



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการบริหารแบบห่วง โซ่อุปทานในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล

โดย ผศ.ดร.กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม และคณะ

สิงหาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการบริหารแบบห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. ผศ.ดร.กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ.และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Quantitative Analysis for Supply Chain Management in Thai Sugarcane and Sugar Industry

Kullapapruk Piewthongngam^a, and Kanchana Setthanan^{b*}

^a*Department of Economics, Faculty of Management Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand*

^b*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand*

Abstract—As a result of separated planning between rain-fed sugarcane growers and sugar producers in Northeastern of Thailand, the supply of sugarcane to sugar plants are fluctuated. This situation leads both sugarcane farmers and sugar plants to produce below their profit maximization level. During harvest season, quantity of sugar being harvested is not matched with capacity level of sugar processing plant. Hence, supply of sugar is under capacity in early and late harvest season and is over capacity in the middle of season. This problem portrays a loss to the plant when operate under capacity and a loss to farmers when cut-to-crush time exceeds 15 hours as a result of over supply of sugar on that particular day. This problem can be resolved through supply chain management using database management, sugar phenology modeling such as CANEGRO and heuristic method. The database is used to record land information, climate zone, soil structure, size of land, and farm management. This information, then, is fed into CANEGRO, which combined weather data, genetic characters, management strategies, and soil data in order to simulate expected outputs. The results of these simulations are used in heuristic programming to identify variety, time, and harvesting date for a particular sugar plot such that capacity of a sugar processing plant is optimized as well as farmer's revenue. The simulated maximum quantities of sugar can be produced is 810 million kilograms which is obtained from starting harvesting season on January 6 and ending on November 9. The simulated result using purposed algorithm is greater than an average of simulated randomly grown sugarcane by 243 millions kilograms. Moreover the simulated randomly grown results depicts that supply of sugar exceeds capacity by 4 times and under capacity by 20 times on the average.

Keywords— Supply Chain Management, Heuristic, Sugar Industry, Quantitative Analysis, CANEGRO

การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการบริหารแบบห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล

กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม¹, และ กาญจนา เศรษฐนันท์²

¹ภาควิชาเศรษฐศาสตร์, คณะวิทยาการจัดการ, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002, ประเทศไทย

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น 40002, ประเทศไทย

บทคัดย่อ—เกษตรกรชาวไร่อ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและโรงงานไม่ได้ประสานงานกันเพื่อวางแผนการปลูกอ้อย ทำให้ปริมาณอ้อยส่งเข้าหีบในแต่ละวันค่อนข้างผันผวน ส่วนใหญ่จะมีอ้อยเข้าหีบต่ำกว่ากำลังการผลิตในช่วงต้นและปลายฤดูเก็บเกี่ยว และมีอ้อยเข้าหีบสูงกว่ากำลังการผลิตช่วงกลางฤดูจึงเกิดความสูญเสียขึ้นทั้งกับฝ่ายโรงงาน และเกษตรกร เป็นเหตุให้ทั้งสองไม่สามารถผลิตที่ระดับกำไรสูงสุด เกษตรกรต้องรอคิวเข้าหีบหน้าโรงงานนานกว่า 15 ชั่วโมงทำให้ผลผลิตน้ำตาลที่ได้น้อยลง ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้การบริหารจัดการแบบห่วงโซ่อุปทานซึ่งประกอบด้วยการใช้เทคนิคต่างๆร่วมกัน ได้แก่ การใช้ฐานข้อมูล การใช้โปรแกรมจำลองพัฒนาการของอ้อย เช่น โปรแกรม CANEGRO และการใช้เทคนิคฮิวริสติกส์ ฐานข้อมูลถูกใช้บันทึกข้อมูลที่ดิน สภาพอากาศ ลักษณะดิน ขนาดพื้นที่ และการจัดการในไร่ เมื่อรวบรวมข้อมูลเหล่านี้ได้แล้วจึงป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมการพัฒนาการของอ้อย ซึ่งในที่นี้คือ CANEGRO โปรแกรมจะทำการประมวลผลข้อมูลอากาศ พันธุกรรม และการจัดการอ้อยเพื่อจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าเกษตรกรควรจะปลูกอ้อยพันธุ์ใด เมื่อใด และเก็บเกี่ยวเวลาใด จึงจะทำให้ทั้งเกษตรกรได้รับรายได้สูงสุดและโรงงานผลิตเต็มกำลังการผลิต ผลผลิตน้ำตาลสูงสุดที่จำลองได้ คือ 810 ล้านกิโลกรัม ได้จากการเปิดหีบวันที่ 6 มกราคม และปิดหีบวันที่ 9 พฤศจิกายน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าการสุ่มปลูก 25 ครั้ง พบว่า ผลผลิตจากแนวทางที่นำเสนอสูงกว่าค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้จากการสุ่ม 243 ล้านกิโลกรัม นอกจากนี้ การปลูกแบบสุ่มจะทำให้มีอ้อยเข้าหีบสูงกว่ากำลังการผลิตของโรงงานประมาณ 4 ครั้ง โดยเฉลี่ย และ ต่ำกว่ากำลังการผลิตประมาณ 20 ครั้ง

Keywords— การบริหารจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน, ฮิวริสติกส์, อุตสาหกรรมน้ำตาล, การวิเคราะห์เชิงปริมาณ, CANEGRO

บทสรุปผู้บริหาร

การวางแผนการจัดการอ้อยและน้ำตาลอ้อย ที่อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีอุปสรรคหลายอย่างด้วยกัน เช่น ไม่สามารถกำหนดวันปลูกได้เพราะต้องอาศัยน้ำฝน เกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกอ้อยพันธุ์เดียวกัน การปลูกพันธุ์เดียวกันและในช่วงเวลาเดียวกันจะทำให้อ้อยสุกแก่พร้อมกัน ส่งผลให้มีปริมาณอ้อยเข้าโรงงานมากเกินไปในช่วงกลางฤดูหีบอ้อย และน้อยเกินไปในช่วงต้นและปลายฤดู อ้อยที่ทิ้งไว้ 4 วัน หลังเก็บเกี่ยว น้ำหนักอ้อยจะลดลงประมาณร้อยละ 6 ของน้ำหนักทั้งหมด คิดเป็นรายได้ที่สูญเสีย 49.5 บาทต่อตันอ้อยสด ส่วนในช่วงที่ปริมาณอ้อยต่ำกว่ากำลังการผลิตที่โรงงานจะรับได้ ก็จะทำให้เกิดต้นทุนและค่าเสียโอกาสในการเดินเครื่องจักรของโรงงาน

แนวทางแก้ไขปัญหของการจัดการอ้อยเข้าหีบของผู้วิจัยคือการวางแผนคัดเลือกพันธุ์และเวลาที่เหมาะสมในการปลูก พันธุ์อ้อยแต่ละพันธุ์มีระยะเวลาสุก การดูแลความเหมาะสมกับสภาพดินที่แตกต่างกัน จึงต้องเลือกใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพดินและการดูแลของเกษตรกร และในขณะเดียวกันตอบสนองต่อแผนการผลิตของโรงงาน

แนวความคิดนี้นำเสนอในรูปแบบการจำลองสถานการณ์ โดยสมมติให้เกษตรกรปลูกอ้อย 3 ช่วงเวลาด้วยกันคือ อ้อยปลายฝน อ้อยต้นฝน และอ้อยน้ำราด โดยมีสถานะอากาศ 3 สถานะคือ ขอนแก่น แลย และ ชัยภูมิ และสมมติให้แต่ละสภาพภูมิอากาศมีทั้งดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) และดินทราย (Loamy Sand) รวมเป็นพื้นที่ที่แตกต่างกัน 6 พื้นที่ สำหรับพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ เราใช้ 4 พันธุ์ซึ่งได้จากการจำลองสัมประสิทธิ์พันธุ์เบา พันธุ์หนัก พันธุ์กลาง และคู่ทองและเค 200

เมื่อใช้ Algorithm คัดเลือกช่วงเปิดหีบที่จะให้ปริมาณน้ำตาลสูงสุด พบว่า ถ้าเปิดหีบช่วง วันที่ 6 มกราคม จะทำให้ได้ผลผลิตน้ำตาลสูง คิดเป็นผลผลิตน้ำตาลรวม 810.7 ล้านกิโลกรัม จากขนาดของโรงงานที่มีกำลังการหีบอ้อยสด 22,000 ตันต่อวัน และมีพื้นที่ส่งเสริม 48,000 เฮกเตอร์ ถ้าเปิดหีบในช่วงอื่นผลผลิตที่ได้จะต่ำกว่าจุดสูงสุด และอาจเกิดปัญหาเรื่องการรอคิวเข้าหีบและยังอาจทำให้โรงงานน้ำตาลผลิตต่ำกว่ากำลังการผลิต

เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่า Algorithm ให้ผลการวางแผนการผลิตที่ดีกว่าการวางแผนการดำเนินการแบบเดิมที่เกษตรกรและโรงงานต่างดำเนินการผลิตแยกกัน เราจึงสร้างสถานการณ์ขึ้นมาอีกสถานการณ์หนึ่งโดยสมมติให้ เกษตรกรเลือกพันธุ์และเวลาปลูกตามที่ความพอใจของตน ผลของการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 25 ครั้ง พบว่า ผลผลิตที่ได้ทุกครั้งต่ำกว่าการใช้ Algorithm โดยมีค่าเฉลี่ยของผลผลิตน้ำตาลอยู่ที่ประมาณ 570 ล้านกิโลกรัม ต่ำกว่าการใช้ Algorithm อยู่ 243 ล้านกิโลกรัม และนอกจากนี้ สถานการณ์จำลองที่เกษตรกรไม่ได้วางแผนการผลิตร่วมกับโรงงานยังทำให้เกิดปัญหาผลผลิตอ้อยเข้าหีบสูง/ต่ำกว่ากำลังการผลิตทุกครั้ง โดยมี

อ้อยที่เข้าหีบสูงกว่ากำลังการผลิตของโรงงานโดยเฉลี่ย 4 ครั้ง และต่ำกว่ากำลังการผลิต 20 ครั้ง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนน้ำตาลของไทยที่สูงกว่าประเทศคู่แข่ง

ข้อด้อยหลักๆของแนวความคิดจากงานวิจัยนี้ คือ การจำลองสถานการณ์ซึ่งอาศัยสภาพภูมิอากาศในอดีตมาใช้ในการทำนายอนาคต ทำให้ความแม่นยำของผลผลิตน้ำตาลขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการทำนายสภาพภูมิอากาศ เป็นที่ทราบกันดีว่าการทำนายภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ไกลออกไปทำได้ยากและมีความคลาดเคลื่อนสูง นอกจากนี้ การทำนายสถานการณ์จากงานวิจัยนี้ กระทำเพียงครั้งเดียวในช่วงการวางแผนการปลูก เมื่อเวลาผ่านไปภูมิอากาศอาจเป็นหรือไม่เป็นไปตามที่เราคาดไว้ ดังนั้น ผลผลิตที่ได้จริงหลังจากปลูกอ้อยแล้วจึงต่างจากที่คาดการณ์ไว้ ไม่ว่าจะเป็นเพราะ ปัญหาภัยแล้ง โรค/แมลงระบาด ไฟไหม้ หรือด้วยเหตุการณ์อื่น การวางแผนการเก็บเกี่ยวจากผลการจำลองสถานการณ์อย่างเดียวจึงอาจมีความผิดพลาดค่อนข้างสูง ข้อเสนอของการวางแผนการเก็บเกี่ยว คือ ควรปรับปรุงข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยในเวลาปัจจุบันให้ทันต่อความเป็นจริงตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้การวางแผนการเก็บเกี่ยวที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

จะเห็นได้ว่า ความซับซ้อนของข้อมูลต่างๆทำให้การประยุกต์ใช้แนวคิดนี้เป็นไปได้ค่อนข้างยากในขณะนี้ แต่ถึงแม้เราจะไม่สามารถประยุกต์ใช้แนวความคิดแบบนี้ได้ในระยะใกล้ เราก็ควรจะมีการเตรียมความพร้อมด้านการวิจัยต่างๆไว้ เมื่อสถานการณ์การแข่งขันรุนแรงขึ้น จนทำให้โรงงานและเกษตรกรต้องคำนวณต้นทุนทุกบาททุกสตางค์ เมื่อนั้น เราจะต้องนำความคิดดังกล่าวเข้ามาใช้ ซึ่งถ้าเราเริ่มเตรียมความพร้อมด้านการวิจัยตั้งแต่วิธีการนี้ ก็จะทำให้เราสามารถแข่งขันได้ดีในอนาคต

ถึงแม้เราจะนำผลจากงานวิจัยนี้มาใช้ในการวางแผนการปลูกอ้อยจริงไม่ได้ แต่งานชิ้นนี้ก็แสดงให้เห็นแนวทางการนำความรู้ด้านพัฒนาการของอ้อย ฐานข้อมูล และเทคนิคทางคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนที่ไม่เกิดมูลค่าเพิ่มของอ้อย ถ้าจะนำวิธีการเหล่านี้ไปใช้ในอนาคตอันใกล้จะต้องปรับปรุงเทคนิคเหล่านี้ให้ง่ายขึ้น และนำข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันมาใช้โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลเพิ่มเติมที่มากเกินไปนักก็จะเป็นจุดเริ่มของการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุตสาหกรรมที่ดี และเป็นการเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของอุตสาหกรรมอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสนับสนุนของหลายฝ่ายด้วยกัน ดิฉันขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่สนับสนุนด้านเงินทุนตลอดจนสร้างบรรยากาศ และโอกาสการทำวิจัยให้นักวิจัยรุ่นใหม่มาโดยตลอด การทำงานวิจัยนั้น นอกจากทุนสนับสนุนแล้ว นักวิจัยยังต้องมีกำลังใจที่ดี และความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้มีส่วนให้กำลังใจดิฉันในระหว่างการทำงานเป็นอย่างมากก็คือ รศ.อนงศ์นุช เทียนทอง ความเมตตา และเวลาที่ท่านให้กับ ดิฉันนั้นมีความมากมายมหาศาล ท่านเป็นทั้งเพื่อนร่วมงาน และผู้ใหญ่ที่ดิฉันเคารพรักเสมอ เป็นเสมือนที่พักพิงทั้งยามร้อนและหนาว ทั้งทางด้านวิชาการและเรื่องส่วนตัว รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ สำหรับความช่วยเหลือที่ดิฉันได้รับจากท่านมาโดยตลอด ท่านทำให้ดิฉันรู้สึกว่าคุณดิฉันมีเพื่อนร่วมทาง มิตรแท้ที่คอยห่วงใยช่วยเหลืออยู่ตลอด และอีกท่านหนึ่งก็คือ รศ.ดร.อรรถชัย จินตะเวช ถึงแม้ว่าดิฉันจะได้มีโอกาสสนทนากับท่านเพียงครั้งเดียว แต่การสร้างบรรยากาศของงานวิจัย คำพูดที่เปี่ยมด้วยความกรุณา ความทุ่มเทให้กับงานวิจัยตลอดจนความช่วยเหลือที่ท่านมีให้กับนักวิจัยหน้าใหม่อย่างดิฉันอยู่ในความทรงจำของดิฉันมาโดยตลอด ด้านข้อมูลสนับสนุน และความรู้เกี่ยวกับเรื่องอ้อยที่ดิฉันมีแล้วแต่ได้มาจากบริษัท มิตรผลวิจัยพัฒนาอ้อยและน้ำตาล จำกัด และเจ้าหน้าที่บริษัทมิตรผล จำกัด ทั้งโรงงานมิตรภูเขียว และมิตรภูเวียง โดยเฉพาะ ดร.พิพัฒน์ วีระถาวร คุณอรุณวดี คุณทินกร ที่ให้โอกาสดิฉันได้เข้าไปเรียนรู้เรื่องอ้อย สำหรับผู้ที่เริ่มต้นศึกษาเกี่ยวกับเรื่องอ้อยแล้ว โอกาสนี้มีค่ายิ่ง ดิฉันจะไม่มีวันได้เข้าไปสัมผัสกับอุตสาหกรรมอย่างแท้จริงถ้าท่านไม่ได้เปิดทางให้ นอกจากนี้ยังมีทีมงานของบริษัทท่านอื่นๆ ที่ดิฉันไม่สามารถกล่าวถึงได้ทุกท่านแต่ความช่วยเหลือและคำแนะนำของท่านเป็นส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้ ด้านโปรแกรมและเทคนิคฮิวิสติกส์ได้รับความร่วมมือและความทุ่มเทในการทำงานจากนักศึกษาสองท่าน คือ แจ้ม และ แมน ท่านเหล่านี้เป็นกลไกที่สำคัญของความสำเร็จของงานวิจัยฉบับนี้

กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม

หัวหน้าโครงการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
ระเบียบวิธีวิจัย	8
ผลการวิจัย	17
ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	27
ภาคผนวกที่ 1	28
ภาคผนวกที่ 2	31
ภาคผนวกที่ 3	33
ภาคผนวกที่ 4	40

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การสูญเสียน้ำหนักอ้อย ร้อยละของผลผลิต และ รายได้เมื่อนำอ้อยเข้า หีบช้า (ตามระยะเวลาที่อ้อยถูกปล่อยค้างไม่ได้นำเข้าหีบ)	3
ตารางที่ 2 ขนาดพื้นที่ พันธุ์ และช่วงเวลาปลูกที่จะให้ผลผลิตน้ำตาลสูงสุดในวันที่เก็บเกี่ยว	18
ตารางที่ 3 สรุปพันธุ์ ช่วงเวลา และขนาดพื้นที่ที่ปลูกตามลักษณะที่ต่างๆ	20
ตารางที่ 4 ผลผลิตน้ำตาลโดยรวมจากการปลูกแบบสุ่มทั้งพันธุ์ เวลา และพื้นที่ปลูก	22

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ปริมาณอ้อยเข้าหีบ (ตั้งแต่)วันปี 2004/2005 ของโรงงานน้ำตาลสองแห่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2
ภาพที่ 2 อ้อยหลังเก็บเกี่ยวรอเข้าหีบหน้าโรงงานน้ำตาล	3
ภาพที่ 3 ผลผลิตน้ำตาลของสภาพภูมิอากาศแบบชัชภูมิและลักษณะดินเป็นดินทรายปลูกในช่วงต้นฝนที่จำลองได้จากโปรแกรม DSSAT (ให้ 1 ช่วงเวลาเท่ากับ 2 อาทิตย์)	10
ภาพที่ 4 ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยต้นฝนที่เป็นพันธุ์เบาปลูกต่างพื้นที่	11
ภาพที่ 5 ผลผลิตน้ำตาลตามของอ้อยพันธุ์เบาปลูกบนพื้นที่ชัชภูมิที่มีดินเป็นดินทราย	11
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของ Algorithm	14
ภาพที่ 7 ผลผลิตน้ำตาลโดยรวมตามเวลาที่เปิดหีบ	17
ภาพที่ 8 การสร้างฐานข้อมูลเพื่อการประยุกต์ใช้การจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน	23

การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการบริหารแบบห่วงโซ่อุปทานใน อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล

บทนำ

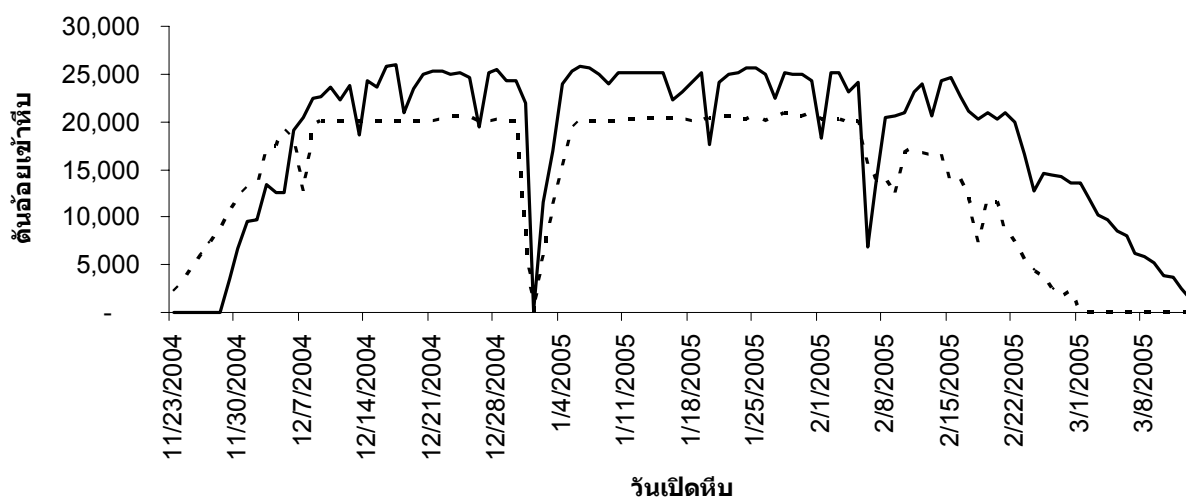
อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องกับอุตสาหกรรมอาหารซึ่งเป็นยุทธศาสตร์ของไทย และตัวอุตสาหกรรมเองก็มีศักยภาพที่สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก

เมื่อพิจารณาจากพื้นที่และผลผลิตอ้อยแล้ว พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มจาก 5.6 ล้านไร่ ในฤดูการผลิต 2542/43 เป็น 7.1 ล้านไร่ ในปี 2545/2546 และผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 53 ล้านตัน ในฤดูการผลิต 2542/43 เป็น 74 ล้านตัน ในปี 2545/2546 ถึงแม้ว่าปัจจุบันประเทศไทยจะเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ของอุตสาหกรรมนี้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการผลิตแล้ว ปริมาณผลผลิตต่อไร่ของไทยยังต่ำกว่าประเทศคู่แข่งที่สำคัญคือ บราซิลและออสเตรเลีย ดังนั้น การขยายตัวของผลผลิตอ้อยจึงเกิดจากการเพิ่มพื้นที่ปลูกเป็นสำคัญโดยเกิดจากประสิทธิภาพการผลิตเป็นส่วนน้อย อย่างไรก็ตาม การขยายตัวที่เกิดจากการเพิ่มพื้นที่การผลิตเพียงอย่างเดียวย่อมไม่ใช่วิธีการขยายตัวที่ยั่งยืน เพราะพื้นที่เพาะปลูกมีจำกัด ในที่สุดก็ต้องมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมากขึ้น

ประเทศผู้ส่งออกน้ำตาลต่างตระหนักถึงความสำคัญของการแข่งขันโดยการเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนที่ไม่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มเป็นปกติ จึงพยายามค้นคิดปรับปรุงเทคนิคการจัดการ เช่น การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ค่าความหวาน (Sugar content of cane, CCS) สูงสุด และผลผลิตน้ำตาลมากที่สุด ดังตัวอย่างงานวิจัยของ Jiao et al (2005), และ Higgins และ Muchow(2003) และนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆหลายชิ้นที่เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยปรับปรุงระบบโลจิสติกส์เพื่อประหยัดเวลาและต้นทุนการขนส่ง เพราะผลผลิตน้ำตาลจากอ้อยที่เก็บเกี่ยวแล้วเกินกว่า 15 ชั่วโมงจะต่ำกว่าผลผลิตน้ำตาลจากอ้อยที่เข้าหีบภายใน 15 ชั่วโมง (Higgins และ Davies, 2005) เช่นงานของ Semenzato, Lozano, และ Valero(1995), Hahn และ Ribeiro(1999) และ Higgins และ Davies(2005) อย่างไรก็ตาม การวางแผนการจัดการอ้อยและน้ำตาลแบบนี้มีอุปสรรคหลายอย่างด้วยกัน โดยเฉพาะอ้อยที่อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ เช่นเดียวกับอ้อยที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การปลูกอ้อยโดยอาศัยน้ำฝนธรรมชาติทำให้ไม่สามารถกำหนดวันปลูกได้อย่างแน่ชัด ช่วงเดือนที่ปลูกขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน นอกจากนี้ เกษตรกรส่วนใหญ่ยังเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่ให้ตามแบบเพื่อนเกษตรกรคนอื่นๆ เมื่อปลูกอ้อยพันธุ์เดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกันอ้อยก็จะสุกแก่พร้อมกัน เกษตรกรบางรายไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตก่อนที่อ้อยจะสุกเต็มที่เนื่องจากไม่สามารถจัดการระบบขนส่งได้เอง จึงต้องเก็บเกี่ยวพร้อมกับเกษตรกรรายอื่น (Chetthamrongchai, Auansakul and Supawan, 2001) ทำให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น สถานการณ์เหล่านี้ทำให้ปริมาณ

อ้อยที่ป้อนเข้าโรงงานมีความผันผวน โดยมีปริมาณอ้อยเข้าโรงงานมากเกินไปในช่วงกลางฤดูหีบอ้อย และน้อยเกินไปในช่วงต้นและปลายฤดู ภาพที่ 1 แสดงข้อมูลอ้อยเข้าหีบของโรงงานน้ำตาลสองแห่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะเห็นว่า ช่วงสามอาทิตย์แรกของต้นฤดูหีบอ้อย และช่วงเดือนสุดท้าย โรงงานน้ำตาลจะหีบอ้อยต่ำกว่ากำลังการผลิต เนื่องจากข้อมูลที่แสดงเป็นข้อมูลปริมาณการหีบอ้อยในแต่ละวันจึงไม่เห็นชัดว่าช่วงกลางฤดูหีบมีอ้อยเข้าหีบสูงกว่ากำลังการผลิต จนทำให้เกษตรกรต้องจอดรถบรรทุกอ้อยเข้าหีบหน้าโรงงานดังภาพที่ 2 แต่เมื่อสัมภาษณ์เกษตรกรและพนักงานโรงงาน พบว่า เกษตรกรจะต้องรอคิวเข้าหีบประมาณ 2-3 วัน เมื่อนับรวมเวลาตั้งแต่หลังตัด นำอ้อยขึ้นรถบรรทุก ขนส่งจากไร่อ้อยจนถึงโรงงาน จะคิดเป็นประมาณ 4-5 วัน

ภาพที่ 1 ปริมาณอ้อยเข้าหีบ (ต้นต่อ)วันปี 2004/2005 ของโรงงานน้ำตาลสองแห่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



การมีอ้อยเข้าหีบมากกว่ากำลังการผลิต ทำให้อ้อยที่เก็บเกี่ยวแล้วอาจต้องรอเข้าหีบถึง 72-96 ชั่วโมง นอกจากจะทำให้ต้นทุนค่าขนส่งของเกษตรกรสูงขึ้นจากการที่ต้องเช่ารถบรรทุกอ้อยเป็นเวลาหลายวัน หรือเสียโอกาสที่จะนำรถบรรทุกไปใช้งานอย่างอื่นแล้ว ยังทำให้ผลผลิตน้ำตาลที่ได้ต่ำลง ดังแสดงในตารางที่ 1 อ้อยที่ทิ้งไว้ 4 วัน หลังเก็บเกี่ยว น้ำหนักอ้อยจะลดลงประมาณร้อยละ 6 ของน้ำหนักทั้งหมด คิดเป็นรายได้ที่สูญเสีย 49.5 บาทต่อตันอ้อยสดส่วนในช่วงที่ปริมาณอ้อยต่ำกว่ากำลังการผลิตที่โรงงานจะรับได้ ก็จะทำให้เกิดต้นทุนและค่าเสียโอกาสในการเดินเครื่องจักรของโรงงาน

ภาพที่ 2 อ้อยหลังเก็บเกี่ยวรอเข้าหีบหน้าโรงงานน้ำตาล



ตารางที่ 1 การสูญเสียน้ำหนักอ้อย ร้อยละของผลผลิต และ รายได้เมื่อนำอ้อยเข้าหีบซ้ำ (ตามระยะเวลาที่อ้อยถูกปล่อยค้างไม่ได้นำเข้าหีบ)

วันที่ค้ำ	น้ำหนักอ้อยที่สูญเสียต่อตัน	ร้อยละที่สูญเสียต่อตัน	รายได้ที่สูญเสียต่อตัน ¹
1	0.01	1.43	11.43
2	0.03	2.86	22.86
3	0.04	4.29	34.29
4	0.06	6.19	49.52
5	0.08	7.62	60.95
6	0.10	10.00	80.00
7	0.11	11.43	91.43
8	0.13	12.86	102.86
9	0.15	15.24	121.90
10	0.17	17.14	137.14

¹ คำนวณจากราคาอ้อยขั้นต่ำที่ 800 บาทต่อตัน

Note: ข้อมูลดัดแปลงจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล

แนวทางแก้ไขปัญหาของการจัดการอ้อยเข้าหีบของผู้วิจัยคือการวางแผนคัดเลือกพันธุ์ และเวลาที่เหมาะสมในการปลูก พันธุ์อ้อยแต่ละพันธุ์มีระยะเวลาสุก การดูแล ความเหมาะสมกับ สภาพดินที่แตกต่างกัน จึงต้องเลือกใช้พันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพดินและการดูแลของเกษตรกร ใน ขณะเดียวกันต้องตอบสนองต่อแผนการผลิตของโรงงาน ซึ่งแนวคิดนี้จำเป็นต้องใช้เทคนิคทาง คณิตศาสตร์และการเก็บข้อมูลที่ดีเข้ามาช่วย การที่โรงงานน้ำตาลไม่สามารถจัดการอ้อยเข้าหีบได้ อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากจะส่งผลถึงต้นทุนที่สูงขึ้นจากการที่มีอ้อยเข้าหีบต่ำกว่ากำลังการผลิต การสูญเสียรายได้จากการตัดอ้อยในช่วงที่ ซี.ซี.เอส. และ ผลผลิตต่ำกว่าจุดสูงสุดแล้ว ยัง ส่งผลกระทบถึงการซื้อขายอ้อย และผลผลิตจากอ้อย เช่น กากน้ำตาล ซึ่งต้องทำสัญญาซื้อขาย ล่วงหน้า การปลูกอ้อยอย่างไม่มีแผนล่วงหน้าทำให้ฝ่ายขายของโรงงานน้ำตาลไม่สามารถ ประเมินการณ์ผลผลิตได้อย่างแม่นยำ และไม่สามารถทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้าได้ชัดเจน เพราะ เมื่อทำสัญญาแล้วไม่ส่งมอบสินค้าตามสัญญา ก็จะต้องเสียเงินค่าปรับให้กับคู่สัญญา

การคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าวมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง และได้มีผู้ศึกษาแนวทางนี้หลายงานด้วยกัน เช่น Gilbert et al. (2004) ทำการศึกษาพันธุ์อ้อย ต่างๆในมลรัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกา ผลปรากฏว่า ผลผลิตอ้อยในแต่ละพันธุ์สูงไม่เท่ากัน และ ให้ผลผลิตที่ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา โดย พันธุ์ CP 71-1133, CP 80-1743, และ CP88-1762 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่นๆในช่วงต้นฤดูหีบอ้อย พันธุ์ CP 78-1628, และ CP 84-1198 ให้ผลผลิต สูงกว่าพันธุ์อื่นๆในช่วงกลางฤดูหีบอ้อย พันธุ์ CP 72-1210, CP 72-2086, CP 80-1827, CP 88-1508 และ CP 80-2377 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่นๆในช่วงปลายฤดูหีบอ้อย ทั้งนี้เป็นเพราะ เมื่อ อ้อยมีช่วงอายุพักอยู่ในช่วงสุกแก่จะเปลี่ยนพลังงานที่สะสมในลำต้นไปสะสมที่เมล็ด ดังนั้น ในช่วง ระยะเวลาที่อ้อยจะเปลี่ยนแปลงน้ำตาลในลำต้นไปสะสมที่เมล็ดจึงเป็นช่วงที่อ้อยสะสม น้ำตาลและมีน้ำหนักของลำต้นสูงที่สุด ถ้าเก็บเกี่ยวอ้อยในระยะเวลานี้จะได้ผลผลิตที่เหมาะสม ที่สุด แต่ถ้าเกษตรกรเก็บเกี่ยวอ้อยก่อนระยะสุกแก่ อ้อยจะยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่คือน้ำหนักและ ปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ในทำนองกลับกันถ้าเก็บเกี่ยวหลังจากช่วงระยะสุกแก่นี้ไป อ้อยจะเปลี่ยนแปลงน้ำตาลที่สะสมไว้ในลำต้น ไปสะสมไว้ในเมล็ดเพื่อเป็นอาหารของเมล็ดพันธุ์ ต่อไป ดังนั้น ค่าความหวานของอ้อยจึงลดลงในช่วงนี้ และในอ้อยบางพันธุ์อาจมีน้ำหนักลดลงด้วย เพราะลำต้นจะกลวงเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำตาลในลำต้นไปเป็นสารอาหารสะสมที่เมล็ด ดังนั้น การ เก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละพันธุ์ให้เหมาะสมกับระยะสุกแก่จึงมีความสำคัญต่อผลผลิตและคุณภาพของ อ้อยมาก สำหรับงานวิจัยที่เปรียบเทียบความแตกต่างของผลผลิตอ้อยที่ปลูกในช่วงเวลาต่างกัน โดยใช้พันธุ์อ้อยไทย ได้แก่งานของ Jintrawet, Loahasiriwong, และ Lairuengroeng(2000) ซึ่ง แสดงให้เห็นว่า อ้อยพันธุ์อุทอง 2 และ K 84-200 ที่ปลูกเวลาต่างกันจะมีการเจริญเติบโตที่ต่างกัน จึงทำให้ผลผลิตอ้อย และน้ำตาลที่ได้แตกต่างกันด้วย

การจัดการวางแผนการผลิตร่วมกันดังกล่าวเรียกว่า การจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน เป็นอีกหนทางหนึ่งในการลดต้นทุนและเพิ่มผลิตภาพของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ซึ่งก็เป็นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ โดยประกอบด้วยวัตถุประสงค์ย่อย 3 ข้อดังต่อไปนี้

1. ศึกษาการนำฐานข้อมูลมาใช้ในการบริหารจัดการการผลิตอ้อยและน้ำตาลแบบห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management)
2. ศึกษาการสร้างแบบจำลองเชิงปริมาณเพื่อใช้ในการประเมินผลผลิตอ้อย
3. ศึกษาการนำการวิเคราะห์เชิงปริมาณมาใช้ในวางแผนเชิงบูรณาการในการผลิตอ้อยของชาวไร่และการผลิตน้ำตาลของโรงงาน

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างการแก้ไขปัญหาในประเทศผู้ผลิตอ้อยอื่นๆ เช่น ประเทศออสเตรเลียในอดีตใช้ระบบความเท่าเทียมกัน (equity) ในการแก้ปัญหาห่วงโซ่อุปทาน โดยโรงงานน้ำตาลและเกษตรกรทำความเข้าใจกันว่าถ้าจะเก็บเกี่ยวอ้อยช่วงใดจึงจะเกิดความเท่าเทียมกันในกลุ่มของเกษตรกร จึงได้ความตกลงเช่นนี้ทำให้ต้องมีการกำหนดสัดส่วนการเก็บเกี่ยวและช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่กระจายตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวอ้อย ระบบนี้จึงทำให้รายได้ของเกษตรกรแต่ละรายกระจายอย่างสม่ำเสมอในสัดส่วนที่เท่าเทียมกันตลอดฤดูกาล โดยไม่มีกลุ่มใดเก็บเกี่ยวได้ก่อนกลุ่มอื่นๆ ทำให้ไม่มีชาวไร่อ้อยคนใดคนหนึ่งต้องเสี่ยงกับความผันผวนของสภาพอากาศและปัจจัยที่ทำให้เกิดความผันผวนอื่นๆ แต่เพียงลำพัง ผลก็คือ ทุกๆ คนจะได้รับความเสี่ยงอย่างเท่าเทียมกัน แต่ผลกระทบทางอ้อมของระบบนี้คือการที่ชาวไร่อ้อยของออสเตรเลียไม่สามารถเก็บเกี่ยวอ้อยที่ผลผลิตและค่าซี.ซี.เอส. สูงสุดได้ (Higgins et al, 2004)

การจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการผลิตน้ำตาลนั้น ต้องมาจากการวางแผนร่วมกันระหว่าง ผู้ผลิตอ้อย ผู้ผลิตน้ำตาล และ ชาวไร่อ้อย Lisson et al (2005) ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าเราสามารถประมาณการณ์ผลผลิตอ้อยได้อย่างชัดเจน ชาวไร่ก็จะสามารถตัดสินใจเลือกการผลิตที่เหมาะสม เช่น เลือกพันธุ์ ไร่ปุ๋ย และวางแผนกระแสเงินสดได้ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังทำให้โรงงานเลือกเวลาเปิดหีบ และการจัดคิวเก็บเกี่ยวอ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฝ่ายการตลาดก็จะสามารถตั้งราคาได้อย่างเหมาะสมกับการแข่งขัน พร้อมทั้งสามารถวางแผนการจัดการโกดังสินค้า การส่งออกได้อย่างแม่นยำมากขึ้นซึ่งเท่ากับว่าเป็นการลดความเสี่ยงในธุรกิจ

งานวิจัยหลายงานได้นำหลักการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการผลิตอ้อยและน้ำตาล เช่น ในสมัยแรกๆ Whan, Scott และ Jefferson (1976) ได้ประยุกต์ใช้หลักการ Markov Process ในการจัดสรรพื้นที่ในการปลูกอ้อย เก็บเกี่ยว และพักดินของชาวไร่แต่ละคน โดยใช้การคำนวณหาจุดที่ได้ผลผลิตสูงที่สุด นอกจากนี้ พวกเขายังได้นำสมการการผลิตที่เป็นฟังก์ชันของอายุของอ้อย และช่วงเวลาที่เก็บเกี่ยวของปี ดังนี้

$$Y = A + 8.0 X - 0.09 X^2 - 0.02 - 0.0001 Z^2 + 0.12 XZ$$

โดยที่ให้ X เป็นอายุของอ้อย Z เป็นวันของปี Y เป็นผลผลิต A คือค่าเฉลี่ยของสมการถดถอย อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์แบบนี้ยังไม่ได้นำข้อจำกัดทางด้านกำลังผลิตของโรงงาน ลักษณะทางพันธุศาสตร์ ลักษณะทางกายภาพของแต่ละพื้นที่เข้ามาเกี่ยวข้องเพราะผลผลิตอ้อยที่ประมาณการณได้จากสมการ ขึ้นอยู่กับอายุของอ้อย และช่วงเวลาที่เก็บเกี่ยวเท่านั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาด้านการประมาณการณผลผลิตอ้อยโดยพิจารณาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ดังแสดงให้เห็นในงานของ Alvarez et al.(1982) ได้ใช้สมการถดถอยด้วยวิธี Ordinary Least Square ในการประมาณการณผลผลิตอ้อย โดยมีตัวแปรตามเป็นชนิดของดิน ความลึกของดิน ปริมาณปุ๋ยและสารเคมี พันธุ์ ระดับน้ำในดิน ปริมาณน้ำฝน วิธีเก็บเกี่ยว การพักดิน ระยะทางห่างจากแหล่งน้ำ ปีที่เก็บเกี่ยวหลังจากปลูก อย่างไรก็ตาม วิธี Ordinary Least Square แต่เพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถอธิบายการเจริญเติบโตของอ้อยที่ค่อนข้างซับซ้อนได้อย่างชัดเจน หลังจากนั้น นักวิจัยได้นำเทคนิคต่างๆเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว เช่น Lumsden et al. (2000) ใช้แบบจำลอง ACRU-Thompson ซึ่งนำปัจจัยทั้งจากดิน และ น้ำฝนธรรมชาติมาเป็นปัจจัยหลักในการประมาณการณผลผลิตอ้อย ในขณะนั้น แบบจำลองที่พิจารณาปัจจัยอื่นๆยังไม่พัฒนาเท่าที่ควรจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ผลการประเมินจากแบบจำลองจึงไม่มีความแม่นยำ เมื่องานวิจัยด้านการเจริญเติบโตของอ้อยถูกพัฒนามากขึ้น ความเข้าใจชีววิทยาของอ้อย และความเชื่อมโยงกับสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มขึ้น และความรู้นี้ก็ถูกนำไปสร้างเป็นแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยซึ่งก็เพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองขึ้นด้วยเช่นกัน

แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณการณผลผลิตโดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆทางพันธุศาสตร์ และการตอบสนองต่อลักษณะทางกายภาพของอ้อยได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยอาศัยความรู้ความเข้าใจ การพัฒนาการ(Phenology) ของอ้อย เช่น ความต้องการแสงแดด น้ำ และแร่ธาตุในดินของอ้อยในแต่ละช่วงอายุ อุณหภูมิสะสมที่อ้อยต้องการในแต่ละขั้นของการเจริญเติบโตของอ้อย ตลอดจนการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโตของรากและใบที่ส่งผลต่อการสะสมของน้ำตาลในลำต้นของอ้อย ในขณะนี้ แบบจำลองดังกล่าวได้ถูกพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำให้การประมาณการณทำได้รวดเร็วขึ้น เช่น โปรแกรม APSIM-Sugarcane ของประเทศออสเตรเลีย CANEGRO ของแอฟริกาใต้ และ QCANE ของประเทศออสเตรเลีย แม้แต่ในประเทศไทยก็มีการพัฒนาแบบจำลอง CANEGRO ให้เหมาะสมกับพันธุ์ของอ้อยในประเทศไทย ได้แก่โปรแกรม ThaiCane 1.0 ของ อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์ และ เฉลิมผล ไหลรุ่งเรือง (1997) ปัจจุบันแบบจำลองเหล่านี้ถูกใช้ในการวางแผนการผลิตของเกษตรกรเป็นหลัก เช่น เวลาที่ปลูก การบำรุงดิน การให้น้ำ เป็นต้น นักวิจัยต่างตระหนักดีถึงประโยชน์ของการใช้แบบจำลองดังกล่าวเพื่อการจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุตสาหกรรม เช่น การนำผลการประมาณการณมาใช้ในการกำหนดช่วงเวลาปิด/เปิดหีบของโรงงานน้ำตาล การทำสัญญาซื้อ/ขายล่วงหน้า การจัดการคลังสินค้า(Bezuidenhout and Sigels, 2006 และ Lumsden et al., 2000) แต่ก็ยังไม่มีงานวิจัยได้นำเสนอแนวทางประยุกต์ใช้ผลการจำลองอย่างเป็นรูปธรรม

งานวิจัยที่ได้นำเสนอแนวทางการใช้ข้อมูลการประมาณการณ์ผลผลิตเข้ามาใช้ในการจัดการระหว่างห่วงโซ่ของโรงงานน้ำตาลและชาวไร่อ้อยที่ค่อนข้างเด่นชัดได้แก่งานของ Higgins et al. (1998) ที่พัฒนาโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการกำลังการผลิตของโรงงานที่มีอยู่อย่างจำกัดโดยคำนึงถึงผลประโยชน์ของอุตสาหกรรมโดยรวมเป็นหลัก ในขั้นแรก Higgins et al. ได้นำสถิติผลผลิตของอ้อยจากพื้นที่ต่างๆโดยแบ่งแยกผลผลิตอ้อยเป็นกลุ่มๆตามเวลาเก็บเกี่ยวพื้นที่ พันธุ์ และปีที่ทำการปลูกของอ้อย (เช่น อ้อยปลูก อ้อยต่อที่1) แล้วจึงนำค่าผลตอบแทนที่แตกต่างกันนี้ ไปสร้างสมการวัตถุประสงค์เพื่อนำไปหาว่าจะต้องเก็บเกี่ยวอย่างไร พันธุ์ใดช่วงเวลาใดจึงจะได้ผลตอบแทนสูงสุดของอุตสาหกรรมโดยรวม(รายได้จากการผลิตอ้อยหักลบด้วยต้นทุนของชาวไร่และโรงงานน้ำตาล) ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ การใช้ข้อมูลผลตอบแทนตามผลผลิตที่แบ่งแยกไว้ดังกล่าวเป็นการสมมติว่าลักษณะผลตอบแทนในช่วงเวลาเดียวกัน และพื้นที่เดียวกันจะเท่ากัน หมายถึงแบบจำลองนี้ถูกสร้างขึ้นภายใต้สมมติฐานของการจัดการผลผลิต และสภาพอากาศที่เหมือนกันทุกปี ในความเป็นจริง สภาพอากาศในแต่ละปีมีความผันผวน เดือนกุมภาพันธ์นี้อาจจะมีสภาพอากาศไม่เหมือนกับเดือนกุมภาพันธ์ที่แล้ว ฝนอาจตกเร็วหรือช้าต่างกัน การใช้ข้อมูลผลผลิตอ้อยในแต่ละเดือนจึงอยู่ภายใต้สมมติฐานว่าสภาพอากาศในเดือนนั้นๆจะเหมือนกันทุกปี เช่น ผลผลิตในเดือนนี้ของปีที่แล้วจะเท่ากับผลผลิตในเดือนนี้ของปีนี้ การสมมติแบบนี้จึงเท่ากับไม่ได้นำสภาพอากาศมาพิจารณา ส่วนการนำค่าเฉลี่ยผลผลิตอ้อยของเขตพื้นที่ต่างๆ มาเปรียบเทียบกันเปรียบเสมือนกับเป็นการตั้งสมมติฐานว่าปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ผลผลิตแตกต่างกันในแต่ละเขต เช่น ปริมาณน้ำเริ่มต้นในดิน การจัดการไร่ ความสมบูรณ์ของดิน ฯลฯ เหมือนกันในทุกพื้นที่ เมื่อนำค่าผลผลิตที่ได้มาเฉลี่ยก็อาจจะทำให้เขตแต่ละเขตมีค่าผลผลิตที่แตกต่างกันไม่มากนัก เพราะพื้นที่ที่มีผลผลิตสูงจากปัจจัยดังกล่าวได้ถูกรวมกับพื้นที่ที่มีผลผลิตต่ำในเขตแล้วนำมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยที่อยู่ตรงกลางระหว่างค่าเหล่านี้ ค่าเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละเขตจึงไม่มีความแตกต่างกันมากนัก การตั้งสมมติฐานที่ค่อนข้างเข้มงวดแบบนี้ จึงอาจเป็นการละเลยปัจจัยที่สำคัญอื่นๆไป ข้อสังเกตอีกประการหนึ่ง คือ ข้อมูลผลผลิตที่ได้เป็นข้อมูลผลผลิตที่ได้จากการเก็บเกี่ยวจริง ซึ่งถ้าเกษตรกรไม่ได้เก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่เหมาะสมก็ทำให้ผลผลิตที่ได้ในแต่ละเดือนไม่สะท้อนให้เห็นการตอบสนองของอ้อยต่อสภาพอากาศในแต่ละเดือนอย่างแท้จริง

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดจากงานของ Higgins et al. โดยพยายามแก้ไขข้อจำกัดที่กล่าวมาเบื้องต้น ดังต่อไปนี้ คือ 1. ประยุกต์ใช้โปรแกรมการพัฒนาการของอ้อยของอ้อยซึ่งพิจารณาปัจจัยต่างๆที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของอ้อย เช่น ปริมาณน้ำ ลักษณะดิน การจัดการ/ดูแลไร่ เป็นต้น เป็นการลดสมมติฐานที่เข้มงวดของ Higgins et al. ซึ่งกำหนดให้ปัจจัยเหล่านี้คงที่ 2. แบบจำลองที่ใช้เป็นการประมวลข้อมูลแบบปีต่อปี เราสามารถนำการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นใหม่ในปัจจุบันเข้ามาใช้ในการวางแผนด้วย เช่น เกษตรกรเปลี่ยนแนวทางการจัดการแปลงปลูก การคาดการณ์สภาพอากาศที่เปลี่ยนไป เกษตรกรตัดสินใจเลิกปลูกอ้อยไปปลูกพืชอื่นแทน 3. ไม่จำกัดจำนวนปีที่ไว้ต่อของเกษตรกร กล่าวคือเกษตรกรสามารถเลือกที่จะไว้ต่อกี่ปีก็ได้

ตามความเหมาะสมก่อนที่จะมีการปลูกใหม่ ดังนั้น จึงสามารถนำข้อมูลพื้นที่ปัจจุบันของอ้อยแต่ละตอมาพิจารณาทุกครั้งที่มีการประมวลผล 4. กำหนดช่วงเวลาและพื้นที่ปลูกที่ให้ผลผลิตสูงสุด 5. ไม่นำข้อจำกัดทางด้านการขนส่งมาพิจารณาเพราะเป็นการตัดสินใจเบื้องต้นด้านการปลูก เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวจริงจึงนำข้อมูลด้านการจัดการขนส่งมาพิจารณาต่อไป

ระเบียบวิธีวิจัย

เนื่องจากสัมประสิทธิ์ของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยไทย เช่น การสะสมน้ำตาลของอ้อยในแต่ละพันธุ์ ข้อมูลอากาศ ข้อมูลดิน ลักษณะการจัดการของเกษตรกรแต่ละราย รวมถึงลักษณะทางภูมิศาสตร์ของแปลงแต่ละแปลงซึ่งต้องใช้ในการจำลองการเจริญเติบโต ยังไม่ได้ถูกพัฒนาอย่างเต็มที่ ดังนั้น เราจึงทำการจำลองสถานการณ์ขึ้นเพื่อจะนำผลการจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยจากโปรแกรม DSSAT มาทดลองคัดเลือกวันปลูก พันธุ์ที่ปลูก และช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่ให้ผลผลิตมากที่สุดภายใต้กำลังการผลิตของโรงงานที่มีอยู่อย่างจำกัด

โดยปกติ เกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะปลูกอ้อย 3 ช่วงเวลาด้วยกันคือ **อ้อยปลายฝน** ซึ่งปลูกภายหลังจากฝนตกในช่วงเดือนกันยายนจนถึงพฤศจิกายนในแต่ละปี จะมีปริมาณความชื้นในดินมากพอที่อ้อยจะงอกได้ ส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมปลูกอ้อยปลายฝนในพื้นที่ดินร่วนทราย เพราะสามารถรักษาความชื้นได้ยาวนาน **อ้อยต้นฝน** จะปลูกช่วงเดือนมีนาคมถึงต้นเดือนพฤษภาคม **อ้อยน้ำراد** เป็นการปลูกอ้อยโดยไม่คำนึงถึงสภาพน้ำฝน ในพื้นที่ที่สามารถให้น้ำได้จึงไม่มีปัญหาเรื่องความชื้นในดินที่เหมาะสมต่อการงอก เพราะภายหลังจากการปลูกจะมีการให้น้ำรดตามร่องอ้อยทันที อ้อยประเภทนี้นิยมปลูกในพื้นที่ที่เป็นดินเหนียวและอยู่ใกล้ชลประทาน โดยทั่วไปเริ่มปลูกช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคมหลังจากเก็บเกี่ยวเสร็จ เราจึงแบ่งการปลูกอ้อยออกเป็น 3 ช่วงดังกล่าว โดยสมมติให้เกษตรกรปลูกอ้อยต้นฝนเดือนเมษายน เริ่มปลูกอ้อยน้ำرادเดือนกุมภาพันธ์ และปลูกอ้อยปลายฝนเดือนตุลาคม

ส่วนการกระจายของข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เป็นข้อมูลที่นำมาจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยใช้ข้อมูลของสถานีขอนแก่นรหัสสถานี 381301, เลย รหัสสถานี 353301, และ ชัยภูมิ รหัสสถานี 403201² ส่วนข้อมูลอื่นๆ เช่น จำนวนชั่วโมงของแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน ความเร็วลม ฯลฯ ถูกประเมินจากที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ เส้นรุ้ง และเส้นแวงของสถานีอากาศโดยโปรแกรม Weatherman หนึ่งในโปรแกรมย่อยของ DSSAT และสมมติให้แต่ละสภาพภูมิอากาศมีทั้งดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) และดินทราย (Loamy Sand) ดังนั้น เราจะได้พื้นที่ที่มีความแตกต่างกันทั้งหมด 6 พื้นที่

² ดูรายละเอียดของข้อมูลในภาคผนวกที่ 1

สำหรับพันธุ์อ้อยที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ เราใช้ 4 พันธุ์ด้วยกัน โดยสามพันธุ์แรกเป็นพันธุ์ที่จำลองจากพันธุ์อ้อยของประเทศไทยแบ่งตามช่วงเวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว และเวลาในการสะสมน้ำตาลออกเป็น พันธุ์เบา (7-9 เดือน) พันธุ์หนัก (11-13 เดือน) และพันธุ์กลาง (9-11 เดือน) ดังนั้น เราจึงใช้สัมประสิทธิ์พันธุกรรมของพันธุ์อ้อยที่มีอยู่ในโปรแกรม DSSAT ได้แก่ พันธุ์ NCo376, N14, และ GEOFF'S FAV โดยดัดแปลงอุณหภูมิสะสมของอ้อยเริ่มงอกจนถึงอ้อยสุกเต็มที่³ ของอ้อยทั้งสามพันธุ์ให้สอดคล้องกับพันธุ์เบา พันธุ์หนัก และพันธุ์กลางของไทย ดังนี้ ให้ NCo376 เป็นพันธุ์หนักมีอุณหภูมิสะสมดังกล่าวเท่ากับ 8500 องศาเซลเซียส N14 เป็นพันธุ์กลางมีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 7000 องศาเซลเซียส และ GEOFF'S FAV เป็น พันธุ์เบามีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 6500 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ยังได้เพิ่มสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของพันธุ์อ้อยทอง 2 และ K200 จากงานวิจัยของ อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์ และ เฉลิมผล ไหลรุ่งเรือง (1997)⁴ อีกหนึ่งพันธุ์ รวมพันธุ์ทั้งหมดที่ใช้เป็น 4 พันธุ์

ด้านการจัดการ เริ่มจากการไถ ผู้วิจัยทำการจำลองการจัดการให้ใกล้เคียงกับการจัดการของเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งปกติเกษตรกรจะทำการไถเตรียมดิน 3 ครั้ง ไถครั้งแรกก่อนปลูก 2 อาทิตย์ ไถครั้งที่สองก่อนปลูก 1 อาทิตย์ และไถครั้งที่ 3 คือไถยกร่องซึ่งเป็นการไถพร้อมปลูก ใส่ปุ๋ยทั้งหมด 2 ครั้ง ครั้งแรกให้พร้อมปลูก และครั้งที่สองใส่หลังจากปลูกแล้วหนึ่งเดือน การให้น้ำในอ้อยน้ำราดจะให้ก่อนปลูก 15 วัน และ หลังปลูก 10 วัน การปลูกอ้อยทำโดยใช้ท่อนพันธุ์ โดยสารเคมีกำจัดวัชพืชในระหว่างปลูก และเมื่ออ้อยยังขนาดเล็ก อายุประมาณ 1 เดือน สถานการณ์ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ถูกตั้งค่าตัวแปรโดยใช้โปรแกรม XBuild ที่เป็นส่วนหนึ่งของ DSSAT จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม CANEGRO⁵ ที่เป็นเสมือนเครื่องจักรเบื้องหลังการจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยที่ได้จากโปรแกรม DSSAT

เนื่องจากที่ผ่านมา โปรแกรม DSSAT ถูกประยุกต์ใช้เพื่อประมาณการณ์การเจริญเติบโตของพืชจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่ ผู้ใช้นำผลที่ได้จากการจำลองไปใช้ในการจัดการไร่ แต่ไม่ได้นำมาจัดการอุตสาหกรรมทั้งระบบ ดังนั้น DSSAT จึงจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยจากช่วงเริ่มปลูกจนถึงเมื่ออ้อยเจริญเติบโตเต็มที่เท่านั้น โดยไม่ได้จำลองการเจริญเติบโตที่ลดลงหลังจากช่วงผลผลิตสูงสุด ภายใต้สมมติฐานว่าเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวในขณะที่ผลผลิตสูงสุด แต่ในการเลือกพันธุ์ที่ปลูก ตลอดจนเวลาในการเก็บเกี่ยว และเวลาในการเปิดหีบเพื่อทำให้อุตสาหกรรมโดยรวมได้ผลผลิตสูงสุดภายใต้ข้อจำกัดของพื้นที่และกำลังการผลิต เกษตรกรบางรายจะเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่ผลผลิตของตนสูงที่สุด แต่บางรายจะเก็บเกี่ยวที่ใกล้จุดสูงสุดมากที่สุดตามแต่ข้อจำกัด

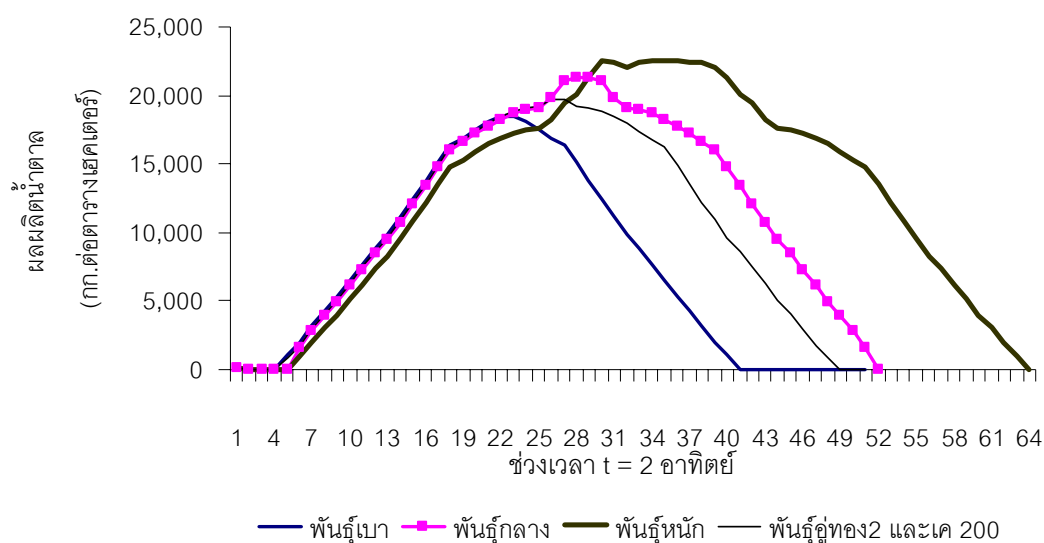
³ อุณหภูมิสะสมในส่วนนี้คำนวณจากอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละวัน

⁴ คู่มือละเอียดสัมประสิทธิ์พันธุกรรมจากภาคผนวกที่ 2

⁵ DSSAT รุ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้จำลองการเจริญเติบโตของอ้อยโดยใช้ CANEGRO 3.5

จะอำนวยความสะดวก ดังนั้น เราจะต้องทราบการเจริญเติบโตหลังจากช่วงผลผลิตสูงสุด เพื่อที่จะคัดเลือกค่าที่ใกล้เคียงกับจุดสูงสุดได้ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ในที่นี้ เราจึงสมมติให้ลักษณะการเจริญเติบโตในส่วนนี้ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปตามแบบการเพิ่มขึ้นของช่วงก่อนการเจริญเติบโตเต็มที่ สมมติว่า อ้อยให้ผลผลิตสูงสุดที่เวลา t ดังนั้น ช่วงเวลาหลังการเจริญเติบโตสูงสุด 1 ช่วงคือ $t+1$ ผลผลิตจะเท่ากับผลผลิตที่ช่วงเวลาก่อนผลผลิตสูงสุด 1 ช่วงคือ $t-1$ และ ช่วงเวลาหลังการเจริญเติบโตสูงสุด 2 ช่วงคือ $t+2$ ผลผลิตจะเท่ากับผลผลิตที่ช่วงเวลาก่อนผลผลิตสูงสุด 2 ช่วงคือ $t-2$ เราทำการสมมติปริมาณผลผลิตของอ้อยหลังการเจริญเติบโตสูงสุดเช่นนี้ไปเรื่อยจนผลผลิตกับมูลค่าเริ่มต้นคือเท่ากับศูนย์ ดังนั้น รูปร่างของกราฟของผลผลิตอ้อยตามช่วงเวลาต่างๆทางด้านขวามือจึงเป็นเสมือนกระจกเงาของทางด้านซ้าย ตัวอย่างของผลผลิตที่ได้จากการจำลองดังแสดงในภาพที่ 3 (ดูรายละเอียดผลการจำลอง ผลผลิตอ้อยในภาคผนวกที่ 3)

ภาพที่ 3 ผลผลิตน้ำตาลของสภาพภูมิอากาศแบบซัยภูมิและลักษณะดินเป็นดินทรายปลูกในช่วงต้นฝนที่จำลองได้จากโปรแกรม DSSAT (ให้ 1 ช่วงเวลาเท่ากับ 2 อาทิตย์)

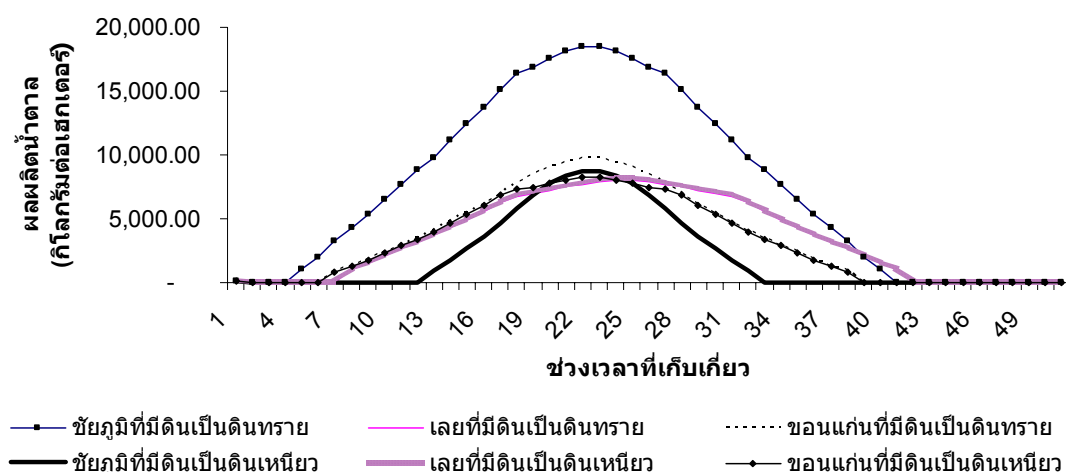


จะเห็นว่า ผลผลิตสูงสุดของอ้อยพันธุ์เบาที่ได้จากการจำลองการปลูกในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบซัยภูมิ มีลักษณะดินเป็นดินทราย และปลูกในช่วงต้นฝน คือผลผลิตของอาทิตย์ที่ 44 ของการปลูก พันธุ์อุ้งทองและเค 200 อาทิตย์ที่ 50 พันธุ์กลางอาทิตย์ที่ 54 และพันธุ์หนักอาทิตย์ที่ 66 ฟังสังเกตว่า ในช่วง $t = 22$ ถึง $t = 30$ เส้นกราฟทั้งสี่จะตัดกัน อธิบายได้ว่า ถ้าต้องเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยก่อนอาทิตย์ที่ 46 ไม่ควรเก็บเกี่ยวพันธุ์หนักเพราะเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆ ถ้าต้องเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยที่อาทิตย์ที่ 50 ควรเก็บเกี่ยวพันธุ์อุ้งทองและเค 200 ในช่วงนี้พันธุ์กลางและพันธุ์อุ้งทองและเค 200 ให้ผลผลิตที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ถ้าเก็บเกี่ยวพันธุ์กลางที่อาทิตย์ที่ 50 ซึ่งจะให้ผลผลิตสูงสุดในช่วงอาทิตย์ที่ 54 ก็จะทำให้เสียโอกาสที่จะเก็บเกี่ยวที่ผลผลิตสูงสุดของ

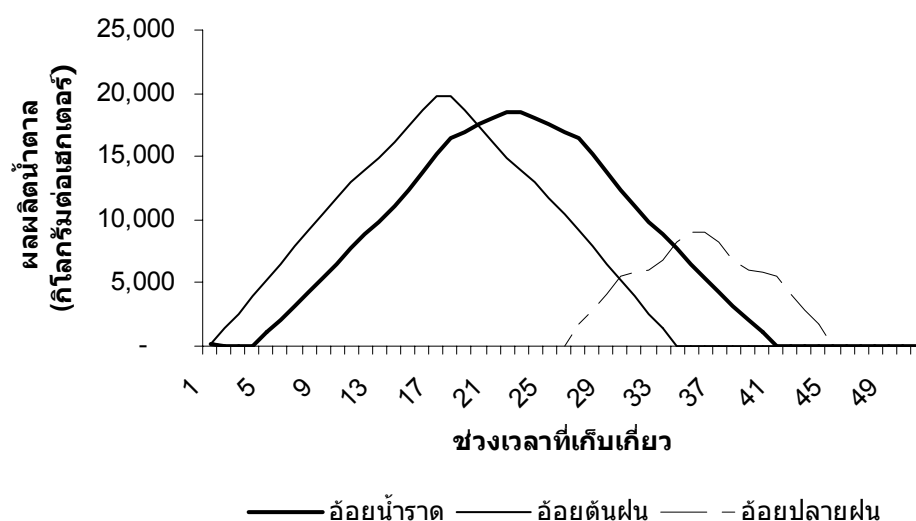
พันธุ์นี้ ถ้าต้องเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยที่อาทิตย์ที่ 54 ควรเก็บเกี่ยวพันธุ์กลาง และอาทิตย์หลังจากนั้น พันธุ์หนักจะเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ถึงแม้ว่าผลผลิตดังภาพที่ 3 จะได้มาจาก สมมติฐานหลายอย่างด้วยกัน แต่ก็แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นของการคาดการณ์ผลผลิตอ้อย ตลอดจนการวางแผนการผลิตและการเก็บเกี่ยว ซึ่งถ้าเลือกเก็บเกี่ยวไม่ถูกต้องก็จะทำให้ผลผลิต ต่อไร่ที่เก็บเกี่ยวได้ต่ำกว่าผลผลิตที่ศักยภาพพันธุ์

สำหรับพันธุ์เดียวกันปลูกในเขตพื้นที่ที่มีภูมิอากาศ และลักษณะดินที่ต่างกันก็จะทำให้ ได้ผลผลิตต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกับอ้อยที่ปลูกต่างช่วงเวลากันดัง แสดงในภาพที่ 4 และ 5

ภาพที่ 4 ผลผลิตน้ำตาลของอ้อยต้นฝนที่เป็นพันธุ์เบาปลูกต่างพื้นที่



ภาพที่ 5 ผลผลิตน้ำตาลตามของอ้อยพันธุ์เบาปลูกบนพื้นที่ขั้วภูมิที่มีดินเป็นดินทราย



เมื่อทำการคำนวณผลผลิตน้ำตาลได้แล้ว จึงนำผลที่ได้มาคำนวณหาว่าเกษตรกรในพื้นที่แต่ละแห่งควรจะปลูกอ้อยพันธุ์ใด และช่วงเวลาใด ส่วนโรงงานน้ำตาลควรจะเปิดหีบช่วงใด โดยใช้เทคนิค Heuristic ดังต่อไปนี้

ให้สมการวัตถุประสงค์เป็นการคำนวณหาจุดที่จะทำให้ผลิตน้ำตาลได้มากที่สุดภายใต้ข้อจำกัดของพื้นที่ และ กำลังการผลิตของโรงงาน จากพื้นที่ 6 พื้นที่ดังกล่าว

$$\text{Maximize } Z = \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^3 Q_{ijkt} A_{ijkt} B_s$$

โดยให้ Z เป็นผลรวมของผลผลิตน้ำตาลตลอดฤดูหีบ, Q_{ijkt} เป็นผลผลิตน้ำตาลของอ้อยที่ปลูกเวลา i พื้นที่ j ด้วยพันธุ์ k เก็บเกี่ยวเวลาที่ t , A_{ijkt} เป็นพื้นที่ของอ้อยที่ปลูกเวลา i พื้นที่ j ด้วยพันธุ์ k เก็บเกี่ยวเวลาที่ t และ B_s มีค่าเป็น 0 หรือ 1 แทนช่วงเวลาการเปิดหีบ ถ้า B_s มีค่าเป็น 0 แสดงว่าไม่ได้ทำการเปิดหีบในเวลานั้น ถ้า B_s เท่ากับ 1 แสดงว่าอยู่ในช่วงเปิดหีบ

เซต I แทน ช่วงเวลาปลูกอ้อย ต้นฝน น้ำราด และ ปลายฝน ให้ $i \in I$ ดังนั้น i จึงมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 3 และให้ 1 แทน อ้อยต้นฝน 2 แทนอ้อยน้ำราด และ 3 แทนอ้อยปลายฝน

เซต J แทน ลักษณะภูมิอากาศ และลักษณะดิน ให้ $j \in J$ และ j มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 6 โดยที่ j เท่ากับ 1 แทนภูมิอากาศแบบชัชภูมิที่มีดินเป็นดินทราย 2 แทนภูมิอากาศแบบเลยที่มีดินเป็นดินทราย 3 แทนภูมิอากาศแบบขอนแก่นที่มีดินเป็นดินทราย 4 แทนภูมิอากาศแบบชัชภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว 5 แทนภูมิอากาศแบบเลยที่มีดินเป็นดินเหนียว 6 แทนภูมิอากาศแบบขอนแก่นที่มีดินเป็นดินเหนียว

เซต K แทนพันธุ์ที่ใช้ และ $k \in K$ ในงานวิจัยนี้มีพันธุ์ทั้ง 4 พันธุ์ ให้ k เท่ากับ 1 แทนพันธุ์ที่จำลองมาจากพันธุ์เบา ให้ 2 แทนพันธุ์ที่จำลองมาจากพันธุ์กลาง 3 แทนพันธุ์ที่จำลองมาจากพันธุ์หนักและ 4 แทนพันธุ์อุทอง 2 และ เค 200

เซต T แทนช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ให้ $t \in T$

เซต S แทนช่วงเวลาในการเปิดหีบ ให้ $s \in S$

โดยมีข้อจำกัดต่างๆดังต่อไปนี้

1. ผลรวมของพื้นที่ปลูกอ้อยในช่วงเวลาต่างๆและพันธุ์ต่างๆ รวมกันแล้วต้องไม่มากกว่าพื้นที่ j ที่กำหนดให้

$$\sum_{t=1}^n \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^3 A_{ijkt} \leq L_j, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T, s \in S$$

เนื่องจากข้อจำกัดของรายละเอียดข้อมูลดินและสภาพภูมิอากาศของอ้อยแต่ละแปลง ผู้วิจัยจึงกำหนดค่าเบื้องต้น ดังนี้ จากพื้นที่รวมปลูกอ้อยทั้งหมดของเขตปลูกอ้อยที่ส่งโรงงานน้ำตาล

มิตรภูเวียง 3 แสนไร่ สมมติให้ เขตทั้ง 6 มีพื้นที่เท่ากันคือ 5 หมื่นไร่ ดังนั้น ค่า L_j จึงเท่ากับ 8 พันเฮกเตอร์⁶

2. ผลรวมของอ้อยส่งเข้าหีบจะต้องไม่มากกว่ากำลังการผลิตของโรงงาน

$$\sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^3 Q_{ijkt} A_{ijkt} \leq CAP_t, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, t \in T, s \in S$$

กำลังการผลิตของโรงงานน้ำตาลคิดเป็นตันอ้อยสด โดยเฉลี่ย อ้อย 1 ตันจะผลิตเป็นน้ำตาลได้ 117 กิโลกรัม ดังนั้น กำลังการผลิตของโรงงานที่ 22,000 ตันอ้อยสดต่อวัน จึงคิดเป็นประมาณ 2,574,000 กิโลกรัมของน้ำตาลดิบต่อวัน หรือ 36,036,000 กิโลกรัมของน้ำตาลดิบต่อสองอาทิตย์

3. นักวิจัยได้เพิ่มข้อจำกัดที่จะทำให้พื้นที่ปลูกอ้อยจะต้องมีค่าบวกเท่านั้น ดังต่อไปนี้

$$A_{ijkt} \geq 0, \quad i \in I, j \in J, k \in K, t \in T, s \in S$$

4. ส่วนการเลือกเปิดหีบจะเลือกเปิดช่วงเวลาเดียวในหนึ่งปีเท่านั้น คือ

$$\sum_{s=1}^n B_s = 1, \quad \forall s \in S$$

เมื่อ B_s มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ดังนั้น จะมีเพียงค่าเดียวเท่านั้นที่ถูกเลือกซึ่งเป็นช่วงเวลา s ที่ให้ผลผลิตน้ำตาลสูงสุดค่า B_s เท่ากับ 1

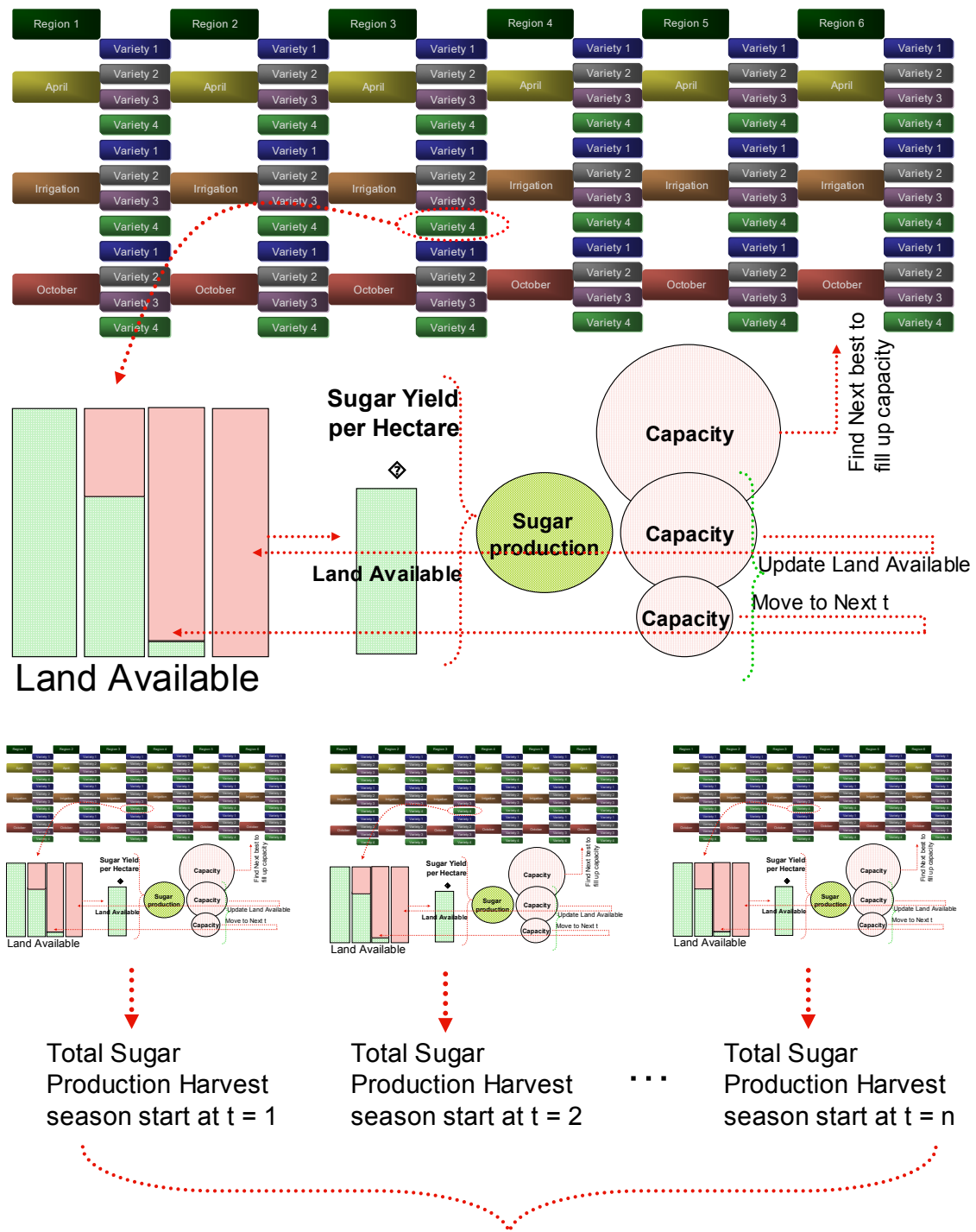
และให้การเก็บเกี่ยวดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าเสร็จสิ้น

Algorithm ของ การหาจุดสูงสุดดังแสดงในภาพที่ 6 เริ่มจาก

1. เริ่มจากที่ $s = 1$ หมายถึงฤดูเก็บเกี่ยวเริ่มต้นที่ $t = 1$ Algorithm จะเริ่มค้นหาพื้นที่ k พื้นที่ j เวลาปลูก i ที่ให้ผลผลิตสูงสุด ณ $t = 1$
2. เมื่อค้นพบแล้ว จึงตรวจสอบว่ามีพื้นที่ j ดังที่คัดเลือกได้ในขั้นตอนที่ 1 อยู่หรือไม่ ถ้าไม่มี ก็จะทำการค้นหาผลผลิตที่ดีที่สุดลำดับรองลงมา ถ้ายังมีพื้นที่อยู่ที่จะปลูกอ้อย โปรแกรมก็จะนำผลผลิตต่อเฮกเตอร์มาคูณกับจำนวนไร่ที่อยู่ทั้งหมด ได้เป็นผลผลิตรวม

⁶ คำนวณจาก 1 ไร่ เท่ากับ 0.16 เฮกเตอร์

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของ Algorithm



Select starting time which give optimal total sugar production

3. นำผลผลิตรวมไปเปรียบเทียบกับกำลังการผลิต ถ้าผลผลิตรวมมากกว่ากำลังการผลิตก็จะทำการตัดเฉพาะพื้นที่ที่ให้ผลผลิตน้อยเท่ากับกำลังการผลิตพอดีออกไป แล้วเก็บพื้นที่ที่เหลือไว้ปลูกในรอบต่อไป แต่หากผลผลิตรวมน้อยกว่ากำลังการผลิต โปรแกรมจะทำการค้นหาผลผลิตที่ดีที่สุดลำดับต่อมาแล้วเป็นการทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 เรื่อยมา จนกว่าจะได้ผลผลิตที่เต็มกำลังการผลิต
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 เรื่อยไปจนกว่าพื้นที่ปลูกจะหมด หรือ $t = n$ แล้วจึงทำการคำนวณผลผลิตน้ำตาลทั้งหมดตั้งแต่ต้นฤดูเก็บเกี่ยวจนถึงสิ้นสุดฤดู เสร็จสิ้นการทำงานในรอบที่ $s = 1$
5. เริ่มฤดูการปลูกใหม่ ($s = 2$) ซึ่งช้ากว่าฤดูการเก็บเกี่ยวแรกไป 1 คาบและในรอบใหม่นี้ให้เริ่มฤดูเก็บเกี่ยวที่ $t = 2$ จากนั้นทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 แล้วจึงเริ่มฤดูเก็บเกี่ยวใหม่ไปเรื่อยๆจน $s = n$

Algorithm ดังกล่าวมี Pseudo code form ดังต่อไปนี้

Algorithm

SET each land = Maximum of land

SET capacity for each time period equal to its maximum capacity

FOR each starting harvesting season date

FOR each harvesting time

DO

FOR each region

FOR each variety

FOR each planting period

Obtain 'Current_Solution' from result of DSSAT

IF Current_Solution is an improvement over Best_Solution

check if solution is feasible (there is some land available

for growing sugarcane and there is some capacity left to

be filled up) THEN Best_Solution = Current_Solution

ENDIF

REPEAT

REPEAT

REPEAT

Calculate sugar_produced which will be produced by land
 available
 IF sugar_produced is less than capacity THEN
 UPDATE capacity that needed to be filled
 SET land available to grow next t equal to 0
 ELSEIF sugar_produced is greater than capacity THEN
 calculate land available for next t and set capacity that needed to
 be filled equal to 0
 UNTIL land_available = 0 or capacity_be_filled = 0
 RESET capacity and capacity_be_filled to initial value
 UPDATE total_sugar_accumulate
 REPEAT
 RESET total_sugar_accumulate = 0 and land_available to its maximum initial value
 REPEAT

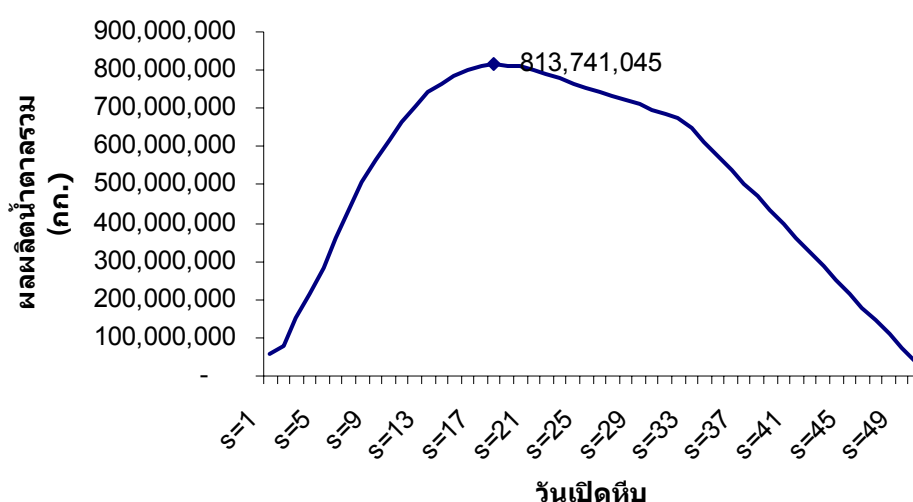
โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาจุดสูงสุดคือ โปรแกรม Visual Basic ที่ทำงานบน
 โปรแกรม Excel⁷

⁷ ดูรายละเอียดโปรแกรมในภาคผนวกที่ 4

ผลการวิจัย

เมื่อใช้ Algorithm คัดเลือกช่วงเปิดหีบที่จะทำให้ปริมาณน้ำตาลสูงสุด พบว่า ถ้าเปิดหีบช่วงวันที่ 6 มกราคม จะทำให้ได้ผลผลิตน้ำตาลสูง คิดเป็นผลผลิตน้ำตาลรวม 810.7 ล้านกิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 7 ขนาดของโรงงานที่มีกำลังการหีบอ้อยสด 22,000 ตันต่อวัน และมีพื้นที่ส่งเสริม 48,000 เฮกเตอร์ จะเห็นว่าถ้าเปิดหีบในช่วงอื่นผลผลิตที่ได้จะต่ำกว่าจุดสูงสุด และอาจเกิดปัญหาเรื่องการรอคิวเข้าหีบซึ่งจะทำให้สูญเสียผลผลิตอ้อยบางส่วนไปในระหว่างรอหีบ นอกจากนี้ ยังอาจทำให้โรงงานน้ำตาลผลิตต่ำกว่ากำลังการผลิตเท่ากับทำให้ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยน้ำตาลที่ผลิตสูงขึ้นด้วย

ภาพที่ 7 ผลผลิตน้ำตาลโดยรวมตามเวลาที่เปิดหีบ



ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นรายละเอียดของผลการจำลองสถานการณ์ซึ่ง Algorithm บ่งบอกว่าพื้นที่(สถานี) ได ควรปลูกพันธุ์ใด ช่วงเวลาใด และควรทำการเก็บเกี่ยวเมื่อใดจึงจะเหมาะสมกับกำลังการผลิตของโรงงาน ดังตัวอย่าง เช่น ในวันที่ 6 มกราคม ควรเก็บเกี่ยวพันธุ์ อู๋ทองและเค 200 ที่ปลูกช่วงเดือนกุมภาพันธ์แบบอ้อยน้ำราด บนพื้นที่ของจังหวัดชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียวโดยพื้นที่เก็บเกี่ยวมีขนาดเท่ากับ 1,582 เฮกเตอร์ และในวันที่ 16 มีนาคม ควรเก็บเกี่ยวพันธุ์กลางที่ปลูกช่วงเดือนกุมภาพันธ์แบบอ้อยน้ำราด บนพื้นที่ของจังหวัดชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว 618 เฮกเตอร์ และบนพื้นที่ของจังหวัดชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย 810 เฮกเตอร์

ตารางที่ 2 ขนาดพื้นที่ พันธุ์ และช่วงเวลาปลูกที่จะให้ผลผลิตน้ำตาลสูงที่สุดในวันที่เก็บ
เกี่ยวดังระบุไว้ในตาราง

วันที่เก็บ เกี่ยว	พื้นที่ปลูก (Hectare)	พันธุ์	ช่วงปลูก	สถานี
6-Jan	1,582.0	อู่ทอง&เค200	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว
20-Jan	1,510.0	อู่ทอง&เค200	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว
3-Feb	1,458.0	อู่ทอง&เค200	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว
17-Feb	1,416.0	อู่ทอง&เค200	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว
2-Mar	1,416.0	อู่ทอง&เค200	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว
16-Mar	618.0	พันธุ์กลาง	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว
	810.0	พันธุ์กลาง	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย
30-Mar	1,443.0	พันธุ์กลาง	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย
13-Apr	1,443.0	พันธุ์กลาง	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย
27-Apr	1,417.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย
11-May	1,381.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย
25-May	1,338.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย
8-Jun	168.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย
	2,178.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินทราย
22-Jun	2,476.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินทราย

ตารางที่ 2 ขนาดพื้นที่ พันธุ์ และช่วงเวลาปลูกที่จะให้ผลผลิตน้ำตาลสูงสุดในวันที่เก็บ
เกี่ยวดังระบุไว้ในตาราง (ต่อ)

วันที่เก็บเกี่ยว	พื้นที่ปลูก (Hectare)	พันธุ์	ช่วงปลูก	สถานี
6-Jul	2,492.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินทราย
20-Jul	854.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินทราย
	1,705.6	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	เลยที่มีดินเป็นดินเหนียว
3-Aug	2,591.4	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	เลยที่มีดินเป็นดินเหนียว
17-Aug	2,601.5	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	เลยที่มีดินเป็นดินเหนียว
31-Aug	1,101.4	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	เลยที่มีดินเป็นดินเหนียว
	1,574.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	เลยที่มีดินเป็นดินทราย
14-Sep	2,770.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	เลยที่มีดินเป็นดินทราย
28-Sep	2,882.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	เลยที่มีดินเป็นดินทราย
12-Oct	774.0	พันธุ์หนัก	อ้อยต้นฝนเดือนเมษายน	เลยที่มีดินเป็นดินทราย
	2,491.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินเหนียว
26-Oct	3,442.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินเหนียว
9-Nov	2,067.0	พันธุ์หนัก	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์	ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินเหนียว

จากตารางการเก็บเกี่ยวข้างต้นทำให้โรงงานและเกษตรกรสามารถวางแผนการปลูกอ้อยได้ดังตารางที่ 3 พื้นที่ของจังหวัดชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทรายควรปลูก อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์ ที่เป็นพันธุ์กลาง 3,696.0 เฮกเตอร์ และ พันธุ์หนัก 4,304.0 เฮกเตอร์ พื้นที่ของจังหวัดเลยที่มีดินเป็นดินทรายควรปลูกพันธุ์หนัก ที่เป็นอ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์ 7,226.0 เฮกเตอร์ อ้อยต้นฝนเดือน

เมษายน 774.0 เฮกเตอร์ ส่วนพื้นที่จังหวัดขอนแก่นที่มีดินเป็นดินทรายและดินเหนียว และจังหวัดเลยที่มีดินเป็นดินเหนียว ควรปลูกอ้อยพันธุ์หนัก ที่เป็นอ้อยน้ำราดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ทั้ง 8,000 เฮกเตอร์ พื้นที่จังหวัดชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว ควรปลูกอ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์ ด้วยพันธุ์อุทองและเค200 ขนาดพื้นที่ 7,382.0 เฮกเตอร์ และพันธุ์กลาง ขนาดพื้นที่ 618.0 เฮกเตอร์

ตารางที่ 3 สรุปพันธุ์ ช่วงเวลา และขนาดพื้นที่ที่ปลูกตามลักษณะที่ต่างๆ

สถานี	พันธุ์	ขนาดพื้นที่ (เฮกเตอร์)	ช่วงเวลาที่ปลูก
ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย	พันธุ์กลาง	3,696.0	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์
	พันธุ์หนัก	4,304.0	
รวม		8,000.0	
เลยที่มีดินเป็นดินทราย	พันธุ์หนัก	7,226.0	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์
	พันธุ์หนัก	774.0	อ้อยต้นฝนเดือนเมษายน
รวม		8,000.0	
ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินทราย	พันธุ์หนัก	8,000.0	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์
ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว	อุทอง&เค200	7,382.0	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์
	พันธุ์กลาง	618.0	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์
รวม		8,000.0	
เลยที่มีดินเป็นดินเหนียว	พันธุ์หนัก	8,000.0	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์
ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินเหนียว	พันธุ์หนัก	8,000.0	อ้อยน้ำราดเดือนกุมภาพันธ์

เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่า Algorithm ให้ผลการวางแผนการผลิตที่ดีกว่า การวางแผนการดำเนินการแบบเดิมที่เกษตรกรและโรงงานต่างดำเนินการผลิตแยกกัน เราจึงสร้างสถานการณ์ขึ้นมาอีกสถานการณ์หนึ่งโดยสมมติให้ เกษตรกรเลือกพันธุ์และเวลาปลูกตามที่ความพอใจของตน สถานการณ์ถูกสร้างขึ้นจากการใช้ฟังก์ชัน RAND() ที่มีอยู่ในโปรแกรม Excel สุ่มพันธุ์ที่ปลูก ช่วงเวลาที่ปลูก และขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการปลูก ภายใต้ข้อกำหนดเดิม คือ พื้นที่รวมของแต่ละสถานีจะต้องเท่ากับ 8,000 เฮกเตอร์ และกำลังการผลิตของเท่ากับที่กำหนดไว้เบื้องต้น ทั้งนี้ สมมติให้เกษตรกรมีพฤติกรรมมุ่งหวังกำไรสูงสุด จึงเลือกเก็บเกี่ยวในวันที่ตนจะได้รับผลผลิตสูงสุดที่สุด ผลของการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 25 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ผลผลิตที่ได้ทุกๆ

ครั้งต่ำกว่าการใช้ Algorithm เบื้องต้น โดยมีค่าเฉลี่ยของผลผลิตน้ำตาลอยู่ที่ประมาณ 570 ล้าน กิโลกรัม ต่ำกว่าการใช้ Algorithm อยู่ 243 ล้านกิโลกรัม และนอกจากนี้ สถานการณ์จำลองที่ เกษตรกรไม่ได้วางแผนการผลิตร่วมกับโรงงานยังทำให้เกิดปัญหาผลผลิตอ้อยเข้าหีบสูง/ต่ำกว่า กำลังการผลิตทุกครั้ง โดยมีอ้อยที่เข้าหีบสูงกว่ากำลังการผลิตของโรงงานโดยเฉลี่ย 4 ครั้ง และ ต่ำกว่ากำลังการผลิต 20 ครั้ง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนน้ำตาลของไทยสูงกว่าประเทศคู่แข่ง

การพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อการวางแผนการจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน

การประยุกต์ใช้แนวคิดดังกล่าวข้างต้น โรงงานจำเป็นต้องสร้างฐานข้อมูลขึ้นเพื่อเก็บ ข้อมูลที่จำเป็นต่อการจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย โดยประกอบด้วยข้อมูลหลักๆดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลทางกายภาพของแปลง เช่น ที่ตั้งของแปลง ขนาดพื้นที่ดิน ลักษณะของดิน และ ลักษณะภูมิอากาศของแปลง
2. ข้อมูลการจัดการแปลง เช่น วันที่ไถ การให้ปุ๋ย การให้น้ำ การกำจัดวัชพืช พันธุ์อ้อย เป็นต้น
3. ข้อมูลเกษตรกร เช่น ชื่อ ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์

ตัวอย่างของความสัมพันธ์ของแต่ละตารางของฐานข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 8 จะเห็นว่า ฐานข้อมูลประกอบด้วยตารางหลัก 3 ตารางด้วยกัน คือ ตารางรายละเอียดของเกษตรกร ตาราง รายละเอียดของแปลง และตารางรายละเอียดของการจัดการ ส่วนตารางที่อำนวยความสะดวก ประกอบด้วย ตารางลักษณะดิน ตารางตำบล ตารางอำเภอ ตารางจังหวัด ตารางเขตภูมิอากาศ ตารางพันธุ์และตารางลักษณะพื้นที่ ตารางทุกตารางมีกุญแจหลัก (Primary Key) และเชื่อมโยง กันและกันด้วย (Foreign Key) โดยมีความเชื่อมโยงดังแสดงในภาพที่ 8

ดังนั้น เมื่อเราต้องการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยกรอบแนวคิดดังที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ก็ สามารถทำได้โดยนำข้อมูลจากฐานข้อมูลเหล่านี้ไปกำหนดเป็นค่าตัวแปรต่างๆในโปรแกรม Xbuild ของ DSSAT ได้ทันที

ตารางที่ 4 ผลผลิตน้ำตาลโดยรวมจากการปลูกแบบสุมทั้งพันธุ์ เวลา และพื้นที่ปลูก

ครั้งที่	ผลผลิตน้ำตาลรวม (กก.)	จำนวนครั้งที่อ้อยเข้าหีบ มากกว่ากำลังผลิต	จำนวนครั้งที่อ้อยเข้าหีบต่ำ กว่ากำลังผลิต
1	673,487,456	2	22
2	648,692,549	5	19
3	534,392,980	3	21
4	670,817,129	4	20
5	514,454,998	3	21
6	604,317,068	5	19
7	598,526,772	5	19
8	525,513,762	3	21
9	589,061,905	4	20
10	552,387,580	5	19
11	577,856,972	5	19
12	522,617,038	5	19
13	517,362,461	3	21
14	533,642,690	5	19
15	528,853,804	4	20
16	552,536,207	6	18
17	526,996,115	5	19
18	541,502,665	5	19
19	545,642,297	5	19
20	496,358,477	3	21
21	511,755,913	3	21
22	645,226,314	3	21
23	517,905,904	4	20
24	569,899,264	4	20
25	767,921,781	2	22
26	745,307,052	3	21
เฉลี่ย	570,709,204	4	20

[illegible]

ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การนำเสนอรูปแบบการวางแผนการผลิตอ้อยและน้ำตาลร่วมกันระหว่างเกษตรกร และ โรงงานน้ำตาลโดยนำความรู้ทางพัฒนาการอ้อย รวมกับแนวความคิดของการค้นหาจุดสูงสุดโดยใช้เทคนิค Heuristic

ส่วนข้อต่อหลักๆของแนวความคิดจากงานวิจัยนี้ คือ การจำลองสถานการณ์ซึ่งอาศัยสภาพภูมิอากาศในอดีตมาใช้ในการทำนายอนาคต ทำให้ความแม่นยำของผลผลิตน้ำตาลขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการทำนายสภาพภูมิอากาศ เป็นที่ทราบกันดีว่าการทำนายภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ไกลออกไปทำได้ยากและมีความคลาดเคลื่อนสูง นอกจากนี้ การทำนายสถานการณ์จากงานวิจัยนี้ กระทำเพียงครั้งเดียวในช่วงการวางแผนการปลูก เมื่อเวลาผ่านไปภูมิอากาศอาจเป็นหรือไม่เป็นไปตามที่เราคาดไว้ ดังนั้น ผลผลิตที่ได้จริงหลังจากปลูกอ้อยแล้วจึงต่างจากที่คาดการณ์ไว้ ไม่ว่าจะเป็นเพราะ ปัญหาภัยแล้ง โรค/แมลงระบาด ไฟไหม้ หรือด้วยเหตุการณ์อื่น การวางแผนการเก็บเกี่ยวจากผลการจำลองสถานการณ์อย่างเดียวจึงอาจมีความผิดพลาดค่อนข้างสูง ข้อเสนอของการวางแผนการเก็บเกี่ยว คือ ควรปรับปรุงข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยในเวลาปัจจุบันให้ทันต่อความเป็นจริงตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้การวางแผนการเก็บเกี่ยวที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านข้อมูลจึงทำให้นักวิจัยต้องจำลองสถานการณ์เพื่อใช้ในการอธิบายแนวคิด และวิธีการวางแผน ซึ่งข้อจำกัดของข้อมูลก็เป็นอุปสรรคในการประยุกต์ใช้แนวความคิดนี้เช่นกัน ข้อจำกัดด้านข้อมูลหลักๆได้แก่ ข้อมูลดินและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่แปลงอ้อยแต่ละแปลงของเกษตรกร ข้อมูลการจัดการรายแปลงของเกษตรกร ข้อมูลพันธุกรรมของพันธุ์อ้อยในประเทศไทย และการประมวลผลของ DSSAT ที่สิ้นสุดการจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยที่จุดผลผลิตสูงสุดโดยไม่มีผลการจำลองการเจริญเติบโตหลังจากนั้น อย่างไรก็ตามข้อจำกัดเหล่านี้สามารถแก้ไขได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิจัย พร้อมกับนำข้อมูลวิจัยที่ได้มาสร้าง Module ใน CANEGRO เพิ่มเติม ซึ่งกระบวนการนี้ต้องอาศัยระยะเวลา และงบประมาณค่อนข้างมาก นอกจากนี้ โรงงานจะต้องสร้างฐานข้อมูลตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ การพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อการวางแผนการจัดการแบบห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งต้องใช้งบประมาณและเวลาอีกเช่นกัน และเมื่อมีการค้นคิดพันธุ์อ้อยใหม่ๆขึ้นมา ก็จะต้องทดสอบสัมประสิทธิ์พันธุกรรม และสัมประสิทธิ์ของปัจจัยอื่นๆไปพร้อมกับการปรับปรุงพันธุ์จึงจะทำให้เราสามารถวางแผนการจัดการดังกล่าวได้ทันทีที่พันธุ์ที่ปรับปรุงใหม่นั้นๆออกสู่ตลาด

จะเห็นได้ว่า ความซับซ้อนของข้อมูลต่างๆดังกล่าวทำให้การประยุกต์ใช้แนวคิดนี้เป็นไปได้ค่อนข้างยากในขณะนี้ แต่ถึงแม้เราจะไม่สามารถประยุกต์ใช้แนวความคิดแบบนี้ได้ในระยะใกล้ เราก็ควรจะมีการเตรียมความพร้อมด้านการวิจัยต่างๆไว้ เมื่อสถานการณ์การแข่งขันรุนแรงขึ้น จน

ทำให้โรงงานและเกษตรกรต้องคำนวณต้นทุนทุกบาททุกสตางค์ เมื่อนั้น เราจะต้องนำความคิดดังกล่าวเข้ามาใช้ ซึ่งถ้าเริ่มเตรียมความพร้อมด้านการวิจัยตั้งแต่เวลานี้ ก็จะทำให้เราสามารถแข่งขันได้ดีในอนาคต

นอกจากนี้ อุปสรรคที่สำคัญอีกอย่างของการนำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้คือความไว้วางใจระหว่างเกษตรกร และโรงงาน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของคนเป็นเรื่องค่อนข้างลำบาก ทั้งฝ่ายเกษตรกร และโรงงาน รวมถึง ผู้เกี่ยวข้องจำเป็นต้องเห็นประโยชน์ร่วมกันจึงจะทำให้การพัฒนาแนวคิดในการวางแผนร่วมกันประสบผลสำเร็จ

ถึงแม้เราจะนำผลจากงานวิจัยนี้มาใช้ในการวางแผนการปลูกอ้อยจริงไม่ได้ แต่งานชิ้นนี้ก็แสดงให้เห็นแนวทางการนำความรู้ด้านพัฒนาการของอ้อย ฐานข้อมูล และเทคนิคทางคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนที่ไม่เกิดมูลค่าเพิ่มของอ้อย ถ้าจะนำวิธีการเหล่านี้ไปใช้ในอนาคตอันใกล้จะต้องปรับปรุงเทคนิคเหล่านี้ให้ง่ายขึ้น และนำข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันมาใช้โดยไม่ต้องเก็บข้อมูลเพิ่มเติมที่มากเกินไปนักก็จะเป็นจุดเริ่มของการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุตสาหกรรมที่ดี และเป็นการเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของอุตสาหกรรมอีกด้วย

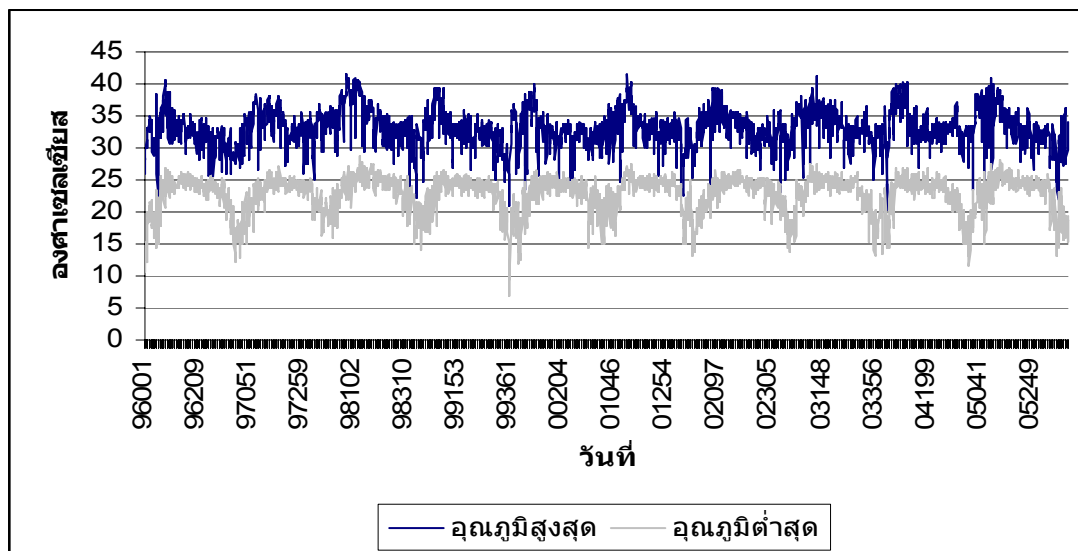
บรรณานุกรม

- อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เลานศิริวงศ์ และ เฉลิมผล ไหลรุ่งเรือง. “การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย”. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย กรกฎาคม 2540.
- Alvarez J., Crane D.R., Spreen T.H. and Kidder G., “A Yield Prediction Model for Florida Sugarcane”. *Agricultural Systems*, 9(1982): 161-179.
- Bezuidenhout C.N. and A. Singels. “Operational Forecasting of South African Sugarcane Production: Part 1 – System Description”. *Agricultural System*, 79(2006) in press
- Chetthamrongchai P., Auansakul A. and Supawan D., “Assessing the Transportation Problems of the Sugar Cane Industry in Thailand”. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific No.70*, 2001.
- Gilbert Robert A. Gilbert, James M. Shine, Jr., Jimmy D. Miller, Ronald W. Rice, and Curtis R. Rainbolt. “Maturity Curves and Harvest Schedule Recommendations for CP Sugarcane Varieties”. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. April 2004, SS-AGR-221. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Hahn M.H. and R.V. Ribeiro “Heuristic Guided Simulator for the Operational Planning of the Transport of Sugar Cane”. *The Journal of the Operational Research Society*, 50(5), May 1999, 451-459.
- Higgins A.J., R.C. Muchow, A.V.Rudd, and A.W. Ford. “Optimizing Harvest date in Sugar Production: A Case Study for the Mossman Mill Region in Australia: Development of Operations Research Model and Solution”. *Field Crops Research*. 57(1998): 153-162
- Higgins A.J. and Muchow R.C., “Assessing the Potential Benefits of Alternative Cane Supply Arrangements in the Australian Sugar Industry”. *Agricultural System*, 76(2003), 623-638.
- Higgins Andrew J., George Antony, Gary Sandell, Ian Daview, Di Prestwidge, Bill Andrew. “A Framework for Integrating a Complex Harvesting and Transport System for Sugar Production”. *Agricultural Systems*. 82(2004): 99-115.
- Higgins Anrew and Ian Davies. “A Simulation model for Capacity Planning in Sugarcane Transport”. *Computers and Electronics in Agriculture*. 47 (2005): 85-102.

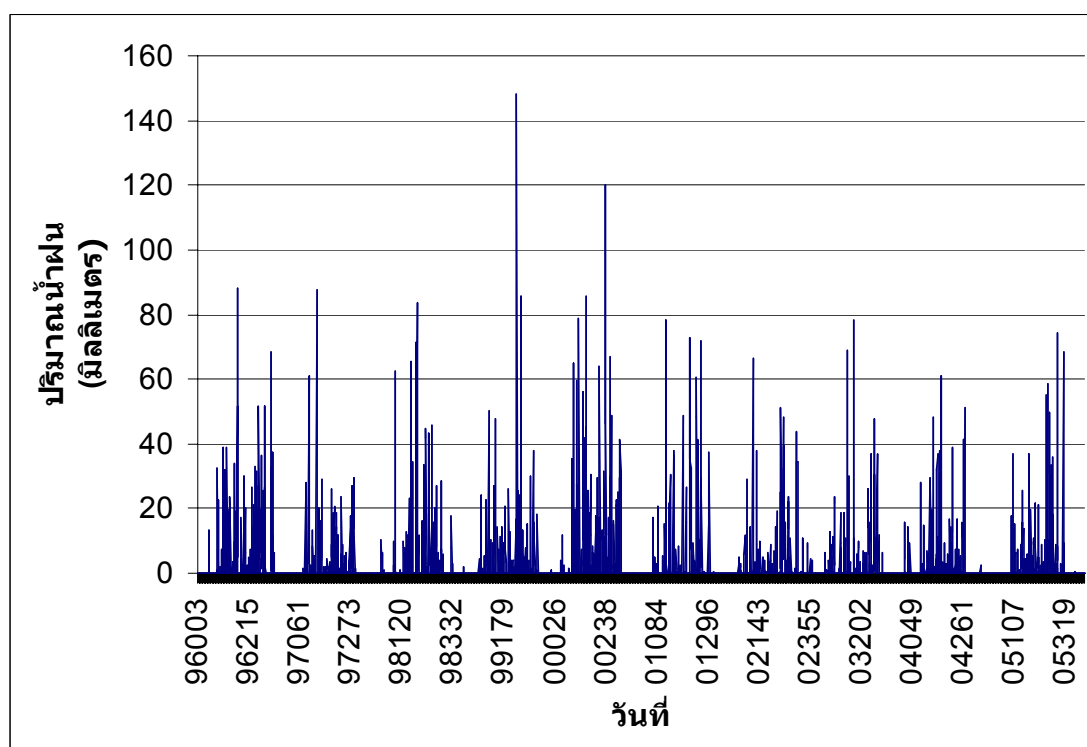
- Jiao Zhaorong, Andrew J. Higgings, Diane B. Prestwidge. "An Integrated Statistical and Optimization Approach to Increasing Sugar Production within A Mill Region".
Computers and Electronics in Agriculture. 48(2005): 170-181.
- Jintrawet A., S. Laoharisiwong, and Lairuengroeng C. "Predicting the Effect of Planting Dates on Sugarcane Performance in Thailand". Proceedings of International CANEGRO Workshop, Mount Edgecombe, South Africa, 4-7 August 2000.
- Lisson S.N., M.J. Robertson, B.S. Keating, and R.C. Muchow. "Modeling Sugarcane Production Systems II: Analysis of System Performance and Methodology Issues".
Field Crops Research, 68 (2000): 31-48.
- Lumsden T.G., R.E. Schulze, N.L. Lecler and E.J. Schmidt. "Assessing the Potential for Improved Sugarcane Yield Forecasting using Seasonal Rainfall Forecasts and Crop Yield Models". Proceedings South African Sugar Technologists' Association 74(2000): 131-140.
- Semenzato R., S.Lozano, and R. Valero, "A Discrete Event Simulation of Sugar Cane Harvesting Operations". The Journal of the Operation Research Society 46(9) September 1995, 1073-1078.
- Whan B.M., C.H. Scott and T.R. Jefferson. "A Stochastic Model of Sugarcane Crop Rotation". The Journal of the Operational Research Society, 29(4) April 1978: 341-348

ภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส) และปริมาณน้ำฝนของพื้นที่ต่างๆจากกรมอุตุนิยมวิทยา

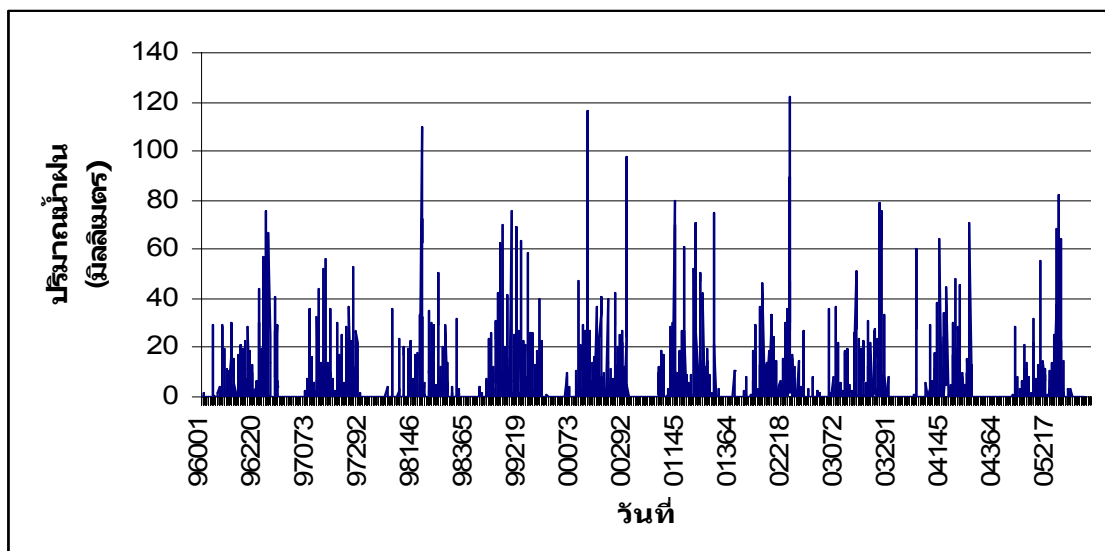
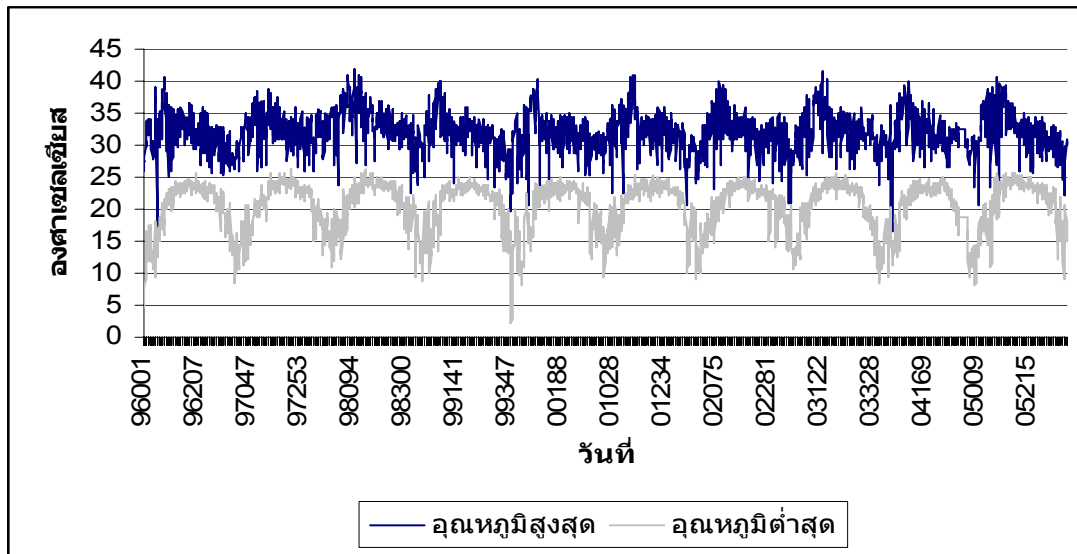
ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส)ของจังหวัดชัยภูมิที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ ปี ค.ศ.1996 - 2005



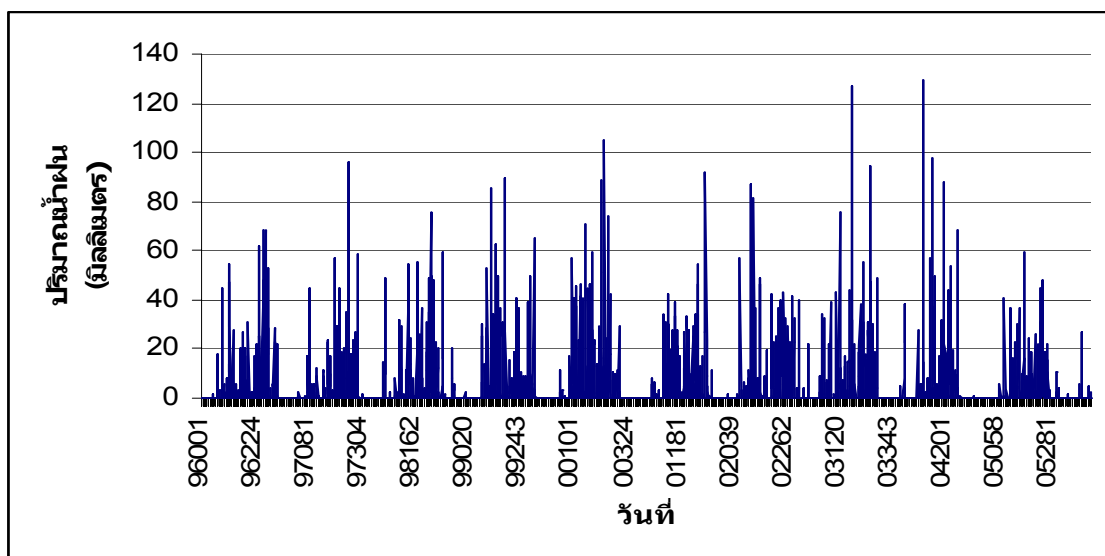
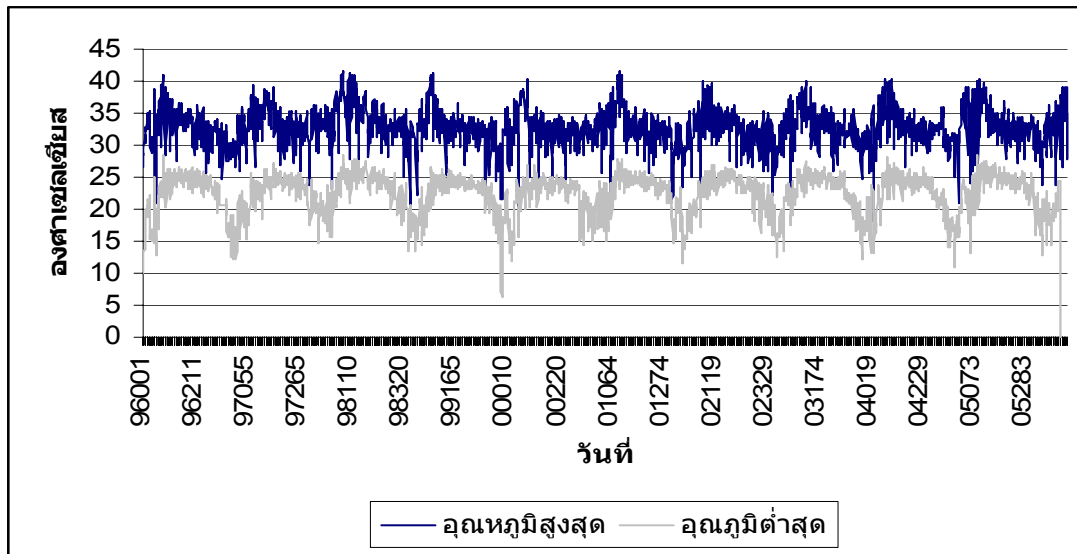
ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)ของจังหวัดชัยภูมิที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์



ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส)ของจังหวัดเลยที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ ปี
ค.ศ.1996 - 2005



ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส) ของจังหวัดขอนแก่นที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์
ปี ค.ศ.1996 - 2005



ภาคผนวกที่ 2 รายละเอียดของไฟล์สัมประสิทธิ์พันธุกรรม

*SUGARCANE GENOTYPE COEFFICIENTS - SCCAN980 MODEL

!

! All of these coefficients are cultivar-specific so no default
! values are named, but we are including the coefficients for the
! widely-used cultivar NCo376. Most of these values have been
! approximated until more validation can be done.

!

! Cultivar Name = NCo376

!

! Ecotype Number Corresponding to the SCCAN950.ECO file = SC0001

!

! Degree-days from emergence to harvest maturity - P1 = 8500.0

!

! Maximum # of ratoon crops before reseeding - RATPOT = 5

!

! LFMAX (11.0) The maximum number of green leaf number observed on a
! well watered crop that is old enough to have senesced several
! leaves from the bottom.

!

! G1 A stalk population/leaf width type index.
! General Leaf shape to be used to calculate the maximum area,
! leaf width, and total leaf populations. Users will need to
! obtain stalk population at harvest and leaf width of fully
! expanded leaves. The fully expanded width of leaves initially
! increases with leaf number on the stalk counting from the
! bottom, so you will have to measure width until it reaches
! a maximum, somewhere around leaf no, 15.
! Users can choose either 1.0, 2.0, or 3.0 depending on the
! cultivar characteristics listed below:

!

! G1 = 1.0 CORRESPONDS TO THE NCo376 AND N14 LEAF TYPE -
! HIGH POPULATION (GREATER THAN 13 PLANTS/SQ.METER) AND
! NARROW LEAF (LESS THAN 30 MM IN WIDTH)

!

! G1 = 2.0 CORRESPONDS TO THE N12 LEAF TYPE -
! MEDIUM POPULATION (10 TO 13 PLANTS/SQ.METER) AND
! MEDIUM LEAF WIDTH (30 TO 50 MM IN WIDTH)

!

! G1 = 3.0 CORRESPONDS TO THE R 570 LEAF TYPE -
! LOW POPULATION (LESS THAN 10 PLANTS/SQ. METER) AND

! BROAD LEAF (GREATER THAN 50 MM IN WIDTH)

!

! The first and second phyllochron intervals in degree days/leaf

! structure. The first interval is used from 0 to DTTPI

! accumulated heat units and the PI2 is used once the accumulated

! heat units have exceeded DTTPI

!

! P1 (109), PI2 (169)

! The thermal time, base 10, between the emergence of successive

! leaves. Record the date of appearance of new leaves and plot

! that against thermal time, i.e. sum of positive values of

! $(T_{max} + T_{min})/2 - 10$. The plot should show two distinct linear

! relationships. The inverse of the slope of each equals P1 and

! PI2. The thermal time breakpoint between the two relationships

! is DTPI (1526)

!

! Phyllochron interval #1 - P1 - Default = 109.0

!

! Phyllochron interval #2 - PI2 - Default = 169.0

!

! Degree day threshold between Phyllochron interval 1 and 2 -

! DTTPI - Default = 1526.0

!

@VAR#	VAR-NAME.....	ECO#	P1	RATPT	LFMAX	G1	PI1	PI2	DTPI
!		1	2	3	4	5	6	7	
IB0001	NC0376	SC0001	8500.	5.0	11.0	1.0	109.0	169.0	526.
IB0002	N14	SC0001	7000.	5.0	11.0	2.0	109.0	169.0	526.
IB0003	GEOFF'S FAV	SC0001	5500.	5.0	11.0	1.0	71.0	133.0	800.
IB0004	UT2&K200	SC0001	6500.	5.0	11.0	3.0	99.0	133.0	626.

ภาคผนวกที่ 3 ผลผลิตน้ำตาลที่ได้จากโปรแกรม DSSAT

ผลผลิตน้ำตาลที่จำลองได้จากโปรแกรม DSSAT ค่าตัวเลข 3 ตัวที่หัวตารางแทนค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ ตัวแรกหลักแรก แทนวันปลูก 1 แทน อ้อยต้นฝน 2 แทนอ้อยน้ำราด และ 3 แทนอ้อย ปลายฝน ตัวเลขตัวที่สองแทน ลักษณะภูมิอากาศ และลักษณะดิน โดยให้ 1 แทนภูมิอากาศแบบ ชัยภูมิที่มีดินเป็นดินทราย 2 แทนภูมิอากาศแบบเลยที่มีดินเป็นดินทราย 3 แทนภูมิอากาศแบบ ขอนแก่นที่มีดินเป็นดินทราย 4 แทนภูมิอากาศแบบชัยภูมิที่มีดินเป็นดินเหนียว 5 แทนภูมิอากาศ แบบเลยที่มีดินเป็นดินเหนียว 6 แทนภูมิอากาศแบบขอนแก่นที่มีดินเป็นดินเหนียว ส่วนตัวเลขตัว สุดท้าย แทนพันธุ์ทั้ง 4 พันธุ์ โดยให้ 1 แทน GEOFF'S FAV เป็น พันธุ์เบาที่มีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 6500 องศาเซลเซียส ให้ 2 แทน N14 เป็นพันธุ์กลางที่มีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 7000 องศาเซลเซียส ให้ 3 แทน NCo376 เป็นพันธุ์หนักที่มีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 8500 องศาเซลเซียส และ 4 แทนพันธุ์อุ ทอง 2 และ เค 200 ที่มีอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 6500 องศาเซลเซียส

111	112	113	114	121	122	123	124	131	132	133	134
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1049	0	0	830	0	0	0	0	0	0	0	0
2027	1606	1042	1711	0	0	0	0	0	0	0	0
3213	2808	1978	2918	0	0	0	0	890	0	0	0
4316	3890	3079	4014	1091	916	0	914	1303	1121	852	1133
5330	4907	3974	5053	1524	1315	1042	1313	1804	1586	1253	1602
6549	6146	5122	6306	2046	1799	1468	1799	2398	2144	1742	2164
7696	7297	6219	7464	2619	2385	1990	2385	2917	2712	2330	2729
8842	8443	7332	8613	3120	2900	2570	2900	3455	3244	2870	3262
9820	9424	8291	9596	3673	3444	3092	3444	4060	3842	3445	3861
11148	10757	9600	10931	4273	4037	3664	4037	4720	4496	4076	4516
12409	12026	10846	12203	4912	4671	4278	4671	5413	5185	4744	5205
13756	13379	12184	13558	5591	5345	4933	5346	6144	5913	5452	5934
15121	14753	13543	14931	6314	6063	5633	6064	6920	6686	6206	6707
16394	16054	14818	16221	6786	6523	6090	6508	7736	7504	7005	7526
16911	16592	15332	16746	6991	6724	6284	6706	8477	8254	7744	8264
17524	17220	15917	17369	7265	6992	6537	6972	9035	8816	8300	8801
18082	17786	16441	17934	7518	7241	6771	7219	9439	9231	8692	9204
18502	18275	16888	18422	7732	7453	6968	7429	9717	9591	9028	9555
18502	18670	17230	18818	7904	7632	7125	7600	9717	9876	9294	9832
18082	18923	17466	19072	7988	7751	7237	7718	9439	10073	9455	10018
17524	19066	17600	19216	7988	7853	7346	7871	9035	10194	9584	10120
16911	19771	18237	19682	7904	8524	7861	8673	8477	10945	10297	10772
16394	21091	19414	19682	7732	9184	8550	9364	7736	11831	11095	10772
15121	21249	20083	19216	7518	9971	9253	9938	6920	12199	11530	10120
13756	21249	21361	19072	7265	10653	9905	9938	6144	12199	11467	10018
12409	21091	22524	18818	6991	10986	10463	9364	5413	11831	11559	9832
11148	19771	22439	18422	6786	10986	10923	8673	4720	10945	11559	9555
9820	19066	22104	17934	6314	10653	11302	7871	4060	10194	11917	9204
8842	18923	22431	17369	5591	9971	11610	7718	3455	10073	12220	8801
7696	18670	22537	16746	4912	9184	11904	7600	2917	9876	12282	8264
6549	18275	22537	16221	4273	8524	12197	7429	2398	9591	12282	7526
5330	17786	22524	14931	3673	7853	12307	7219	1804	9231	12220	6707
4316	17220	22439	13558	3120	7751	12307	6972	1303	8816	11917	5934
3213	16592	22431	12203	2619	7632	12197	6706	890	8254	11559	5205
2027	16054	22104	10931	2046	7453	11904	6508	0	7504	11559	4516
1049	14753	21361	9596	1524	7241	11610	6064	0	6686	11530	3861
0	13379	20083	8613	1091	6992	11302	5346	0	5913	11467	3262
0	12026	19414	7464	0	6724	10923	4671	0	5185	11095	2729
0	10757	18237	6306	0	6523	10463	4037	0	4496	10297	2164
0	9424	17600	5053	0	6063	9905	3444	0	3842	9584	1602
0	8443	17466	4014	0	5345	9253	2900	0	3244	9455	1133
0	7297	17230	2918	0	4671	8550	2385	0	2712	9294	0
0	6146	16888	1711	0	4037	7861	1799	0	2144	9028	0
0	4907	16441	830	0	3444	7346	1313	0	1586	8692	0
0	3890	15917	0	0	2900	7237	914	0	1121	8300	0
0	2808	15332	0	0	2385	7125	0	0	0	7744	0
0	1606	14818	0	0	1799	6968	0	0	0	7005	0

141	142	143	144	151	152	153	154	161	162	163	164
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1141	0	0	0	0	0	0	0	0
0	980	0	2157	0	0	0	0	853	0	0	0
0	1890	0	3315	1091	916	0	914	1257	1074	798	1080
0	3006	0	4452	1524	1315	1042	1313	1741	1524	1176	1528
0	4091	0	5677	2046	1799	1468	1799	2324	2070	1648	2076
0	5271	0	6953	2619	2385	1990	2385	2857	2650	2218	2655
0	6506	0	8251	3120	2900	2570	2900	3392	3178	2779	3184
936	7784	0	9571	3673	3444	3092	3444	3994	3773	3348	3779
1711	9090	1091	10906	4273	4037	3664	4037	4651	4424	3974	4430
2697	10414	1897	12250	4912	4671	4278	4671	5342	5110	4637	5116
3628	11757	2869	13606	5591	5345	4933	5346	6071	5835	5341	5842
4655	13122	3811	14980	6314	6063	5633	6064	6844	6606	6091	6612
5779	14526	4862	16390	6864	6600	6169	6583	7285	7034	6519	7024
6914	15788	5946	17614	7075	6807	6370	6786	7494	7241	6716	7228
7769	16836	6858	18620	7351	7078	6627	7054	7780	7524	6982	7509
8321	17598	7416	19386	7604	7327	6862	7301	8044	7786	7226	7769
8686	18212	7824	20012	7823	7542	7063	7514	8233	8035	7452	8009
8686	18715	8152	20517	7999	7724	7224	7690	8233	8225	7625	8190
8321	19055	8359	20847	8085	7845	7338	7809	8044	8352	7744	8316
7769	19306	8654	21072	8085	7956	7459	7983	7780	8424	7811	8388
6914	20172	9504	21602	7999	8638	7997	8800	7494	8815	8154	8690
5779	21527	11039	21602	7823	9346	8697	9527	7285	9625	8783	8690
4655	21814	11681	21072	7604	10133	9403	10101	6844	9921	9284	8388
3628	21814	13243	20847	7351	10811	10055	10101	6071	9921	9241	8316
2697	21527	14728	20517	7075	11142	10610	9527	5342	9625	9389	8190
1711	20172	14873	20012	6864	11142	11065	8800	4651	8815	9479	8009
936	19306	14734	19386	6314	10811	11439	7983	3994	8424	9960	7769
0	19055	15451	18620	5591	10133	11753	7809	3392	8352	10376	7509
0	18715	15615	17614	4912	9346	12041	7690	2857	8225	10461	7228
0	18212	15615	16390	4273	8638	12329	7514	2324	8035	10461	7024
0	17598	15451	14980	3673	7956	12437	7301	1741	7786	10376	6612
0	16836	14873	13606	3120	7845	12437	7054	1257	7524	9960	5842
0	15788	14734	12250	2619	7724	12329	6786	853	7241	9479	5116
0	14526	14728	10906	2046	7542	12041	6583	0	7034	9389	4430
0	13122	13243	9571	1524	7327	11753	6064	0	6606	9284	3779
0	11757	11681	8251	1091	7078	11439	5346	0	5835	9241	3184
0	10414	11039	6953	0	6807	11065	4671	0	5110	8783	2655
0	9090	9504	5677	0	6600	10610	4037	0	4424	8154	2076
0	7784	8654	4452	0	6063	10055	3444	0	3773	7811	1528
0	6506	8359	3315	0	5345	9403	2900	0	3178	7744	1080
0	5271	8152	2157	0	4671	8697	2385	0	2650	7625	0
0	4091	7824	1141	0	4037	7997	1799	0	2070	7452	0
0	3006	7416	0	0	3444	7459	1313	0	1524	7226	0
0	1890	6858	0	0	2900	7338	914	0	1074	6982	0
0	980	5946	0	0	2385	7224	0	0	0	6716	0
0	0	4862	0	0	1799	7063	0	0	0	6519	0

211	212	213	214	221	222	223	224	231	232	233	234
1357	1264	927	1277	0	0	0	0	0	0	0	0
2574	2458	1895	2480	0	0	0	0	955	0	0	0
3914	3826	3245	3846	1060	1043	0	952	1464	1327	964	1267
5189	5081	4427	5147	1536	1521	1005	1408	2068	1906	1450	1833
6554	6446	5741	6518	2084	2071	1446	1938	2757	2569	2023	2484
7912	7812	7073	7888	2700	2689	1958	2537	3317	3171	2673	3102
9243	9154	8395	9232	3205	3200	2548	3080	3829	3682	3200	3611
10367	10315	9516	10400	3683	3680	3051	3558	4341	4196	3702	4125
11635	11620	10801	11704	4173	4174	3528	4050	4863	4721	4216	4648
12905	12913	12090	12995	4692	4696	4035	4570	5410	5270	4757	5198
13975	13992	13175	14064	5243	5252	4577	5124	5998	5862	5340	5789
14834	14858	14045	14929	5847	5860	5170	5730	6648	6516	5983	6442
16125	16159	15350	16228	6498	6516	5811	6384	7362	7234	6690	7159
17375	17420	16612	17489	7188	7211	6490	7077	8107	7982	7428	7906
18671	18725	17918	18794	7914	7941	7205	7806	8882	8761	8196	8684
19810	20064	19257	20132	8680	8712	7962	8575	9640	9582	9007	9505
19810	21422	20611	21482	9289	9316	8564	9166	9640	10441	9854	10362
18671	22037	21217	22084	9539	9565	8805	9410	8882	11205	10605	11121
17375	22781	21930	22820	9690	9915	9134	9754	8107	11848	11244	11738
16125	23471	22587	23504	9690	10245	9442	10079	7362	12335	11709	12213
14834	24087	23170	24116	9539	10538	9713	10366	6648	12754	12103	12624
13975	24599	23641	24116	9289	10784	9936	10608	5998	13118	12443	12624
12905	24961	23985	24116	8680	10965	10102	10786	5410	13372	12671	12624
11635	24981	24200	24116	7914	11076	10205	10842	4863	13408	12797	12624
10367	24981	24508	23504	7188	11533	10581	10842	4341	13408	13291	12213
9243	24961	25427	22820	6498	11948	11225	10786	3829	13372	14022	11738
7912	24599	26094	22084	5847	11948	11890	10608	3317	13118	14556	11121
6554	24087	26924	21482	5243	11533	12503	10366	2757	12754	14458	10362
5189	23471	27477	20132	4692	11076	13010	10079	2068	12335	14423	9505
3914	22781	27477	18794	4173	10965	13403	9754	1464	11848	14556	8684
2574	22037	26924	17489	3683	10784	13702	9410	955	11205	14458	7906
1357	21422	26094	16228	3205	10538	13758	9166	0	10441	14423	7159
0	20064	25427	14929	2700	10245	13758	8575	0	9582	14022	6442
0	18725	24508	14064	2084	9915	13702	7806	0	8761	13291	5789
0	17420	24200	12995	1536	9565	13403	7077	0	7982	12797	5198
0	16159	23985	11704	1060	9316	13010	6384	0	7234	12671	4648
0	14858	23641	10400	0	8712	12503	5730	0	6516	12443	4125
0	13992	23170	9232	0	7941	11890	5124	0	5862	12103	3611
0	12913	22587	7888	0	7211	11225	4570	0	5270	11709	3102
0	11620	21930	6518	0	6516	10581	4050	0	4721	11244	2484
0	10315	21217	5147	0	5860	10205	3558	0	4196	10605	1833
0	9154	20611	3846	0	5252	10102	3080	0	3682	9854	1267
0	7812	19257	2480	0	4696	9936	2537	0	3171	9007	0
0	6446	17918	1277	0	4174	9713	1938	0	2569	8196	0
0	5081	16612	0	0	3680	9442	1408	0	1906	7428	0
0	3826	15350	0	0	3200	9134	952	0	1327	6690	0
0	2458	14045	0	0	2689	8805	0	0	0	5983	0
0	1264	13175	0	0	2071	8564	0	0	0	5340	0
0	0	12090	0	0	1521	7962	0	0	0	4757	0
0	0	10801	0	0	1043	7205	0	0	0	4216	0

241	242	243	244	251	252	253	254	261	262	263	264
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
911	1132	0	1830	0	0	0	0	945	0	0	0
1772	2227	1199	3208	1086	1048	0	955	1451	1325	949	1257
2991	3550	2217	4462	1568	1526	1029	1411	2049	1900	1425	1813
4064	4794	3427	5791	2122	2077	1476	1941	2734	2562	1993	2460
5257	6091	4593	7138	2745	2696	1994	2541	3299	3165	2637	3082
6535	7406	5837	8475	3240	3205	2588	3083	3810	3676	3172	3591
7834	8728	7119	9803	3718	3686	3083	3561	4301	4164	3652	4070
9142	10046	8419	11115	4209	4180	3561	4053	4822	4688	4165	4593
10453	11361	9731	12418	4728	4702	4069	4574	5368	5237	4705	5141
11767	12675	11049	13714	5280	5258	4611	5128	5956	5829	5287	5732
13081	13987	12371	15010	5884	5866	5205	5734	6606	6482	5930	6385
14398	15301	13697	16307	6536	6522	5847	6388	7319	7200	6636	7101
15721	16622	15027	17613	7227	7217	6527	7081	8063	7948	7372	7848
17052	17952	16365	18932	7953	7947	7243	7810	8838	8726	8140	8625
18205	19299	17718	20268	8719	8718	7999	8579	9596	9547	8950	9445
18205	20675	19099	21635	9395	9389	8670	9234	9596	10129	9533	10011
17052	21839	20282	22777	9653	9645	8921	9484	8838	10386	9782	10264
15721	22961	21423	23861	9805	9996	9253	9830	8063	10756	10135	10630
14398	23821	22255	24718	9805	10328	9564	10156	7319	11108	10468	10977
13081	24547	22938	25444	9653	10621	9837	10444	6606	11430	10767	11291
11767	25160	23505	25444	9395	10868	10064	10688	5956	11705	11017	11291
10453	25604	23897	25444	8719	11053	10233	10870	5368	11896	11199	11291
9142	25625	24113	25444	7953	11165	10338	10926	4822	11928	11312	11291
7834	25625	24621	24718	7227	11644	10736	10926	4301	11928	11471	10977
6535	25604	25764	23861	6536	12061	11389	10870	3810	11896	11980	10630
5257	25160	26304	22777	5884	12061	12059	10688	3299	11705	12538	10264
4064	24547	27171	21635	5280	11644	12670	10444	2734	11430	12476	10011
2991	23821	27736	20268	4728	11165	13172	10156	2049	11108	12480	9445
1772	22961	27736	18932	4209	11053	13560	9830	1451	10756	12538	8625
911	21839	27171	17613	3718	10868	13852	9484	945	10386	12480	7848
0	20675	26304	16307	3240	10621	13906	9234	0	10129	12476	7101
0	19299	25764	15010	2745	10328	13906	8579	0	9547	11980	6385
0	17952	24621	13714	2122	9996	13852	7810	0	8726	11471	5732
0	16622	24113	12418	1568	9645	13560	7081	0	7948	11312	5141
0	15301	23897	11115	1086	9389	13172	6388	0	7200	11199	4593
0	13987	23505	9803	0	8718	12670	5734	0	6482	11017	4070
0	12675	22938	8475	0	7947	12059	5128	0	5829	10767	3591
0	11361	22255	7138	0	7217	11389	4574	0	5237	10468	3082
0	10046	21423	5791	0	6522	10736	4053	0	4688	10135	2460
0	8728	20282	4462	0	5866	10338	3561	0	4164	9782	1813
0	7406	19099	3208	0	5258	10233	3083	0	3676	9533	1257
0	6091	17718	1830	0	4702	10064	2541	0	3165	8950	0
0	4794	16365	0	0	4180	9837	1941	0	2562	8140	0
0	3550	15027	0	0	3686	9564	1411	0	1900	7372	0
0	2227	13697	0	0	3205	9253	955	0	1325	6636	0
0	1132	12371	0	0	2696	8921	0	0	0	5930	0
0	0	11049	0	0	2077	8670	0	0	0	5287	0
0	0	9731	0	0	1526	7999	0	0	0	4705	0
0	0	8419	0	0	1048	7243	0	0	0	4165	0

341	342	343	344	351	352	353	354	361	362	363	364
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1192	0	0	963	0	0	0	0	0	0	0	0
1345	966	0	1095	0	0	0	0	0	0	0	0
1470	1067	0	1203	0	0	0	0	0	0	0	0
1543	1127	0	1262	0	0	0	0	0	0	0	0
1815	1327	1038	1367	0	0	0	0	0	0	0	0
2713	2117	1695	1998	0	0	0	0	0	0	0	0
4066	3471	2914	3417	0	0	0	0	0	0	0	0
4720	4089	3599	4066	1248	1194	0	0	0	0	0	0
6171	5515	4946	5495	1828	1766	0	1416	0	0	0	0
7644	6972	6359	6952	2487	2418	1385	2001	914	0	0	0
7969	7325	6706	7304	3170	3115	1957	2653	1124	932	0	936
8036	7429	6795	7410	3686	3633	2597	3255	1616	1389	1165	1394
9011	8487	7769	8463	4186	4136	3207	3752	2182	1926	1649	1931
10317	9842	9082	9812	4679	4634	3699	4246	2801	2542	2211	2549
11130	11008	10210	10979	5174	5133	4190	4745	3223	3078	2801	3083
11130	12283	11423	12250	5684	5647	4684	5259	3223	3588	3295	3593
10317	12975	12087	12939	5872	6189	5195	5801	2801	4132	3826	4137
9011	13405	12486	13350	5872	6768	5733	6379	2182	4722	4404	4727
8036	14717	13746	14089	5684	7402	6307	7012	1616	5378	5048	5237
7969	16031	15044	14089	5174	8083	6936	7691	1124	6086	5744	5237
7644	16767	16075	13350	4679	8648	7610	8087	914	6823	6469	4727
6171	16767	16589	12939	4186	8922	8178	8087	0	6823	6956	4137
4720	16031	17100	12250	3686	9146	8445	7691	0	6823	7231	3593
4066	14717	17630	10979	3170	9146	8717	7012	0	6823	7502	3083
2713	13405	17962	9812	2487	8922	9008	6379	0	6086	7680	2549
1815	12975	18471	8463	1828	8648	9197	5801	0	5378	7933	1931
1543	12283	18891	7410	1248	8083	9488	5259	0	4722	8175	1394
1470	11008	18891	7304	0	7402	9767	4745	0	4132	8271	936
1345	9842	18471	6952	0	6768	10017	4246	0	3588	8271	0
1192	8487	17962	5495	0	6189	10224	3752	0	3078	8175	0
999	7429	17630	4066	0	5647	10357	3255	0	2542	7933	0

ภาคผนวกที่ 4 Source code ของโปรแกรม VBA ที่ใช้ในการสร้างเทคนิค Heuristic

```
Sub heuristic()  
  
Worksheets("heuris").Range("A1:EE5000").ClearContents  
Worksheets("total").Range("A1:EE5000").ClearContents  
  
Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer, t As Integer  
Dim best As Long, l As Byte, compare As Long  
Dim land1 As Long, land2 As Long, land3 As Long  
Dim land4 As Long, land5 As Long, land6 As Long  
  
Dim maxcap As Long  
  
Dim land_left1 As Long, land_left2 As Long, land_left3 As Long  
Dim land_left4 As Long, land_left5 As Long, land_left6 As Long  
Dim cap_left As Long, grow As Long  
  
'Assign value for variety, planting season, climate&soil structure, harvesting time*  
Worksheets("result").Select  
  
n = Worksheets("result").Cells(1, 2).Value  
m = Worksheets("result").Cells(2, 2).Value  
o = Worksheets("result").Cells(3, 2).Value  
p = Worksheets("result").Cells(4, 2).Value  
  
'set value for record best chosen ijk for each t  
  
Dim besti As Integer, bestj As Integer, bestk As Integer  
  
'set initial value for incremental loop as well as land and capacity left for next plan  
  
l = 0  
  
'assign maximum land available for each climate&soil structure area  
land1 = Worksheets("result").Cells(2, 6).Value  
land2 = Worksheets("result").Cells(2, 7).Value  
land3 = Worksheets("result").Cells(2, 8).Value  
land4 = Worksheets("result").Cells(2, 9).Value  
land5 = Worksheets("result").Cells(2, 10).Value  
land6 = Worksheets("result").Cells(2, 11).Value  
maxcap = Worksheets("result").Cells(3, 4).Value
```

```

land_left1 = land1
land_left2 = land2
land_left3 = land3
land_left4 = land4
land_left5 = land5
land_left6 = land6
land_available = land_left1 + land_left2 + land_left3 + land_left4 + land_left5 +
land_left6
cap_left = maxcap
cap_left_1 = maxcap + 1
'this loop is for selecting maximum for each harvesting interval

For s = 0 To p - 1
For t = s To p - 1
For h = 0 To 5
    For j = 0 To m - 1
        For k = 0 To o - 1
            For i = 1 To n
                'new value to compare with previous best value
                compare = Worksheets("result").Cells(6 + t, 2 + I).Value

                'condition to compare new value and previous best value
                If compare > best And k + 1 = 1 And land_left1 > 0 And cap_left > 0 Then
                    'if new value is better than previous one then new one is set as best value
                    best = compare
                    Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 4 + 3 * h) = j + 1 & k + 1 & i
                    besti = i
                    bestj = j + 1
                    bestk = k + 1
                End If
            End For
        End For
    End For
End For

```

```

If compare > best And k + 1 = 2 And land_left2 > 0 And cap_left > 0 Then
    'if new value is better than previous one then new one is set as best value
    best = compare
    Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 4 + 3 * h) = j + 1 & k + 1 & i
    besti = i
    bestj = j + 1
    bestk = k + 1
End If

```

```

If compare > best And k + 1 = 3 And land_left3 > 0 And cap_left > 0 Then
    'if new value is better than previous one then new one is set as best value
    best = compare
    Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 4 + 3 * h) = j + 1 & k + 1 & i
    besti = i
    bestj = j + 1
    bestk = k + 1
End If

```

```

If compare > best And k + 1 = 4 And land_left4 > 0 And cap_left > 0 Then
    'if new value is better than previous one then new one is set as best value
    best = compare
    Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 4 + 3 * h) = j + 1 & k + 1 & i
    besti = i
    bestj = j + 1
    bestk = k + 1
End If

```

```

If compare > best And k + 1 = 5 And land_left5 > 0 And cap_left > 0 Then
    'if new value is better than previous one then new one is set as best value
    best = compare
    Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 4 + 3 * h) = j + 1 & k + 1 & i

```

```

        besti = i
        bestj = j + 1
        bestk = k + 1
    End If

    If compare > best And k + 1 = 6 And land_left6 > 0 And cap_left > 0 Then
        'if new value is better than previous one then new one is set as best value
        best = compare
        Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 4 + 3 * h) = j + 1 & k + 1 & i
        besti = i
        bestj = j + 1
        bestk = k + 1
    End If

    Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 3) = maxcap
    Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 2 + 3 * h) = best
    l = l + 1
Next i
Next k
Next j

'calculate amount of land left for next plan

If bestk = 1 Then
cap_left_1 = capleft
grow = best * land_left1
    If grow <= cap_left Then
        land_left1 = 0
        cap_left = cap_left - grow
        sugar_accum = sugar_accum + grow
    ElseIf grow > cap_left Then
        land_left1 = (grow - cap_left) / best
    End If
End If

```

```

    sugar_accum = sugar_accum + cap_left
    cap_left = 0
End If

Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 3 + 3 * h).Value = land_left1
End If

```

```

If bestk = 2 Then
    cap_left_1 = capleft
    grow = best * land_left2
    'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 6).Value = grow
    'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 4).Value = land_left2

    If grow <= cap_left Then
        land_left2 = 0
        cap_left = cap_left - grow
        sugar_accum = sugar_accum + grow
    ElseIf grow > cap_left Then
        land_left2 = (grow - cap_left) / best
        sugar_accum = sugar_accum + cap_left
        cap_left = 0
    End If

    Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 3 + 3 * h).Value = land_left2
End If

```

```

If bestk = 3 Then
    cap_left_1 = capleft
    grow = best * land_left3
    'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 6).Value = grow
    'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 4).Value = land_left3

    If grow <= cap_left Then
        land_left3 = 0
        cap_left = cap_left - grow
    End If

```

```

sugar_accum = sugar_accum + grow
Elseif grow > cap_left Then
land_left3 = (grow - cap_left) / best
sugar_accum = sugar_accum + cap_left
cap_left = 0
End If
Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 3 + 3 * h).Value = land_left3
End If

```

```

If bestk = 4 Then
cap_left_1 = capleft
grow = best * land_left4
'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 6).Value = grow
'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 4).Value = land_left4
    If grow <= cap_left Then
land_left4 = 0
cap_left = cap_left - grow
sugar_accum = sugar_accum + grow
    Elseif grow > cap_left Then
land_left4 = (grow - cap_left) / best
sugar_accum = sugar_accum + cap_left
cap_left = 0
    End If
Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 3 + 3 * h).Value = land_left4
End If

```

```

If bestk = 5 Then
cap_left_1 = capleft
grow = best * land_left5
'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 6).Value = grow
'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 4).Value = land_left5

```

```

If grow <= cap_left Then
land_left5 = 0
cap_left = cap_left - grow
sugar_accum = sugar_accum + grow
ElseIf grow > cap_left Then
land_left5 = (grow - cap_left) / best
sugar_accum = sugar_accum + cap_left
cap_left = 0
End If
Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 3 + 3 * h).Value = land_left5
End If

```

```

If bestk = 6 Then
cap_left_1 = capleft
grow = best * land_left6
'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 6).Value = grow
'Worksheets("heuris").Cells(6 + t, 4).Value = land_left6
If grow <= cap_left Then
land_left6 = 0
cap_left = cap_left - grow
sugar_accum = sugar_accum + grow
ElseIf grow > cap_left Then
land_left6 = (grow - cap_left) / best
sugar_accum = sugar_accum + cap_left
cap_left = 0
End If
Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 3 + 3 * h).Value = land_left6
End If

```

```

'new harvesting interval begins here. we need to set l and best to initial =0
l = 0

```

```

best = 0
besti = 0
bestj = 0
bestk = 0

land_available = land_left1 + land_left2 + land_left3 + land_left4 + land_left5 +
land_left6

Next h
cap_left_1 = maxcap + 1
cap_left = maxcap
Worksheets("heuris").Cells(6 + s * (p + 2) + t, 1).Value = "t=" & t + 1
Next t

Worksheets("total").Cells(1 + s, 3).Value = sugar_accum
Worksheets("total").Cells(1 + s, 2).Value = "s=" & s + 1
Worksheets("heuris").Cells(5 + s * (p + 2), 1).Value = "s=" & s + 1
sugar_accum = 0
land_left1 = land1
land_left2 = land2
land_left3 = land3
land_left4 = land4
land_left5 = land5
land_left6 = land6

Next s
End Sub

```