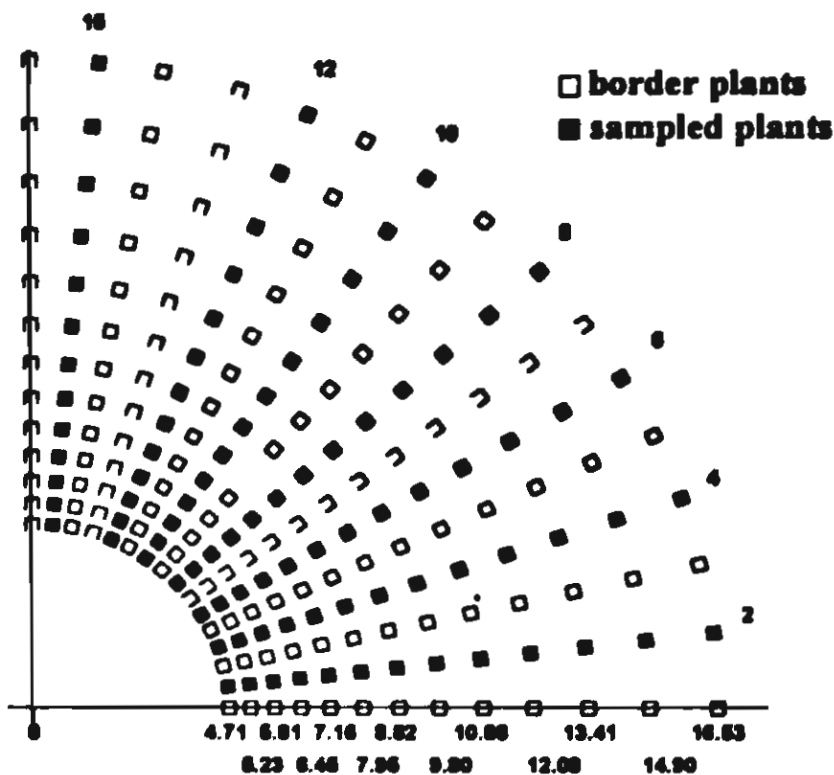
ดำเนินการทดลองที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ที่ละติจูด $18^{\circ} 45'$ ลองจิจูด $98^{\circ} 58'$ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 330 เมตร ดินในพื้นที่แปลงทดลองถูกจัดตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy, 1975) เป็นดินชุดสตึก (Satuk soil series) จัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Typic Paleustults

วางแผนการทดลองแบบ split plot มีสามซ้ำ มีการสุ่มเพื่อป้องกันการลำเอียงใน main plot ซึ่งเป็นอ้อยสองพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ K และ พันธุ์ U ปัจจัยใน sub plot คือ ความหนาแน่นของอ้อยต่อพื้นที่ 12 ความหนาแน่นระหว่าง 0.32 ถึง 3.23 ต้นอ้อย.ตรม⁻¹ ซึ่งมีการคำนวณตามวิธีการรูปแบบพัด (ภาคผนวก 1) มีค่าสีเหลืองของแต่ละความหนาแน่นเป็น 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 และทิศทางการจัดเรียงตัวของต้นช้อยในแต่ละแปลงย่อย



ตัวอย่างทุกครั้งนำตัวอย่างช้อยเข้าห้องปฏิบัติการแยกส่วนต่าง ๆ ของช้อยออกเป็น ใบ กาบใบ ลำต้น และช่อดอก ซึ่งน้ำหนักสด และนำเข้าตูอบนาน 3 วัน และนำออกชั่งน้ำหนักแห้ง ส่วนที่เป็นลำต้นช้อยส่งศูนย์วิจัยพืชไร่นานวนบุรี เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของ CCS

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

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในระยะเริ่มต้นของการทดลองซึ่งช้อยมีอายุน้อยกว่า 120 วัน พบว่าช้อยทั้งพันธุ์มีการตอบสนองต่อความหนาแน่นพืชเพียงเล็กน้อย โดยการศึกษาจากน้ำหนักเหนือผิวดินสามส่วนได้แก่ น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักใบแห้ง และน้ำหนักกาบใบแห้ง เมื่อช้อยมีอายุได้ 150 วัน พบว่าความหนาแน่นพืชมีผลต่อน้ำหนักเหนือผิวดินทั้งสามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะกอช้อยที่ปลูกอยู่ในช่วงความหนาแน่นต่ำ ระหว่าง 0.32 ถึง 1.12 ต้น ตรม⁻¹ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักลำต้นมีมากกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักใบและน้ำหนักกาบใบอย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อช้อยมีพัฒนาการถึงระยะที่จำนวนหน่อหรือจำนวนลำตอกมีจำนวนคงที่หรือ

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 (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	1.83	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	4.06	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	18.23	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 (ต้นต่อตรม) อายุอ้อย→	น้ำหนักแห้งของลำต้น (กก.ต่อตรม.)							
	พันธุ์ K							
	120	150	180	194	229	257	284	319
0.32	0.001	0.004	0.029	0.079	0.248	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	0.186	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	2.068
0.90	0.001	0.008	0.209	0.454	0.917	1.187	1.378	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	3.089
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	0.627	1.580	3.490	2.511	5.973
อายุอ้อย→	พันธุ์ U							
	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	1.808	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	1.708
0.73	0.001	0.051	0.140	0.197	0.768	1.543	2.854	2.298
0.90	0.003	0.076	0.234	0.424	1.187	1.755	2.148	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	0.008	0.217	0.822	1.021	1.928	2.939	2.908	4.912
2.56	0.004	0.169	0.537	0.817	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 ตรม²

ความหนาแน่นพืชมีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อความสูงของอ้อยโดยเฉพาะเมื่ออ้อยทั้งสองพันธุ์มีอายุมากกว่า 120 วัน (ตารางที่ 76) อ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นระหว่าง 1.67 ถึง 3.23 ต้น ตรม² ซึ่งเมื่ออ้อยอยู่ในช่วงที่มีจำนวนหน่อคงที่ (อายุ 229 วัน) อ้อยพันธุ์ K มีความสูงเฉลี่ยเป็น 2.01 เมตร อ้อยพันธุ์ U มีความสูงเฉลี่ยเป็น 2.13 เมตร ความสูงของอ้อยสูงสุดพบที่ความหนาแน่นพืชระหว่าง 1.12 ถึง 1.67 ต้น ตรม² และเป็นการตอบสนองที่ค่อนข้างจะคงที่ตลอดการทดลอง ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะการแข่งขันเพื่อรับแสงอาทิตย์ของอ้อยที่ปลูกในช่วงที่มีความหนาแน่นดังกล่าว ในระยะเก็บเกี่ยวอ้อย พบว่าอ้อยที่ปลูกในช่วงความหนาแน่นที่ต่ำ มีแนวโน้มที่

ตารางที่ 73: น้ำหนักแห้งของใบอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

ความหนาแน่น (ต้นต่อตรม.) อายุอ้อย→	น้ำหนักแห้งใบ (กก.ต่อตรม.)							
	พันธุ์ K							
	120	150	180	194	229	257	284	319
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	0.267
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
อายุอ้อย→	พันธุ์ U							
	120	150	180	194	229	257	284	319
	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	0.864	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 ต้นต่อตารางเมตร

ความหนาแน่นพืชมีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อดัชนีพื้นที่ใบ โดยเฉพาะเมื่ออ้อยทั้งสองพันธุ์มีอายุมากกว่า 120 วัน ในทุกระยะพัฒนาการอ้อยพันธุ์ U มีดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าอ้อยพันธุ์ K ดัชนีพื้นที่ใบลดลงเมื่อความหนาแน่นพืชลดลงของอ้อยทั้งสอง (ตารางที่ 77) รูปแบบการสะสมของดัชนีพื้นที่ใบของอ้อยทั้งสองพันธุ์มีความคล้ายคลึงกันในทุกความหนาแน่นคือมีการสะสมถึงจุดสูงสุดแล้วมีการลดลงตามลำดับ ดัชนีพื้นที่ใบในแต่ละความหนาแน่นมีการใช้เวลาในการสะสมถึงจุดสูงสุดที่แตกต่างกัน อ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นที่ต่ำ คือระหว่าง 0.32 ถึง 1.12 ต้น ตรม.¹ ใช้เวลาในการสะสมดัชนีพื้นที่ใบถึงจุดสูงสุดที่มากกว่าอ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นที่สูงระหว่าง 1.39 ถึง 3.23 ต้น ตรม.¹

ส่วนที่ 1: การตอบสนองของข้อที่มีค่าความหนาแน่นโดยใช้รูปแบบการทดลองแบบตัด

ตารางที่ 74:

น้ำหนักแห้งของกาบใบอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

ความหนาแน่น (ต้นต่อตรม.)	น้ำหนักแห้งของกาบใบแห้ง (กก.ต่อตรม.)							
	พันธุ์ K							
	120	150	180	194	229	257	284	319
อายุอ้อย→	120	150	180	194	229	257	284	319
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	0.267	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	0.589
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	0.286	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
อายุอ้อย→	พันธุ์ U							
	120	150	180	194	229	257	284	319
	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	0.478	0.838	0.768	0.719	0.862

ตารางที่ 75: จำนวนลำต่อตารางเมตร ในอ้อยพันธุ์ K และอ้อยพันธุ์ U ที่สถานีแม่เหียะ 2539

ความหนาแน่น (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	2.56	2.66
0.39	2.34	2.73	3.52	2.73	2.99	2.80	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	6.81	7.81	6.81	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	15.36	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	16.44	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 (ต้นต่อตรม)	ความสูง (ซม.)											
	พันธุ์ K						พันธุ์ U					
อายุอ้อย→	180	194	229	257	284	319	180	194	229	257	284	319
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	180.0	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 (ต้นต่อตรม) อายุอ้อย→	ดัชนีพื้นที่ใบ							
	พันธุ์ K							
	120	150	180	194	229	257	284	319
0.32	0.02	0.11	0.39	0.69	0.98	1.34	1.57	1.48
0.39	0.04	0.23	0.77	0.90	1.49	1.94	1.78	1.77
0.48	0.04	0.28	0.67	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	0.64	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⁻¹ มีค่าองค์ประกอบ CCS สูงกว่าในความหนาแน่นมากกว่า 0.48 ต้น ตรม⁻¹ และเมื่ออ้อยใกล้ถึงระยะเก็บเกี่ยว พบว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ค่า CCS มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นพืช อ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นระหว่าง 0.32 ถึง 0.73 ต้นต่อตรม มีค่า CCS สูงกว่าอ้อยที่ปลูกในความหนาแน่นระหว่าง 0.90 ถึง 2.56 ต้น ตรม⁻¹ 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 (ตันต่อตรม)	ค่า CCS ในแต่ละความหนาแน่น									
	พันธุ์ K					พันธุ์ U				
	194	229	257	284	319	194	229	257	284	319
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	7.84	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	5.36	10.20	16.57
0.73	-0.21	4.98	7.02	10.38	14.01	0.61	2.04	4.22	8.65	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	0.61	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 (ตันต่อตรม)	% บริกซ์									
	พันธุ์ K					พันธุ์ U				
	194	229	257	284	319	194	229	257	284	319
0.32	11.82	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 (ต้นต่อตรม)	% โพลาไรตี้									
	พันธุ์ K					พันธุ์ U				
	194	229	257	284	319	194	229	257	284	319
อายุอ้อย→										
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	15.56	21.48
0.48	3.96	6.55	12.11	13.65	19.29	2.70	5.97	8.93	15.39	20.46
0.59	2.50	7.37	11.78	13.79	18.34	1.96	5.12	8.33	14.20	20.86
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	18.26	2.36	9.21	7.14	10.96	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	18.76
2.13	3.94	8.54	10.67	12.16	18.45	3.30	7.83	8.33	na	19.36
2.56	4.97	9.47	9.80	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 (ต้นต่อตรม)	%ไฟเบอร์									
	พันธุ์ K					พันธุ์ U				
	194	229	257	284	319	194	229	257	284	319
อายุอ้อย→										
0.32	9.40	9.70	9.10	12.30	11.00	10.00	11.20	8.20	9.70	11.50
0.39	7.80	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	7.80	11.10	12.50
0.90	9.20	9.30	7.30	12.20	12.70	7.60	10.20	7.40	10.80	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	11.80
1.67	7.30	9.90	7.40	12.10	12.70	6.90	9.70	7.80	11.80	10.90
2.13	8.80	8.70	7.00	11.80	10.80	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 ในระยะแรกของพัฒนาการ (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

อ้อยเป็นพืชที่มีโอกาสได้รับการเข้าทำลายด้วยโรคต่าง ๆ มากกว่า 40 ชนิดตลอดระยะเวลาของการเพาะปลูก (ตารางภาคผนวกที่ 1) สาเหตุหลักที่สำคัญประการหนึ่งของการเกิดโรคอ้อยคือเชื้อที่ติดมากับท่อนพันธุ์อ้อย ซึ่งมีเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไวรัส เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เช่น โรคแฉ่ำดำ (smut) โรคใบขาว (white leaf) โรคใบด่าง (mosaic) และโรคตอแคะแกระน (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 เพื่อตรวจชนิดของเชื้อรา และ อาหารเลี้ยงเชื้อ 523 ใน incubator ที่อุณหภูมิ 32 °C เพื่อตรวจชนิดของเชื้อแบคทีเรีย

หลังจากการเลี้ยงเชื้อที่อยู่บนเนื้อเยื่อของอ้อยได้ 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 เป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวเน่า (Red rot-wilt, ภาพที่ 1) ซึ่งทำให้อ้อยมีอาการเหี่ยวเฉาปลิ้น ยืนต้นแห้งตาย ใบ กาบใบ และลำต้นจะเป็นสีน้ำตาลแห้ง ภายในปล้องเน่าและ เนื้ออ้อยข้ามน้ำ มีสีน้ำตาลปนม่วง มีจุดสีแดงปะปนเล็กน้อย และลำต้นจะกลวง เป็นจุด ๆ ภายในลำต้นมีเชื้อราฟูสีขาวปนเทา ภาพของเชื้อรา *Fusarium* sp ที่เลี้ยงได้แสดงในภาพที่ 2 และ 3

เชื้อราที่พบอีกชนิดหนึ่งซึ่งพบในส่วนตาของพันธุ์ 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

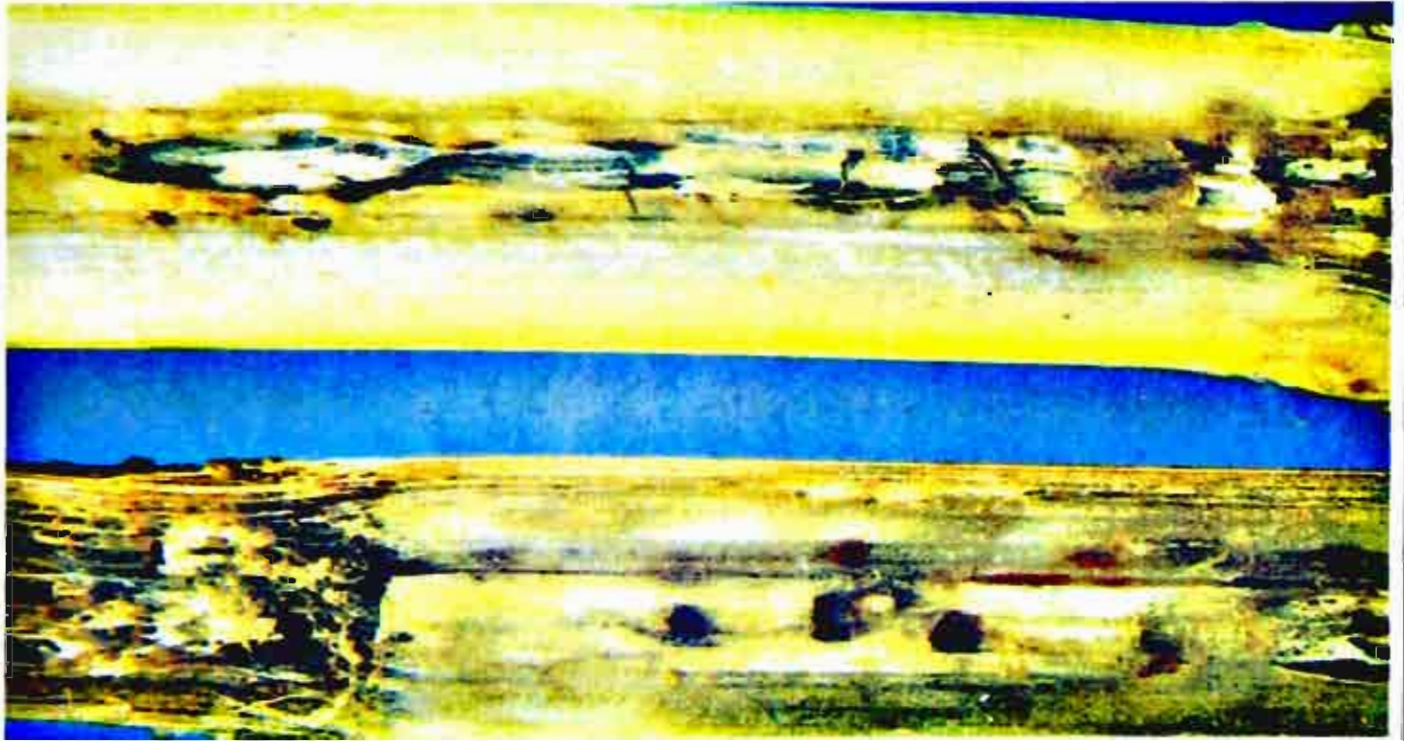
โรคใบขีดแดงและยอดเน่า (Red stripe and top rot, ภาพที่ 6) เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas rubrilineans* อาการมีเส้นสีแดงเป็นขีดยาวขีด ตามความยาวของใบอ้อย หรือเกิดอาการยอดเน่าในอ้อยบางพันธุ์โดยไม่มีแผลบนใบเลย หรืออ้อยบางพันธุ์ก็อาจแสดงอาการบนใบ และยอดเน่าพร้อม ๆ กัน ใบยอดเน่านี้เมื่อถึงจะหลุด และมีกลิ่นเหม็น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

โรคกัมโมซิส (Gumosis) เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas vasculorum* โรคนี้พบว่าไม่มีผลเสียหายต่อผลผลิตของอ้อย อย่างไรก็ตาม จากการวินิจฉัยไม่สามารถบอกถึง species ของเชื้อที่พบในอ้อยได้ ดังนั้นเชื้อ *Xanthomonas* sp. อาจเป็น speciesใด speciesหนึ่งดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ สำหรับเชื้อ *Erwinia* sp. ที่พบนั้นพบในส่วนเปลือกของทั้งพันธุ์ U และ K และพบในส่วนตาของพันธุ์ U เท่านั้น สำหรับแบคทีเรียชนิดนี้ไม่พบว่า เป็นสาเหตุของโรคอ้อย

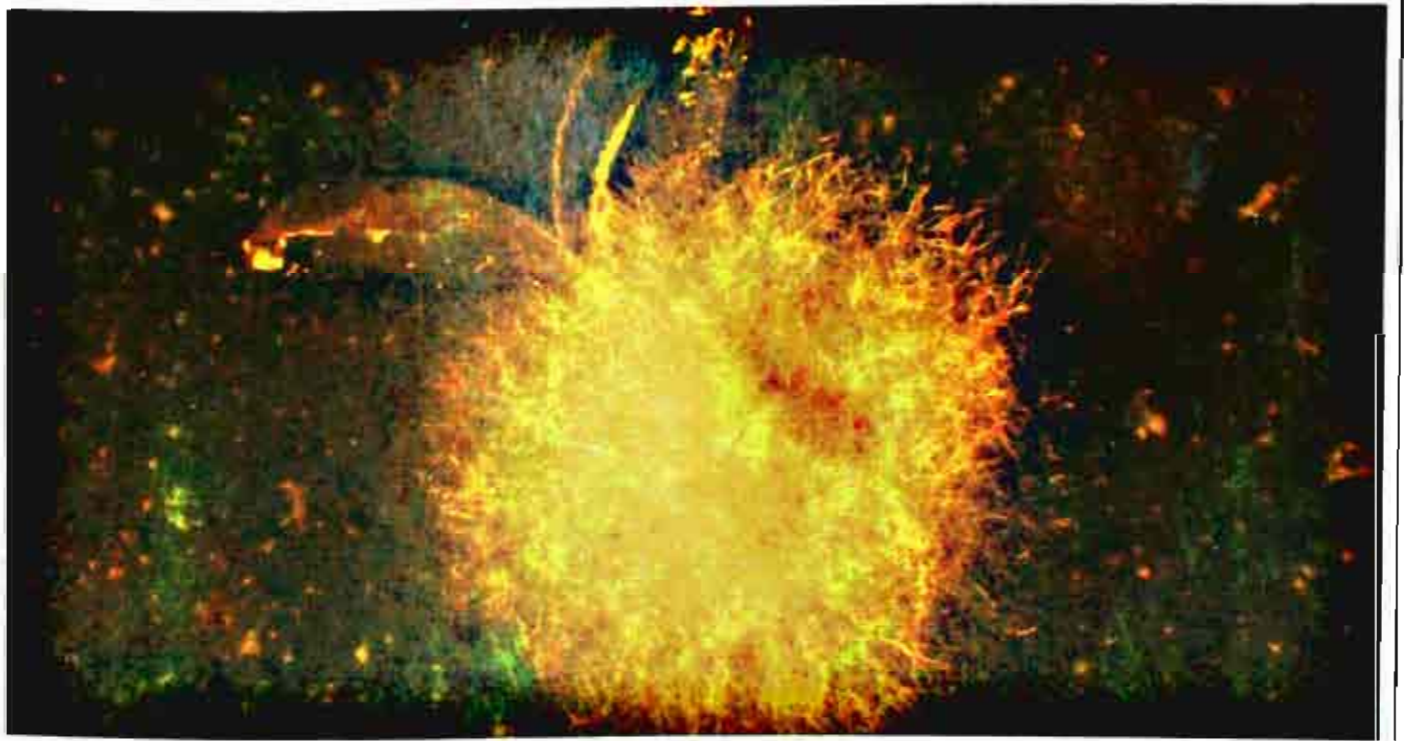
สรุป

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

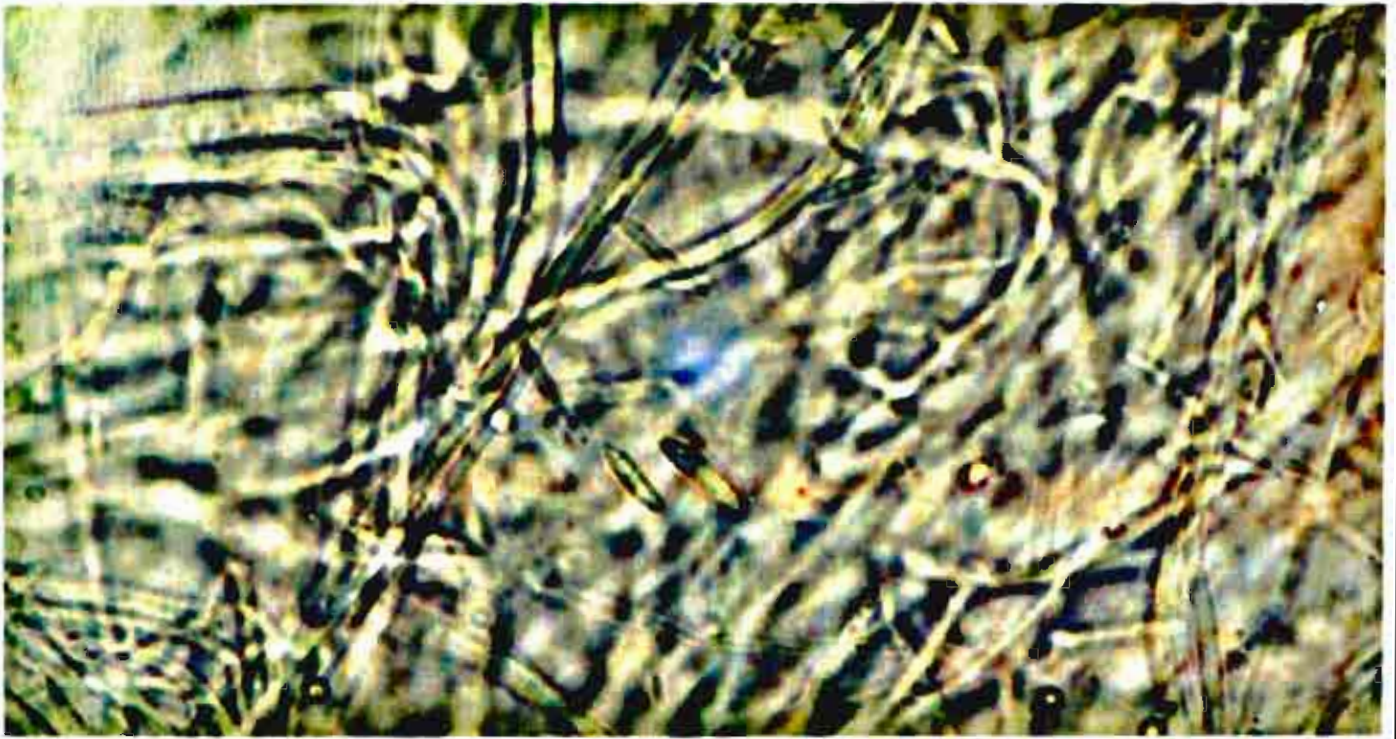
ภาพที่ 1: โรคเหี่ยวเฉา (red rot wilt) ของอ้อย เกิดจากเชื้อ *Fusarium sp.* (กรมวิชาการเกษตร 2528)



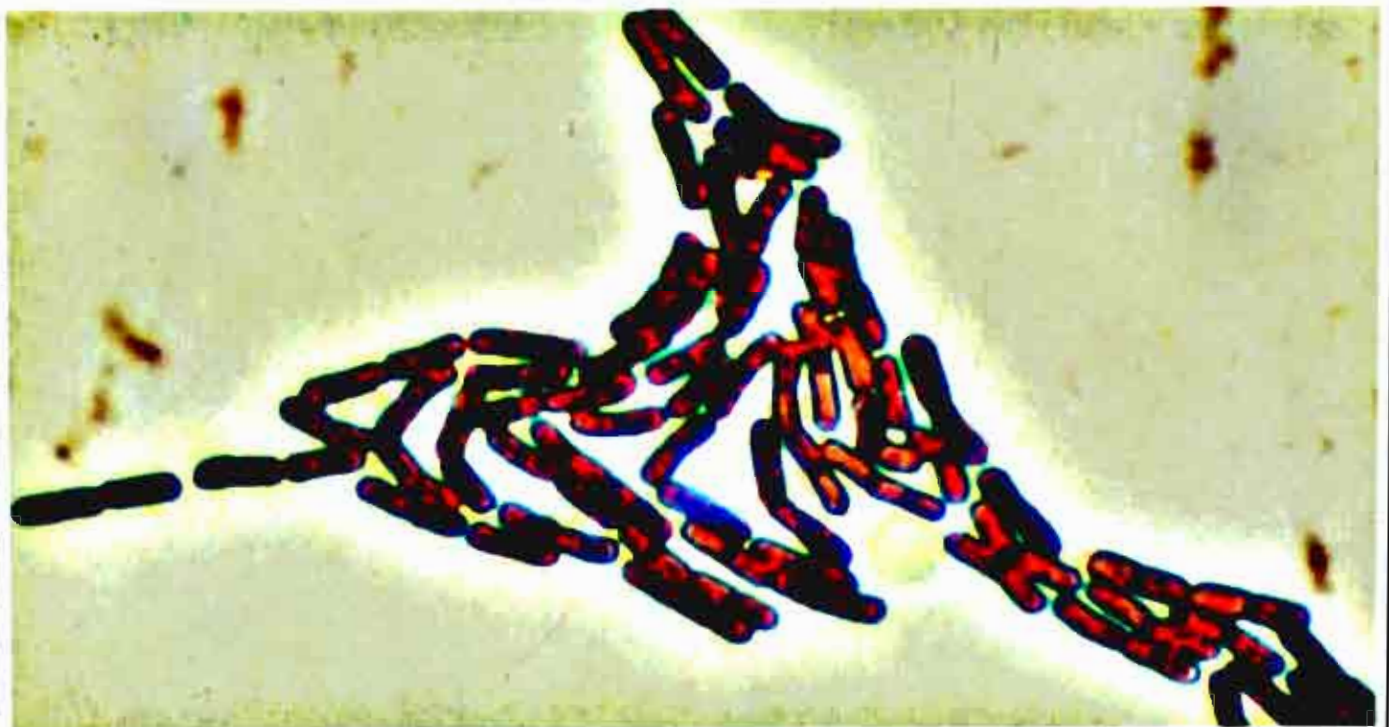
ภาพที่ 2: กลุ่มเส้นใยของเชื้อรา *Fusarium sp.* บนอาหาร PDA



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



ภาพที่ 4: ลักษณะเชื้อแบคทีเรียที่พบบนท่อนพันธุ์อ้อย



ภาพที่ 5: โรคใบลวก (leaf scald) ของอ้อย เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas albilineans* (กรมวิชาการเกษตร 2528)



ภาพที่ 6: โรคใบขีดแดงและยอดดเน่า (red stripe and top rot) ของอ้อย เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas rubrilineans* (กรมวิชาการเกษตร 2528)

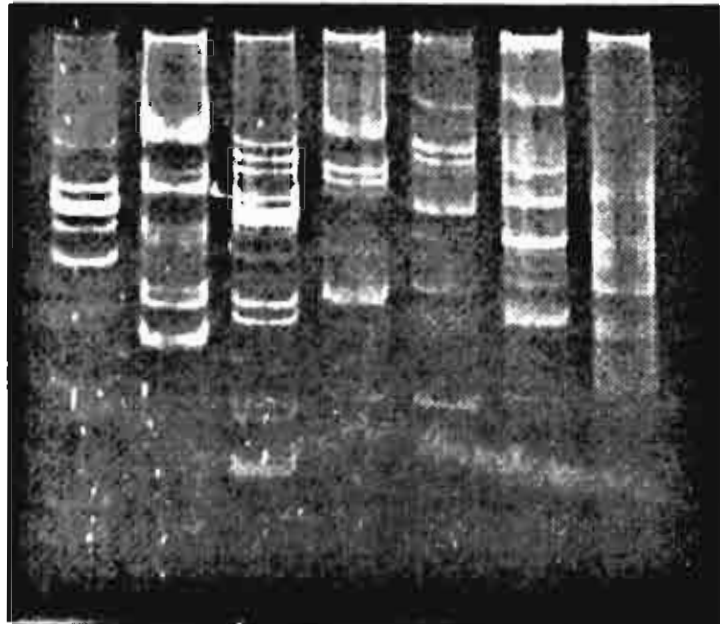


รูปที่ 24:

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

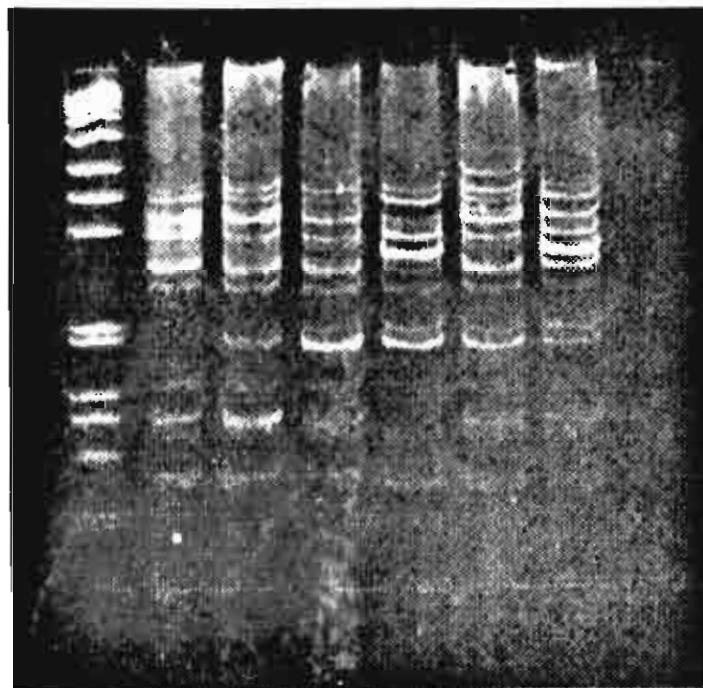
แถวที่ 1: RAPD ของ primer DNA หญ้าแฝก ที่ใช้เป็น positive control strain

แถวที่ 2-7: RAPD ของ unknown ข้าว ที่เกิดจากการใช้ primer ที่แตกต่างกัน 6 ชนิด



รูปที่ 25:

เปรียบเทียบแบบแผน RAPD ข้าวจำนวน 6 ตัวอย่างจากข้าว 2 สายพันธุ์ โดยใช้ 10-base primer 1 ชนิด



ส่วนที่ 1 การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและ การเจริญเติบโตของอ้อย

PCR-RAPD: A genetic tool for sugarcane research

วัลลา ดิษฐพงษ์พิชญ์ และ อีรดา หวังสมบูรณ์
ภาควิชาโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคใหม่ 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 จากใบอ้อยที่ยังไม่คลี่ 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

น้ำอ้อยที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของลำต้นอ้อยหนึ่งลำมีปริมาณซูโครสแตกต่างกัน ดังนั้นการทราบข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณซูโครสในส่วนต่าง ๆ ของต้นอ้อยเป็นข้อมูลหนึ่งในการตัดสินใจเพื่อดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้อง ซึ่งทำให้การประเมินผลการผลิต 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 สารประกอบเหล่านี้จะเป็นสารปนเปื้อนที่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ซูโครสเป็นอย่างมาก

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	40.8	0.30	8.40	7.72	3.75	8.78
Leaf sheath	4.3	38.6	0.00	4.03	14.20	3.33	8.92
Leaf roll	2.0	48.2	0.00	5.68	6.95	7.66	13.00
Stem tip	1.6	47.6	0.00	5.90	14.80	12.90	17.52
Millable cane							
1 st 60 cm	14.0	60.3	0.07	1.81	130.48	0.00	9.24
2 nd 60 cm	14.8	71.3	0.00	1.45	154.88	5.38	0.00
3 rd 60 cm	17.8	73.6	0.04	1.47	181.56	3.83	4.84
4 th 60 cm	19.5	71.1	0.03	1.30	185.10	3.06	2.00
Stubble	9.3	65.3	0.07	2.01	152.60	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 iodometrically; soluble polysaccharides were measured as the alcohol-insoluble reactants with phenol-sulfonic 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	10-16
Fiber (dry)	11-16
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 - 0.060
Waxes, fats, phosphatides	0.050 - 0.150
Other	3.000 - 5.000

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

$(\alpha)_D^T$ = ค่า specific rotation ที่อุณหภูมิ T โดยใช้โซเดียมสเปกตรัม D-line เป็นแหล่งกำเนิดแสง

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

C = ความเข้มข้นของน้ำตาลในหน่วยกรัมต่อมิลลิลิตร

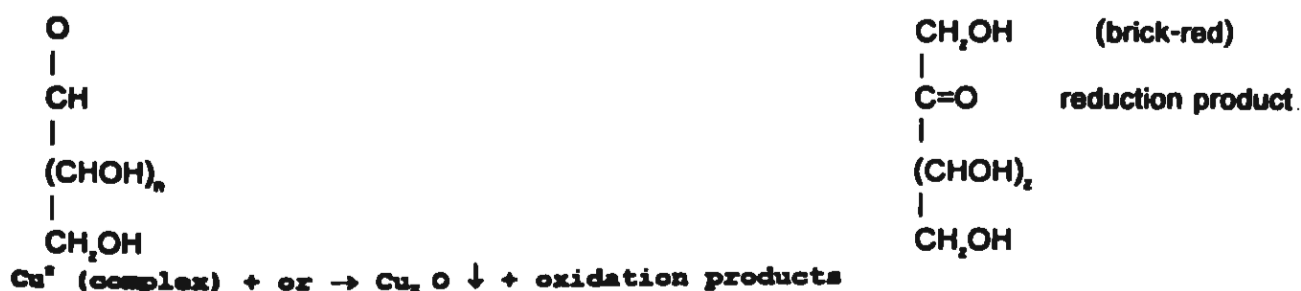
L = ความยาวของหลอดที่ใส่สารละลายน้ำตาลในหน่วยเดซิเมตร

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-การผลิตย่อยในระดับการผลิตพืชระดับที่สอง (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 และเอกสารที่พิมพ์เพื่อการสนทนากายในองค์กรต่าง 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) พลังงานของน้ำในดินและในพืช (water balance) โดยมีรายการโปรแกรมย่อย (subroutine) รวม 31 โปรแกรม (รูปที่ 27)

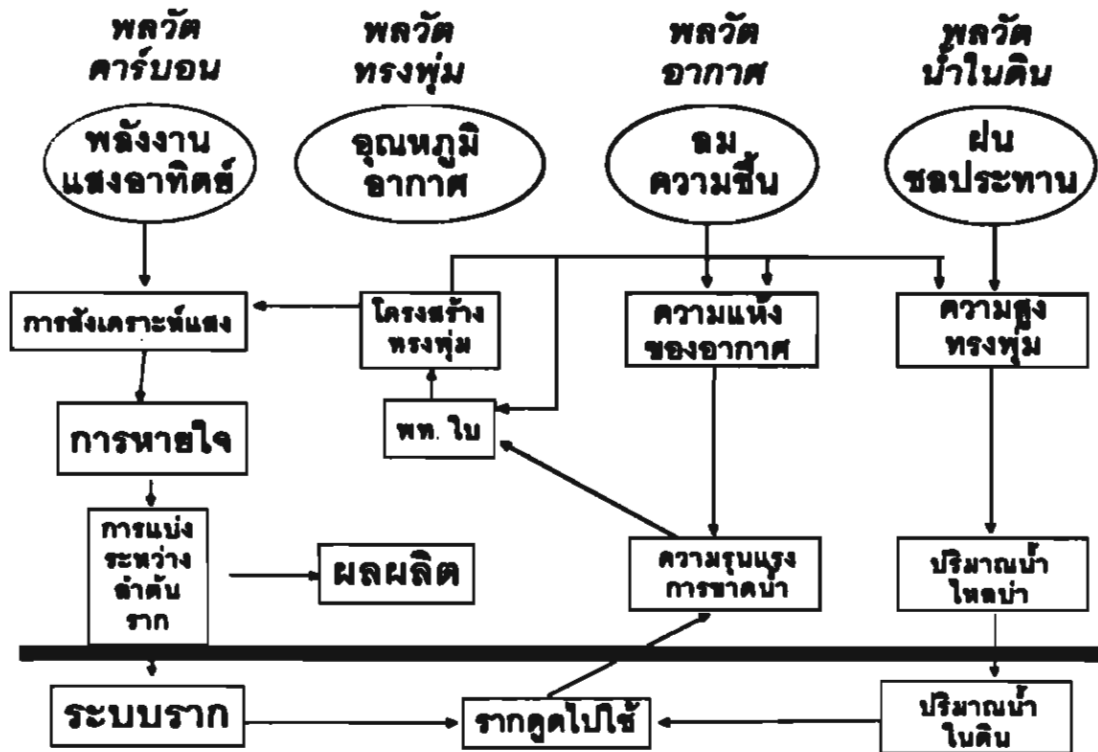
กระบวนการสำคัญในแบบจำลอง ThaiCane 1.0

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)
AULPLT (automatic planting)

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

กระบวนการพัฒนาการของพืช (crop phenology)

พัฒนาการของพืช (crop phenology) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (morphology) สถานะภาพ (stage) ของพืช เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ย้อนกลับไม่ได้ แบบจำลองอ้อยได้แบ่งระยะพัฒนาการของกออ้อยออกเป็นเก้า ระยะ (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 เติบโตเต็มที่
2	ระยะแตกกอ และ ลำต้น
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

ค่าเริ่มต้นของตัวแปรบางตัวในการคำนวณพัฒนาการของอ้อย 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) และทำการตรวจสอบว่าความลึกของการปลูกอ้อย (SDEPTH) ลึกกว่าชั้นดิน (CUMDEP) หรือไม่ จากสมการ

$$SDEPTH < CUMDEP$$

ถ้าจริง แบบจำลองให้ค่า Istage = 8.0 และพร้อมที่จะตรวจสอบวันงอกในระยะถัดไป

ระยะ 8: วันงอก

Istage = 8.0 แบบจำลองตรวจสอบความชื้นดิน (SWSD) ของชั้นดินที่มีท่อนอ้อยว่ามีความชื้นมากกว่าความชื้นต่ำสุดหรือไม่และเพียงพอต่อความสามารถในการไหลผ่านผิวดินของตาอ้อยหรือไม่ และตาอ้อยจะต้องมี

ส่วนของพืชสวนใดส่วนหนึ่งเิ่มลัพันผิวดินภายในเวลา 40 วัน ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าจะมีการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกลไกสำคัญในภาพของระบบการผลิตของประเทศไทยต่อไป

ระยะ 9: วันที่สวนใดส่วนหนึ่งของต้นอ้อยเิ่มลัพันผิวดิน

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

$$SUMDTT > P9$$

แบบจำลองจะคำนวณค่าระยะเวลาที่ใช้เพื่อเิ่มลัพันผิวดิน

$$RTDEP = RTDEP + (0.15 * DTTi)$$

ระยะ 1: วันที่ใบที่ 14 เิ่มเต็มที่

ISTAGE = 1.0

ระยะนี้อ้อยเิ่มสร้างใบจริง (มีสีเขียว) ซึ่งมีระยะเวลาเท่ากับอุณหภูมิสะสม DTTPI ของแต่ละพันธุ์ตามสมการ

$$CUMDTT > DTTPI$$

$$XSTAGE = 2 * SUMDTT/P1$$

ระยะ 2: ระยะแตกกอ และเิ่มสร้างลำต้น

ISTAGE = 2.0

$$XSTAGE = 2 + SIND$$

และจะตรวจสอบว่าเิ่มมีการสะสมน้ำหนักลำต้นหรือไม่

$$STKDM > 0.0$$

ระยะ 3: ใบคลุมพื้นที่ร้อยละ 70

ISTAGE = 3.0

$$XSTAGE = 3.0 + (2.0 * SUMDTT)/CUMDTT$$

ตรวจสอบว่าค่าพื้นที่ใบมีมากกว่าร้อยละ 70 หรือไม่

$$LI > 0.70$$

ระยะ 4: ระยะที่มีจำนวนหน่อสูงสุด

ISTAGE = 4.0

ตรวจสอบว่าค่าอุณหภูมิสะสมมีมากกว่า P4 หรือไม่

SUMDTT > P4
 XSTAGE = (SUMDTT/CUMDTT) + 4.0

ระยะ 5: ระยะที่มีจำนวนหน่อคงที่

ISTAGE = 5.0

ตรวจสอบว่าค่าพื้นที่ใบมีมากกว่าร้อยละ 70 หรือไม่

SUMDTT > P4
 XSTAGE = 4.5 + (5.5 * SUMDTT)/CUMDTT

ระยะ 5.1: ระยะแทงช่อดอก (panicle initiation)

ISTAGE = 5.0

แบบจำลองข้อ ThaiCane 1.0 สามารถคาดการณ์การออกดอกของข้อสองสายพันธุ์ที่ทำการทดลองอยู่ได้อย่างน่าพอใจ แต่เนื่องจากคณะผู้วิจัยพบว่าข้อพันธุ์ U-Thong 2 และ K 84-200 ที่ทำการทดลองในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - พฤศจิกายน 2538 มีการออกดอกในระหว่างเดือนพฤศจิกายน และ ธันวาคม 2538 และ 2539 ตามลำดับ ผู้วิจัยจะดำเนินการให้แบบจำลองข้อ ThaiCane 1.0 สามารถคาดการณ์การออกดอกของข้อพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทย โดยอาจจะแทรกเข้าไปในระหว่างพัฒนาการระยะที่ 5 และ 6 (ตารางที่ 86) โดยใช้ source code ตามตารางที่ 87

ระยะ 5.2: ระยะช่อดอกโผล่ (panicle emergence)

ISTAGE = 5.0

ระยะ 6: ระยะเจริญเต็มที่

ISTAGE = 6.0

แบบจำลองข้อ ThaiCane 1.0 หยุดการคำนวณพัฒนาการของข้อเมื่อ ISTAGE = 6.0

กระบวนการการเจริญเติบโตของพืช (crop growth)

การเจริญเติบโตของพืช (crop growth) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงขนาด (shape and size) น้ำหนักมวลชีวภาพ (biomass) ของพืช เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและลดลงได้ โปรแกรมแบบจำลองข้อ ThaiCane 1.0 มีกระบวนการด้านสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง การเพิ่มน้ำหนักส่วนต่าง ๆ ของข้ออยู่บนหลายกระบวนการ 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
C       IF (CROP .EQ. 'SC' .AND. TWILEN .GT. P20) THEN
C           .AND. SIND .LE. 1.0) THEN
C               RATEIN = 1.0/(100.0+P2*(TWILEN-P20))
C P20 = 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
C               RATEIN = 1.0/(P22+P2*(TWILEN-P20))
C               SIND = SIND + RATEIN
C               IF (SIND .LE. 1.0) THEN
C                   RETURN
C               ELSE
C                   pause
C                   IStage = 10
C                   IPRINT = 0
C                   STGDOY(istage) = YRDOY
C               ENDIF
C
```

การรับแสง (light interception)

เริ่มต้นด้วยการโดยใช้กฎของ Beer's ในการคำนวณปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกตรึงและนำไปใช้เพื่อการสังเคราะห์คาร์บอนในแต่ละวัน โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นค่าคงที่ (300 ppm)

$$L_i = 1 - \exp(-k \text{ LAI})$$

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

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

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

ϕ = ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสง (quantum efficiency) มีค่าเท่ากับ 0.065 mol/mol

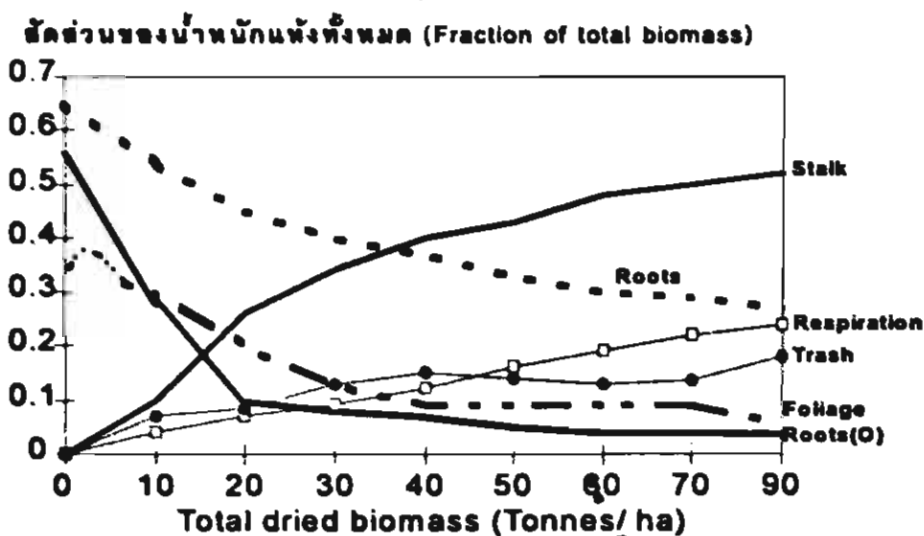
$$f = 0.2PAR(1-\exp(-k \cdot LAI_n)/LAI_n$$

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

การกระจายสารสังเคราะห์ (assimilate partitioning)

แบบจำลองข้อ ThaiCane 1.0 แบ่งสารสังเคราะห์ (photosynthate) ที่ได้ในแต่ละวันไปยังส่วนต่าง ๆ ของกออ้อย ได้แก่ ราก ใบและกาบใบ ลำต้น และน้ำตาล sucrose ตามระยะพัฒนาการของอ้อย (รูปที่ 28) คำสั่งมีในโปรแกรม PARTIT.FOR การกระจายสารสังเคราะห์ในพื้นที่อ้อยของประเทศไทยควรได้รับการศึกษามากขึ้น เพื่อตรวจสอบฟังก์ชันการกระจาย

รูปที่ 28: ฟังก์ชันการกระจายสารสังเคราะห์ (น้ำหนักแห้ง) ในแบบจำลองข้อ ThaiCane 1.0.



กระบวนการพลวัตของน้ำในดิน (soil-crop water balance)

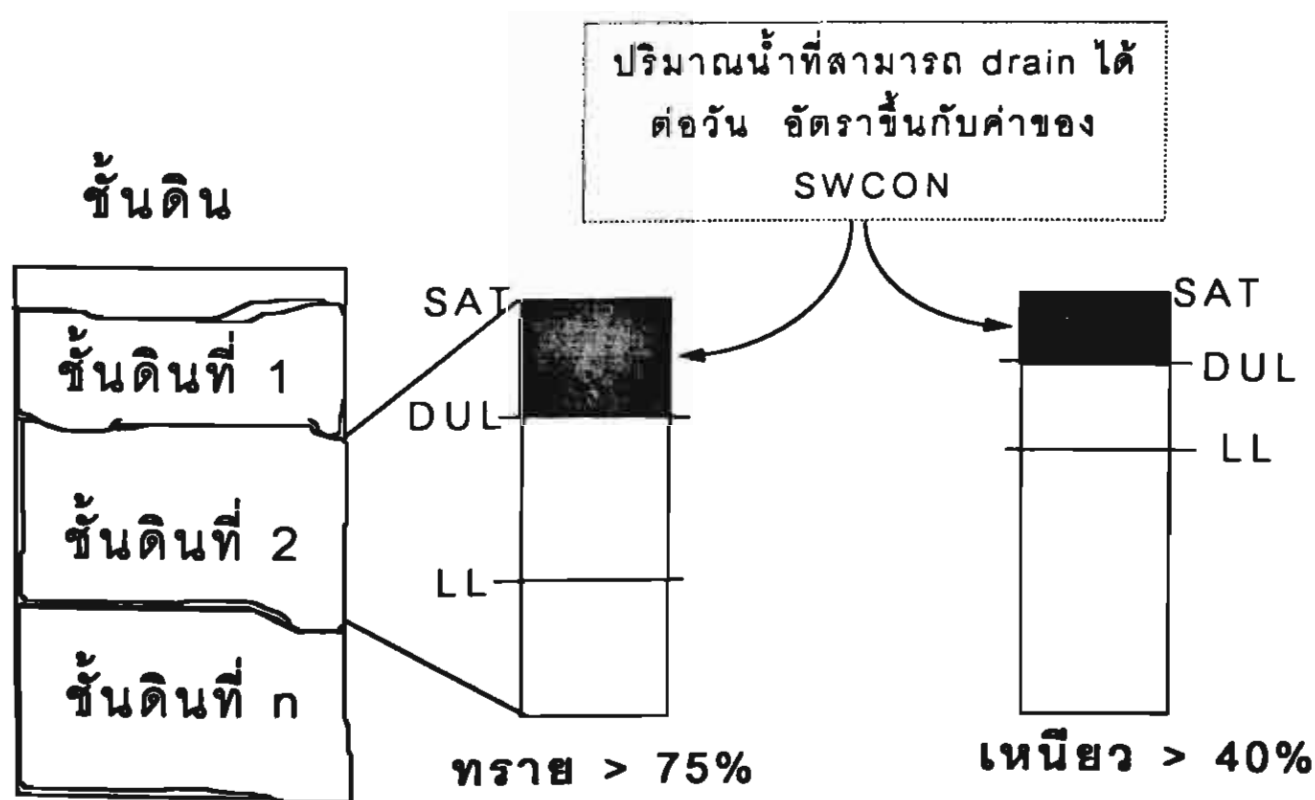
การคำนวณการเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินและในพืชที่มีในแบบจำลองข้อ ThaiCane 1.0 ใช้แบบจำลองน้ำที่มีการเสนอและทดสอบโดย Dr. J.T. Ritchie แห่งมหาวิทยาลัยมิชิแกน ซึ่งได้ทำการศึกษาศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองพลวัตของน้ำในดินและในพืชที่สามารถคาดการณ์ในระดับที่ยอมรับได้และมีข้อมูลดินที่สามารถหาได้มาประกอบการใช้งานแบบจำลองเพื่อจัดการระบบให้น้ำชลประทานพืชอย่างมีประสิทธิภาพ

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

พลวัตรของธาตุไนโตรเจน (nitrogen dynamic)

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

พลวัตรของธาตุฟอสฟอรัส (phosphorus dynamic)

แบบจำลองย่อย ThaiCane 1.0 ยังไม่มีพลวัตรของธาตุฟอสฟอรัสที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของข้าว คณะผู้วิจัยจะดำเนินการเพื่อหาวิธีการเพิ่มโปรแกรมย่อย (subroutine) ในส่วนนี้ในโอกาสต่อไป รวมทั้งธาตุอาหารอื่นด้วยหากมีความสำคัญต่อการคาดการณ์ผลผลิตข้าว

ข้อมูลพื้นฐานที่ ต้องการ

แบบจำลองย่อยมีข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์มีเฉพาะความแตกต่างของพัฒนาการของใบ จำเป็นต้องพัฒนาความเข้าใจด้านลักษณะการแตกกอ การไว้ตอ การตอบสนองต่อสารอาหารในดิน ซึ่งอาจจะสามารถหาได้โดยวิธีการพันธุ์วิศวกรรมตามที่ได้มีการศึกษาเบื้องต้นแล้วโดย วัลลา 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) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีบทบาทมากในการตัดสินใจเพื่อการผลิตทางเกษตรทั้งในยุคปัจจุบันและอนาคต

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

ขั้นตอนที่สองเป็นการพัฒนาแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการเชื่อมโยงเข้ากับระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการผลิตอ้อย ThaiSIS 1.0 (อรรถชัย จินตะเวช และ Thornton, 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) และความหยาบละเอียด (texture) ของข้อมูล

คุณสมบัติทางด้านเวลา (temporal characteristic)

เป็นคุณสมบัติของดาวเทียมแต่ละดวงในการโคจรรอบโลกและเก็บบันทึกข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกจะโคจรในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในแนวเหนือ-ใต้ ลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดคุณสมบัติทางด้านเวลา กล่าวคือมีการโคจรกลับมาบันทึกซ้ำที่เดิมตามระยะเวลาที่กำหนด ดาวเทียม LANDSAT 5 และ ดาวเทียม SPOT มีวงโคจร เป็น 16 และ 26 วัน ตามลำดับ การจำแนกพื้นที่การปลูกธัญพืชออกจากพื้นที่พืชไร่ การเกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ อาศัยคุณสมบัตินี้เข้ากับช่วงเวลาการเจริญเติบโตของธัญพืช ช่วยในการเลือกข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด

หลักการระบบดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลก (GPS)

ระบบดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกแบบใหม่นี้ได้รับการติดตั้งเมื่อปี 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 ตลอดจนระบบพิกัดที่ใช้เป็นระบบที่อ้างอิงซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก

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 การรังวัดทั้งสองความถี่นี้จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถแก้ความคลาดเคลื่อนของการแพร่ของคลื่นในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้ 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 และจะให้บริการแก่หน่วยทางการทหารของสหรัฐอเมริกา 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. ต่อ หนึ่งรอบ และทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน ดาวเทียมแต่ละดวงทำหน้าที่ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งและเวลาที่ถูกต้อง (ธาตุ cesium ใช้กับนาฬิกาอะตอม atomic clock ทำให้ระบบเวลาของ GPS มีความละเอียดถูกต้องสูง ในอนาคตจะมีการใช้ธาตุ hydrogen maser แทนธาตุ cesium ซึ่งจะทำให้ระบบเวลาของ GPS มีความละเอียดถูกต้องสูงยิ่งขึ้น) ด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุด้วยรหัสเฉพาะ ระยะห่างของดาวเทียม (phasing) จากระนาบหนึ่งไปยังอีก ระนาบหนึ่งทำมุม 40 องศา ตัวอย่างเช่น ดาวเทียมดวงหนึ่งบนระนาบหนึ่งจะอยู่ข้างหน้าของดาวเทียมอีกดวง หนึ่งบนระนาบข้างเคียง ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกด้วยมุม 40 องศา โดยดาวเทียมโคจรจากทิศใต้ไปทิศเหนือ

ส่วนควบคุม (control segment) ประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก MCS หนึ่งสถานี สถานีรับส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (upload station) สามสถานี และสถานีโครงข่ายรับสัญญาณ (monitor station) ตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศสหรัฐอเมริกา รวมห้าสถานี คือที่ Kwajalien, Diego Garcia, Ascension, Honolulu และที่ฐานทัพอากาศ Falcon มลรัฐ Colorado แต่ละสถานีโครงข่ายรับสัญญาณจะมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แต่ละดวง และสถานีเหล่านี้ได้ทำการสำรวจหาค่าพิกัดอย่างละเอียดโดยหน่วยงานแผนที่สหรัฐอเมริกา (DMA) แต่ละสถานีจะทำการรวบรวมข้อมูลการรังวัดระยะแบบ pseudorange (หมายถึง ระยะทางระหว่างจุดรังวัดกับดาวเทียม) ข้อมูลชั้นบรรยากาศ Ionosphere ข้อมูลสภาพอากาศ เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งที่แน่นอนของแต่ละสถานีทุกๆ 15 นาที แต่ละสถานีโครงข่ายจะส่งข้อมูลไปยังสถานีควบคุมหลัก MCS ซึ่งตั้งอยู่ที่ CSOS ในฐานทัพอากาศ Falcon สถานีควบคุมหลักทำการประมวลผลข้อมูลการรังวัดจากทุก ๆ สถานีโครงข่าย เพื่อหาค่าวงโคจรและทำนายเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง 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)

เป็นการวัดค่าพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณ GPS แบบอิสระจุดต่อจุด ไม่มีการอ้างอิงตำแหน่ง หรือจุดอื่นๆ ระบุรับสัญญาณ เครื่องรับสัญญาณ GPS. ในตำแหน่งอิสระดังกล่าวจะรับสัญญาณตามค่าดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวง

การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์ เป็นการคำนวณเพื่อหาพิกัดในระบบแกนพิกัดของโลก เช่น ระบบพิกัดจาก ที่มีจุดศูนย์กลางกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก โดยแกน z อยู่ในแนวแกนหมุนของโลก แกน x ชี้ไปยังเมอริเดียนศูนย์องศา แกน y ตั้งฉากกับแกน x และแกน z บางครั้งเรียก single-point positioning ด้วยเหตุว่าเป็นการเปิดรับสัญญาณจากกลุ่มดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวง เพื่อต้องการทราบค่าพิกัดของจุด 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 ในขณะเดียวกันในการนำวิถีบางครั้งมีการคำนวณค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ เนื่องจากงานนี้เป็นการหาตำแหน่งของเครื่องรับเครื่องหนึ่งเปรียบเทียบกับอีกเครื่องหนึ่ง จึงจำเป็นต้องมีคลื่นวิทยุเชื่อมโยงระหว่างเครื่องรับทั้งสองนี้ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับเพื่อคำนวณหาตำแหน่งได้ในทันที วิธีการกำหนดตำแหน่งในลักษณะนี้ประยุกต์ใช้ในการขุดเจาะหาน้ำมัน และการใช้ในการควบคุมการลากจูงเรือไปตามร่องน้ำ การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ บางครั้งเรียกว่าการวัดแบบแก้ค่าความต่าง (differential correction)

ในการใช้ระบบดาวเทียม GPS เพื่อช่วยในการจำแนกพื้นที่การปลูกข้าวจำเป็นต้องใช้วิธีการวัดจากทั้งสองวิธีการ 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 ราวางอำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น และ ราวางอำเภออุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกรับบันทึกเมื่อวันที่ 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 ราวางอำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น
2. แผนที่ภูมิประเทศ 1:50,000 ราวางอำเภออุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาและจำแนกรายละเอียดข้อมูลพื้นที่การปลูกอ้อยและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM ขนาดรายละเอียดของจุดภาพ 25 เมตร มีการบันทึกการสะท้อน

คลื่นทั้งหมดเจ็ดช่วงคลื่น โดยทำการศึกษาข้อมูลภาพจากดาวเทียมในสองช่วงเวลาบันทึกข้อมูล คือ ข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537 และ ข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538 ภาพทั้งสองช่วงทำให้สามารถศึกษาและจำแนกลักษณะคลื่นแสงของพื้นที่ปลูกอ้อยเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนการตัดเข้าโรงงาน (ภาพเดือนพฤศจิกายน 2537) และต้นฤดูการปลูก (โดยประมาณข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538) หลังจากการตัดเข้าโรงงานเพื่อเปรียบเทียบกับพืชไร่และการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ และเลือกพื้นที่ศึกษาสองแห่ง คือ ระวังอำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น และระวังอำเภอ อู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ขนาดพื้นที่หนึ่งระวัง 27×27 ตร.กม. รวมข้อมูลที่ใช้กรรมวิธีข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดสี่ชุด แต่ละชุดใช้วิธีการจำแนกทั้งแบบควบคุม (supervised classification) และแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) เทคโนโลยีเชิงพื้นที่ดังกล่าวนี้เน้นความถูกต้องของพื้นที่ปลูกอ้อยในเชิงคุณสมบัติ (attribute accuracy)

เทคโนโลยีข้อมูลเชิงพื้นที่อีกชนิดหนึ่งซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมความถูกต้องของพื้นที่ปลูกอ้อยในเชิงตำแหน่ง (position accuracy) คือ ระบบการกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลก โดยใช้สำรวจหาและกำหนดตำแหน่งพื้นที่ตัวอย่าง (training area) ของข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยและการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ ภายในระวังข้อมูลทั้งสอง ด้วยวิธีการรังวัดแบบสัมบูรณ์ (absolute positioning) และใช้กำหนดจุดควบคุมในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียม (image rectification) และการทำแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยในระดับตำบล ด้วยวิธีการรังวัดแบบสัมพัทธ์ (relative positioning) ซึ่งสามารถควบคุมความถูกต้องของแผนที่แสดงพื้นที่การปลูกอ้อยให้ให้อยู่ในเกณฑ์ได้ถึง ± 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 จากนั้นผู้วิเคราะห์สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์ประกอบกับการคำนวณค่า 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

การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพถ่ายเทียม (image enhancement)

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

การสร้างภาพสีผสมของข้อมูล (color composite)

การสร้างภาพสีผสมของข้อมูลภาพจากดาวเทียมเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อสะดวกต่อผู้ศึกษาในการทำความเข้าใจลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายเทียมได้ชัดเจนยิ่งขึ้นกว่าการใช้ภาพขาว-ดำ การสร้างภาพสีผสมดำเนินการด้วยวิธีผสมข้อมูลภาพถ่ายเทียมของช่วงคลื่นที่ต้องการศึกษาผ่านเข้ากับแม่สีหลัก (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) ใกล้เคียงและอาจผสมผสานกับค่าการสะท้อนคลื่นแสงของพื้นที่ปลูกอ้อยอย่างละเอียด โดยทำการรังวัดพิกัดของจุดตรวจสอบตัวอย่าง (checking area) ในพื้นที่การเกษตรต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือ GPS และนำค่าพิกัดของตำแหน่งตรวจสอบเหล่านั้นมากำหนดลงในข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อสร้างเป็นพื้นที่ตัวอย่าง (training site) ของแต่ละกิจกรรม อนึ่งการตรวจสอบภาคสนามยังเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการปรับแก้เชิงตำแหน่ง (image rectification) อีกทางหนึ่งด้วยหลังจากที่การปรับแก้เชิงตำแหน่งได้ปฏิบัติในสำนักงาน และควบคุมความถูกต้องด้วยค่า transformation matrix

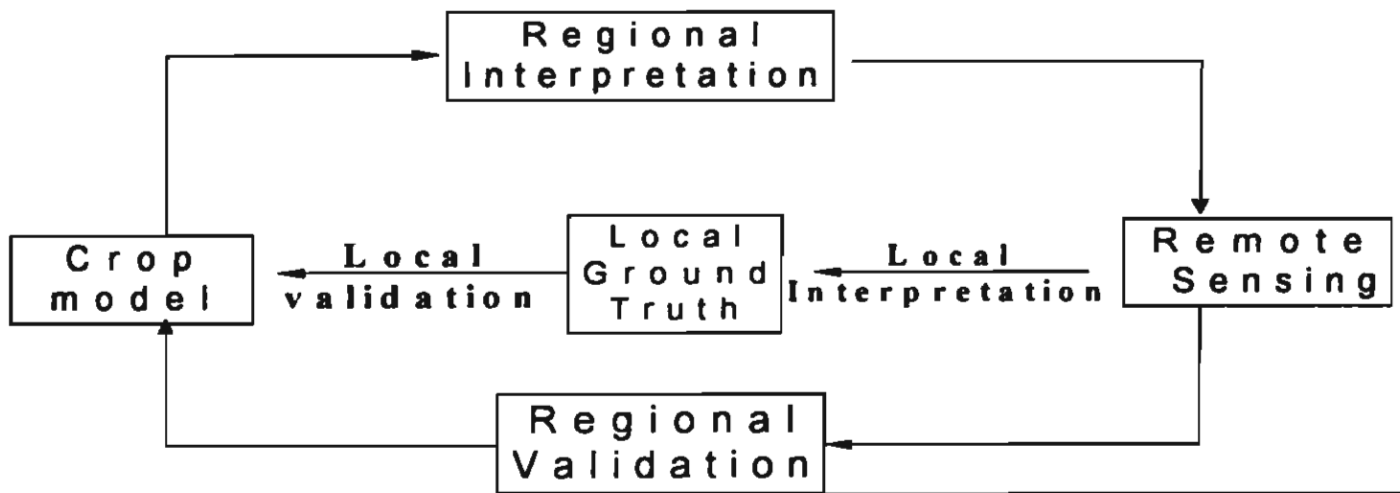
รูปที่ 31 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยโดยใช้ GPS (อ่านเรื่องแนวคิดและหลักการของระบบ GPS ได้ใน ถาวร อ่อนประไพ และอรรถชัย จินตะเวช ในเอกสารฉบับนี้)

การจำแนกรายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (image classification)

หมายถึงการจัดจำแนกจุดภาพภายในระวางภาพถ่ายดาวเทียมออกเป็นประเภทของการใช้ที่ดิน (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)

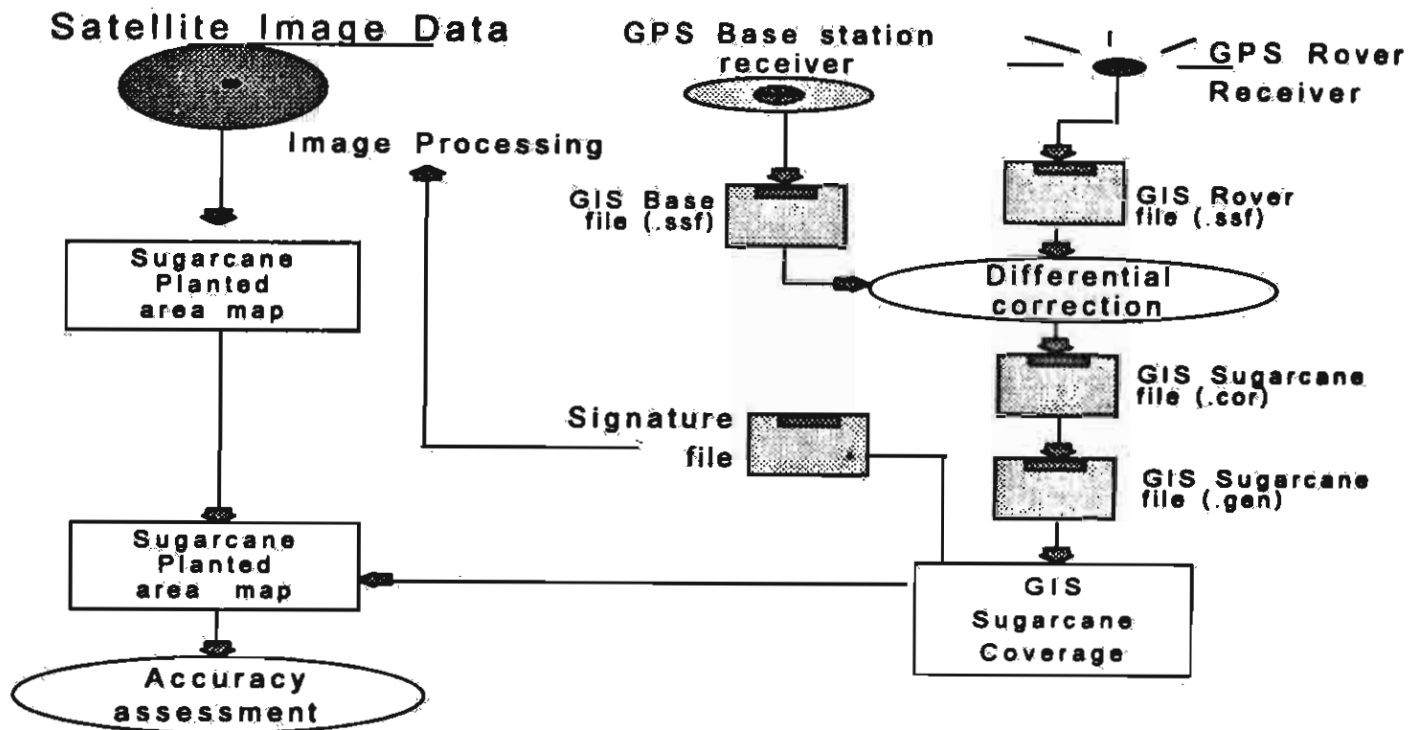


อย่าง (training area) โดยนำมาสร้างเป็นข้อมูลการสะท้อนแสง (signature file) ของพื้นที่ปลูกอ้อยและพื้นที่การ-ใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ โดยเฉพาะพื้นที่การปลูกพืชไร่อื่น ๆ ที่ข้างเคียงกับพื้นที่ปลูกอ้อย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการ-ทำเพิ่มข้อมูล สำหรับลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นที่เหล่านั้น ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้สำหรับการจำแนกรายละเอียด ข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่ระวางด้วยวิธีแบบควบคุม ค่าการสะท้อนแสงของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ (pixel) ของ ข้อมูลภาพจากดาวเทียมจะถูกคำนวณโดยมีค่าข้อมูลของ training area เป็นต้นแบบ และข้อมูลของทุก ๆ pixel จะถูกตัดสินด้วยวิธีการทางสถิติว่าควรเป็นข้อมูลที่เกิดอยู่ในลักษณะพืชผล หรือการใช้ที่ดินประเภทใด (รูปที่ 32)

การจำแนกแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) ใช้หลักการจำแนกค่าการสะท้อนแสงของวัตถุเป็น หลัก (spectral classes) โดยไม่ใช้ค่าข้อมูลตัวอย่าง (training data) ในการกำหนดประเภทของการใช้ที่ดิน (รูปที่ 32) นั่นคือใช้ลักษณะการจับกลุ่มของข้อมูลที่มีค่าการสะท้อนแสงที่ใกล้เคียงกันให้อยู่ในชุดเดียวกัน และจากนั้นทำการเปรียบเทียบหรือให้ความหมาย (identify) ค่าข้อมูลที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันตามข้อมูล ต่ำ ๆ ที่มีอยู่ เช่น ข้อมูลภาคสนาม แผนที่และภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลภาพดาวเทียมที่มีการจำแนกไว้ใน เกณฑ์มาตรฐานที่เชื่อถือได้ (Lillesand and Kieffer, 1994a) ในทางปฏิบัติการจำแนกแบบนี้เรียกว่า การจัดกลุ่ม (clustering) อีกนัยหนึ่งเป็นการจัดกลุ่มของชุดข้อมูลค่าการสะท้อนคลื่นแสงของวัตถุที่ต้องการศึกษาซึ่งมีสองวิธี-การ คือ 1) isodata clustering และ 2) RGB clustering คณะผู้วิจัยเลือกวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบแรกสำหรับ การจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยของทั้งสอพื้นที่

การจัดกลุ่มค่าเหมือนกัน (isodata clustering) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการวิเคราะห์ซ้ำด้วยค่า ข้อมูลเดิมตั้งแต่ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลถึงขั้นตอนการคำนวณทางสถิติ โดยใช้ค่า spectral distance ที่น้อยที่ สุดในการกำหนดกลุ่มของข้อมูลแต่ละชุด โดยเริ่มจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ระบุให้ และคำนวณซ้ำจนกระทั่ง ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ เหล่านั้น เปลี่ยนค่าเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลในทั้งชุดของภาพ (ERDAS, 1994a)

รูปที่ 31: ขั้นตอนการดำเนินงานสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยโดยใช้ GPS

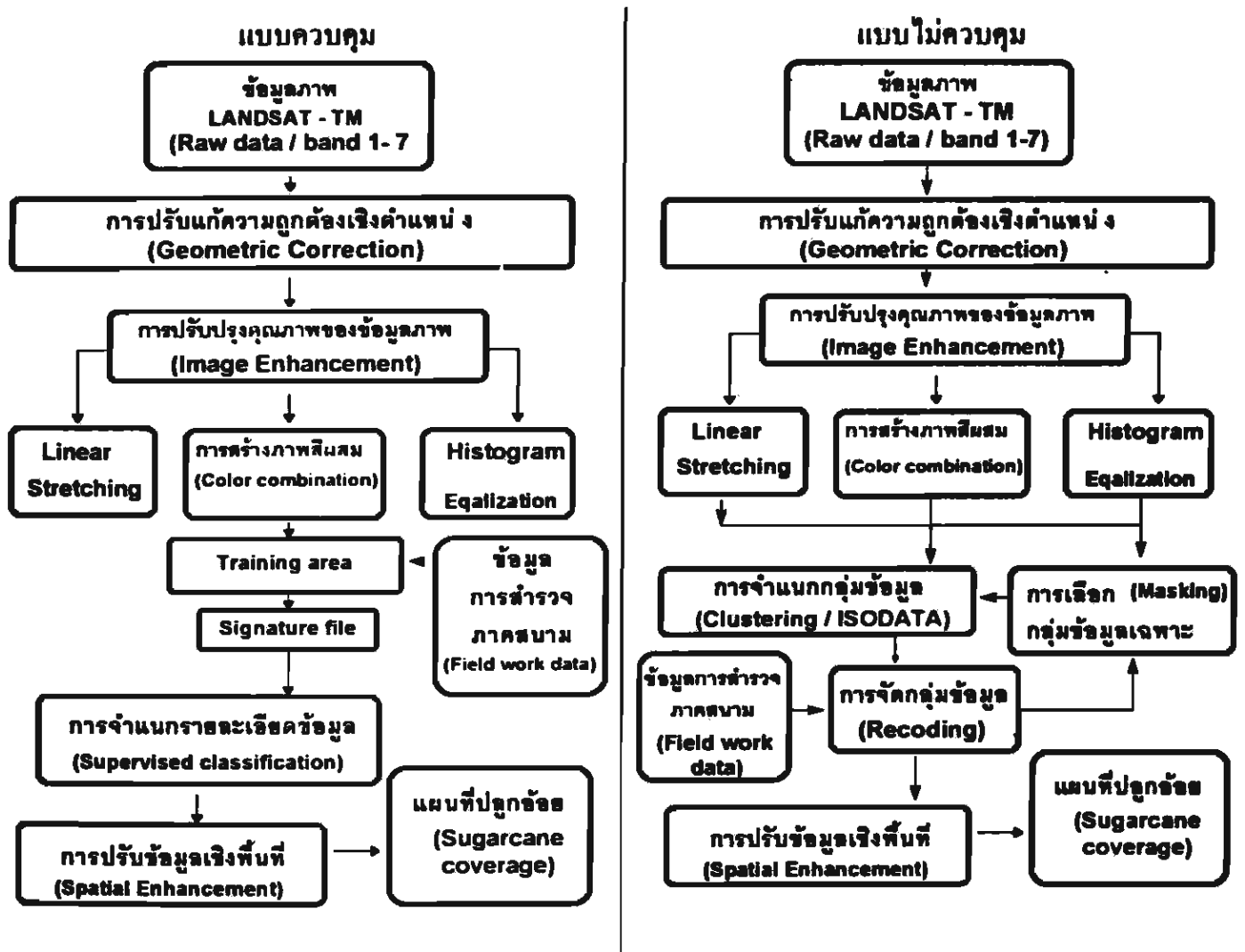


การประเมินค่าความถูกต้อง (classification accuracy assessment)

การประเมินค่าความถูกต้องของการจำแนกค่าข้อมูลภาพจากดาวเทียมทั้งแบบควบคุมและไม่ควบคุมการจำแนก เป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญและจำเป็นมาก คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการประเมินความถูกต้องสองวิธีการ ได้แก่ error matrix และ KHAT statistic (Congalton, 1991; Carstensen, 1987; และ Foody, 1992) วิธีการแรกเป็นตาราง แสดงจำนวนจุด (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 ที่ตก อยู่ในสภาพการใช้ที่ดินประเภทนั้น ๆ ดัชนีจริง (user accuracy) คำนวณตามแนวนอนเป็นสัดส่วนระหว่าง จำนวนจุดกำหนดที่ตรงกับ การใช้ที่ดินประเภทนั้นในสภาพจริงตามกำหนดในสนามและจำนวนรวมของจุดสภาพ จริงประเภทนั้น ๆ ที่ตกอยู่ในค่ากำหนดของสภาพจริงประเภทอื่น ๆ ดัชนีรวม (overall accuracy) คำนวณตาม

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



แนวทแยงมุมของตารางเป็นสัดส่วนระหว่างผลรวมของค่าที่สภาพกำหนดตรงกับสภาพจริงและผลรวมของจุดทั้งหมดในตาราง (Congalton, 1991) KHAT 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 สดมภ์ที่ 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 เลานศิริวงศ์

การจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียม กรณีศึกษาระวางอำเภอ น้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ได้ใช้วิธีการศึกษาและกรรมวิธีข้อมูล ดังที่ได้กล่าวแล้วในวิธีการวิจัย เป็นข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537 (ภาพที่ 7 และ 8) และข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538 และใช้วิธีการจำแนกแบบควบคุม และแบบไม่ควบคุม พื้นที่ระวางอำเภอ น้ำพองมีกิจกรรมการเกษตรหลายประเภทผสมผสานกัน (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 เนื่องจากวิธีการจำแนกแบบไม่ควบคุมนี้สามารถใช้ค่าสถิติของข้อมูลทุก ๆ จุดภาพ แบ่งกลุ่มข้อมูลออกได้ภายในภาพเอง แต่จะมีปัญหาที่สำคัญ คือ ในกรรมวิธีนี้ยังไม่สามารถระบุพื้นที่ที่ติดอ้อย (ข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537) พื้นที่เตรียมดินเพื่อจะปลูกใหม่ (ข้อมูลภาพเดือนพฤศจิกายน 2537) และพื้นที่ที่อ้อยยังมีขนาดเล็ก (ข้อมูลภาพเดือนเมษายน 2538) ได้ เนื่องจากลักษณะค่าการสะท้อนแสง

ตารางที่ 87: ผลการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยของระวางน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น

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