การศึกษารูปแบบการจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลงสำหรับกำหนดการให้น้ำแก่อ้อยโดยใช้แบบจำลอง DSSAT-CANEGRO

Study of the Management-Allowed Depletion (MAD) in Irrigation Scheduling for Sugarcane Using DSSAT-CANEGRO

ณัฐดนัย จุลทรักษ์[1], เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย[1], เกศวรา สิทธิโชค[1],*
บุญลือ คะเชนทร์ชาติ[2], ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์[3]
Natdanai Jultarux[1], Ekasit Kositsakulchai[1], Ketvara Sittichok[1],*
Boonlue Kachenchart[2], Yutthana Phankamolsil[3]

Received 6 October 2020, Accepted 1 December 2020

ABSTRACT

The irrigation scheduling for sugarcane in Nakhon Sawan Province was developed using the DSSAT-CANEGRO simulation model based on the management-allowed depletion (MAD) technique. Two sugarcane planting conditions—new planting and ratoon—were taken into consideration. The simulation study included 7 cases: (1) sugarcane planting under rain-fed system, (2) sugarcane planting under irrigated system with the MAD of 50% (50MAD), (3) 55% (55MAD), (4) 60% (60MAD), (5) 65% (65MAD), (6) 70% (70MAD), and (7) 75% (75MAD). The DSSAT-CANEGRO model reasonably simulated irrigation scheduling for sugarcane at different MAD levels. The irrigation scheduling for sugarcane with the 60MAD is recommended because it provided a compromised alternative between sugarcane product (fresh sugarcane of 14 ton/rai, sucrose of 1 ton/rai (7.5%)) and irrigation practice (irrigation requirement 15 times with a total of 400 mm). Irrigation requirement of the 60MAD was less than that of the conventional 50MAD.

Keywords: Management-allowed depletion (MAD), irrigation scheduling, sugarcane, crop model

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140
Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Sean,
Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140 Thailand.

[2] คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170
Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom, 73170 Thailand

[3] สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการจัดการภัยพิบัติ สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กาญจนบุรี 71150
Environmental Engineering and Disaster Management Program, Division of Engineering,
Mahidol University, Kanchanaburi, 71150 Thailand

* Corresponding author: Tel. +66(0)3435-1897, fax. +66(0)3435-2053, E-mail address: ekasit.k@ku.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาแนวทางกำหนดการให้น้ำแก่อ้อยในจังหวัดนครสวรรค์โดยการจำลองสถานการณ์จากเทคนิคการจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง (MAD) ด้วยแบบจำลอง DSSAT-CANEGRO โดยพิจารณาการปลูกอ้อย 2 รูปแบบ คือ อ้อยปลูกกับอ้อยตอ และกำหนดสถานการณ์ศึกษาเป็น 7 กรณี ประกอบด้วย (1) การปลูกอ้อยแบบเกษตรน้ำฝน (2) การปลูกอ้อยแบบให้น้ำชลประทานเมื่อความชื้นในดินพร่องลง 50% (50MAD) จากปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (3) 55% (55MAD) (4) 60% (60MAD) (5) 65% (65MAD) (6) 70% (70MAD) และ (7) 75% (75MAD) แบบจำลอง DSSAT-CANEGRO สามารถจำลองกำหนดการให้น้ำแก่อ้อยได้อย่างเหมาะสมในกรณีที่กำหนด MAD ต่างกัน โดยกำหนดการให้น้ำที่แนะนำคือ กรณี 60MAD เนื่องจากเป็นทางเลือกที่เหมาะสมระหว่างผลผลิตอ้อยที่ได้รับ (ผลผลิตอ้อย 14 ตัน/ไร่, ผลผลิตน้ำตาล 1 ตัน/ไร่ (7.5%)) กับการจัดการชลประทาน (ความต้องการน้ำ 15 ครั้ง รวม 400 มม.) ซึ่งในกรณี 60MAD มีความต้องการน้ำลดลงจากกำหนดการให้น้ำโดยทั่วไป (50MAD)

คำสำคัญ: การจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง, กำหนดการให้น้ำ, อ้อย, แบบจำลองพืช

คำนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เพราะประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับที่ 2 ของโลก รองจากประเทศบราซิล ทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่า 100,000 ล้านบาท (ศูนย์วิจัยและจัดการทางด้านพลังงาน, 2560) ในปี พ.ศ. 2562 มีพื้นที่ปลูกอ้อยประมาณ 12 ล้านไร่ จังหวัดนครสวรรค์เป็นหนึ่งในแหล่งปลูกอ้อยที่สำคัญเนื่องจากเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุด คิดเป็น 7% ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2562) พื้นที่ปลูกอ้อยในแต่ละปีไม่แน่นอนมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น (ปรีชา, ทักษิณา และกอบเกียรติ, 2557) ทั้งนี้มีเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น ราคาต้นทุนการผลิต ปริมาณผลผลิต พืชแข่งขัน รวมถึงสภาพภูมิอากาศและภัยธรรมชาติต่างๆ ที่เกิดขึ้น จึงได้มีการศึกษาเพื่อหาแนวทางเพื่อนำมาช่วยแก้ปัญหาหรือพัฒนาการผลิต โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการผลิตอ้อย (วัลลิภา และคณะ, 2558)

การพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์สำหรับระบบการปลูกอ้อยในประเทศไทย พบว่า ในปี พ.ศ. 2545 มีการศึกษาเพื่อทำการพัฒนาและทดสอบการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย โดยได้ทำการทดสอบและพัฒนาแบบจำลองอ้อย CANEGRO เพื่อศึกษาการตอบสนองของอ้อยสองพันธุ์ คือ พันธุ์ K และพันธุ์ U และนำข้อมูลจากภาคสนามมาพัฒนาเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ ระบบประมาณการผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือแบบจำลองอ้อยในประเทศไทย ThaiCane 1.0 (อรรถชัย และศรินทิพย์, 2545) ต่อมาในปี พ.ศ.2547 มีการใช้แบบจำลอง CANEGRO จำลองผลผลิตอ้อยเปรียบเทียบกับผลผลิตในแปลงเกษตรกร ผลการจำลองจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าผลจากการสำรวจเล็กน้อยแต่มีผลผลิตเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (อรรถชัย, 2547) เมื่อมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองการผลิตอ้อยในประเทศไทยมากขึ้นและมีผลการศึกษาที่น่าเชื่อถือ ทำให้เริ่มมีการนำแบบจำลอง CANEGRO มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาหาแนวทางแก้ปัญหาเรื่องปริมาณผลผลิตอ้อยแปรปรวนในปี พ.ศ.2551 มีการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตอ้อยในจังหวัดขอนแก่นและเชียงใหม่ (อรรถชัย, 2551) และปี พ.ศ.2557 มีการประเมินผลกระทบความหลากหลายของสภาพแวดล้อมต่อการผลิตอ้อยในพื้นที่ปลูกภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(ปรีชา, ทักษิณา, และกอบเกียรติ, 2557) จากการศึกษาพบว่าแนวทางหนึ่งในการลดความแปรปรวนของผลผลิตทำได้โดยการพัฒนาระบบการให้น้ำ ให้เพียงพอตลอดฤดูปลูกในแต่ละสภาพแวดล้อม

การจัดการระบบการปลูกอ้อยด้านการให้น้ำชลประทาน มักมีคำถามว่าควรให้น้ำเมื่อไรและปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสม หรือก็คือกำหนดการให้น้ำ (irrigation scheduling) อย่างไรจึงจะเหมาะสม (วิบูลย์, 2526) แนวทางหนึ่งในการกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้อย่างมีประสิทธิภาพคือการการกำหนดการให้น้ำโดยพิจารณาจากปัจจัยด้านความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง ซึ่งได้มีการศึกษาประเมินกำหนดการให้น้ำที่เหมาะสมของข้าวโพด ถั่วเขียว และข้าวสาลี โดยจะพิจารณาปัจจัยด้านการจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง (management-allowed depletion, MAD) (Padhiary, Swain, & Patra, 2020) ซึ่งค่า MAD เป็นค่าสัดส่วนของความชื้นในดินทั้งหมดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Total available water, TAW) ที่ยอมให้พร่องลงก่อนถึงจุดวิกฤต (critical point, CP) การกำหนดค่า MAD ที่เหมาะสม เป็นแนวทางหนึ่งในการกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยรักษาความชื้นในดินไม่ให้ลดลงต่ำกว่าจุดวิกฤต ซึ่งจะทำให้พืชเกิดอาการเครียดจากการขาดน้ำได้ (Allen *et al*., 1998; NRCS, 2005) บทความนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง ด้วยแบบจำลอง DSSAT-CANEGRO สำหรับเป็นแนวทางกำหนดการให้น้ำชลประทานแก่อ้อย ในจังหวัดนครสวรรค์

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

จังหวัดนครสวรรค์ตั้งอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่าง อยู่ระหว่างละติจูด 15.5°N–16.7°N และลองจิจูต 99.7°E–100.4°E มีพื้นที่ 9,597.7 ตร.กม. (5.99 ล้านไร่) (Figure 1) กรมพัฒนาที่ดินรายงานว่ามีพื้นที่การเกษตรประมาณ 4.38 ล้านไร่ หรือคิดเป็น 73% ของพื้นที่จังหวัด (พ.ศ. 2560) โดยเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยประมาณ 0.84 ล้านไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2562) พื้นที่ปลูกอ้อยส่วนใหญ่อยู่ในอำเภอตาคลี, ตากฟ้า และพยุหะคีรี ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดนครสวรรค์ เป็นที่ราบค่อนข้างเรียบแคบบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำ โดยเฉพาะตอนกลางของจังหวัด สภาพพื้นที่ทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออก มีลักษณะเป็นแบบลอนลูกคลื่นยกตัวขึ้นจากตอนกลางของจังหวัด มีแม่น้ำสายสำคัญคือ แม่น้ำเจ้าพระยาเกิดจากการไหลรวมกันของแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน ส่วนสภาพภูมิอากาศฝนที่ตกเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เริ่มระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ปริมาณฝนรวมตลอดปีระหว่าง 1,000–1,200 มม. ช่วงปี พ.ศ. 2513–2560 (Figure 2) มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี 28.6°C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 38°C ในเดือนเมษายนและต่ำสุด 18.6°C ในเดือนมกราคม

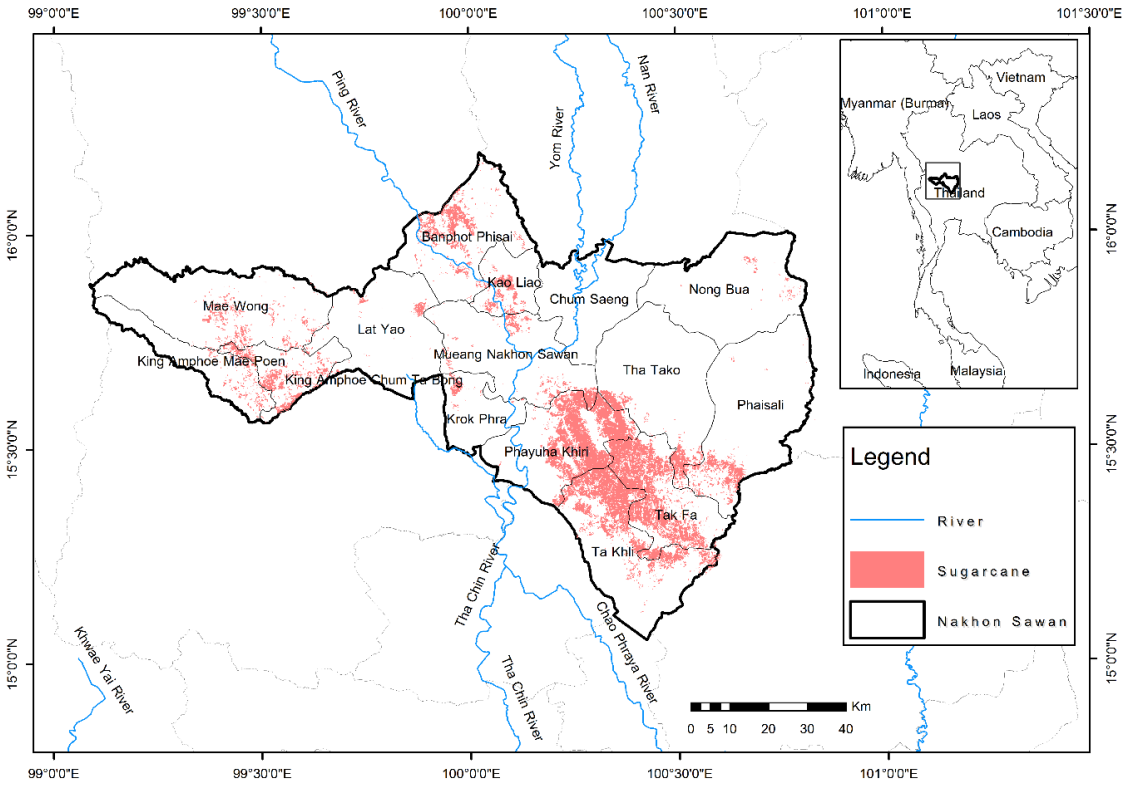

Figure 1 Boundary of Nakhon Sawan Province and location of sugarcane field

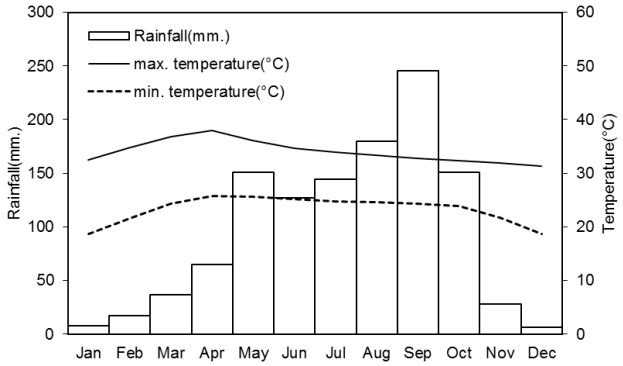

Figure 2 Mean monthly rainfall and temperature of Nakhon Sawan Province (1970-2017)

การจำแนกระบบปลูกอ้อย

การปลูกอ้อยในประเทศไทยมีฤดูกาลปลูกอ้อยและการเรียกชื่อแตกต่างกันไป ได้แก่ (1) การปลูกอ้อยต้นฝนในเขตอาศัยน้ำฝน ปลูกระหว่างเดือนเมษายน-มิถุนายน เป็นการปลูกอ้อยโดยอาศัยความชื้นจากฝนช่วงแรกที่ตก เพื่อให้อ้อยเจริญเติบโตได้จนเข้าสู่ฤดูฝน ดินที่เหมาะสมคือดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียว โดยต้องมีการเตรียมดินและชักร่องรอฝนซึ่งปริมาณน้ำฝนที่เพียงพอต่อการงอกของอ้อยสังเกตได้จากร่องอ้อยจะมีน้ำขัง (2) การปลูกอ้อยต้นฝนในเขตชลประทาน ปลูกระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน เป็นการปลูกอ้อยโดยอาศัยความชื้นจากการให้น้ำเสริมเพื่อช่วยให้อ้อยสามารถเจริญเติบโตได้จนเข้าสู่ฤดูฝน สภาพดินที่เหมาะสมคือดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียว มักอยู่ในเขตที่มีแหล่งน้ำพอสมควร (3) การปลูกอ้อยข้ามแล้งหรือปลายฝน ปลูกระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม เป็นการปลูกอ้อยโดยอาศัยความชื้นที่เก็บไว้ในดินตลอดช่วงฤดูฝน เพื่อให้อ้อยงอกและเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ในช่วงที่ไม่มีฝนตก จนกระทั่งต้นปีถัดไปถึงจะมีฝนตก ดินที่เหมาะสมคือดินร่วนปนทรายหรือดินทราย

(สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2559) โดยการปลูกอ้อยในจังหวัดนครสวรรค์ส่วนมากจะปลูกแบบตันฝนในเขตอาศัยน้ำฝน

การระเหยคายน้ำหรือการใช้น้ำของพืช

การระเหยคายน้ำ (evapotranspiration) เป็นคำศัพท์ที่บัญญัติในพจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ฉบับราชบัณฑิตยสถาน หมายถึง ปริมาณน้ำที่ระเหยจากพื้นดินและการคายน้ำของพืชไปสู่บรรยากาศ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2549) ในตำราทางด้านวิศวกรรมชลประทานแปลศัพท์ evapotranspiration เป็นการใช้น้ำของพืชโดยใช้ในความหมายเดียวกับศัพท์คำว่า consumptive use of water (เอกสิทธิ์, 2557) ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่สู่บรรยากาศในรูปของไอ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ (1) ปริมาณที่พืชดูดไปจากดินนำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อและคายออกทางใบสู่บรรยากาศซึ่งเรียกว่า การคายน้ำ (transpiration) (2) ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบๆ ต้นพืชจากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำซึ่งเรียกว่า การระเหย (evaporation) (วิบูลย์, 2526)

ช่วงระยะการเจริญเติบโตและความต้องการน้ำของอ้อย

ความต้องการน้ำของอ้อยพิจารณาจากช่วงระยะการเจริญเติบโตของอ้อย แบ่งได้ 4 ระยะ คือ (1) ระยะงอก (0-30 วัน) เป็นระยะที่อ้อยเริ่มงอกจนมีใบจริง และเป็นตัวอ่อน ระยะนี้อ้อยใช้น้ำในปริมาณไม่มาก เพราะรากอ้อยยังสั้น (2) ระยะแตกกอ (31-170 วัน) เป็นระยะที่อ้อยกำลังแตกกอและสร้างปล้อง ระยะนี้อ้อยต้องการน้ำมากกว่าระยะงอก (3) ระยะย่างปล้อง (171-295 วัน) เป็นระยะต่อเนื่องจากระยะแตกกอ อ้อยจะมีการเพิ่มความยาวและขนาดของปล้องอย่างรวดเร็ว มีความต้องการน้ำมาก (4) ระยะสุกแก่ (296-330 วัน) เป็นระยะที่อ้อยมีการเจริญเติบโตช้า และมีการสะสมน้ำตาลสูงสุด ระยะนี้อ้อยต้องการน้ำน้อย เพื่อทำให้อ้อยมีการสะสมน้ำตาลมากขึ้น (ประเสริฐ, 2547)

กำหนดการให้น้ำและการจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง

นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องมีดังนี้ Field capacity (FC) เป็นความชื้นชลประทาน คือ ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในดินเมื่อน้ำที่ไหลผ่านลงดินตามแรงโน้มถ่วงของโลกถูกระบายออกไป และอัตราการไหลลดลง โดยมักเกิดขึ้นไม่นานหลังฝนหยุดตกหรือหยุดการให้น้ำ โดยมีแรงดึงความชื้นในดินประมาณ 0.1 bar สำหรับดินทราย และ 0.3 bar สำหรับดินเนื้อปานกลางถึงละเอียด (NRCS, 2005)

Permanent wilting point (PWP) เป็นความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร คือ ปริมาณความชื้นในดินที่พืชไม่สามารถดูดซึมมาใช้ได้เพียงพอเพื่อรักษาการเจริญเติบโตของพืช และพืชไม่สามารถฟื้นตัวได้ โดยมีแรงดึงความชื้นในดินประมาณ 15 bar (NRCS, 2005)

Total available water (TAW) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ ปริมาณความชื้นในดินที่อยู่ในเขตรากพืช ที่พืชสามารถดูดซึมมาใช้ได้ หรือ ปริมาณความชื้นที่อยู่ระหว่างความชื้นชลประทาน กับ ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Allen *et al*., 1998)

Management allowed depletion (MAD) การจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง (NRCS, 2005) หรือ การขาดแคลนความชื้นในดินสูงสุด (maximum moisture deficiency) (Michael, 2007) หมายถึง ค่าสัดส่วนของความชื้นในดินทั้งหมดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (TAW) ที่ยอมให้พร่องลงก่อนที่พืชจะเกิดอาการเครียดจากการขาดน้ำ (Allen *et al*., 1998) อาจเรียกเป็น สัดส่วนความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง (soil moisture depletion fraction, p)

Readily available water (RAW) เป็นปริมาณความชื้นที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ ช่วงปริมาณความชื้นในดินที่อยู่ใกล้กับความชื้นชลประทาน (Allen *et al*., 1998) ถ้าปริมาณความชื้นในดินลดลงต่ำกว่า RAW หรือ ลดลงต่ำกว่าความชื้นที่จุดวิกฤติ (critical point, CP) (วิบูลย์, 2526) อัตราที่พืชดูดน้ำจากดินจะน้อยกว่า

ที่คายออกทางใบ พืชจะเริ่มมีอาการเหี่ยวเฉา โดยคำนวณได้ตามสมการ RAW = p TAW

การกำหนดการให้น้ำ (irrigation scheduling) เป็นการตอบคำถามว่า เมื่อใดถึงจะให้น้ำและจะให้น้ำเท่าไร ซึ่งการกำหนดปริมาณและความถี่ในการให้น้ำจะต้องควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในระหว่าง FC กับ CP หรือช่วงของ RAW โดยจะต้องเริ่มให้น้ำก่อนความชื้นในดินลดลงถึงความชื้นที่จุดวิกฤติ และปริมาณน้ำที่ให้เท่ากับปริมาณน้ำที่เพิ่มปริมาณความชื้นในดินกลับไปอยู่ที่ FC (วิบูลย์, 2526)

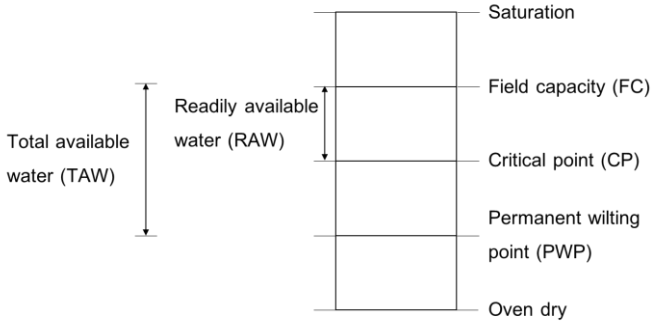

Figure 3 States of soil moisture (from oven dry to saturation) and its availability to crops

แบบจำลองระบบการปลูกอ้อย DSSAT-CANEGRO

โปรแกรมแบบจำลอง Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) (Hoogenboom *et al*., 2019) เป็นโปรแกรมแบบจำลองที่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจำลองระบบการเพาะปลูกพืชหลายชนิด แบบจำลองระบบการปลูกพืชที่ถูกบรรจุไว้ในโปรแกรม DSSAT ได้แก่ CANEGRO-Sugarcane, CROPGRO-Peanut, CERES-Rice เป็นต้น โดยข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองนี้ ได้แก่ ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลดิน ข้อมูลพืช และข้อมูลการจัดการแปลงปลูกพืช (อรรถชัย, สุวิทย์, และเฉลิมพล, 2540)

แบบจำลองระบบการปลูกอ้อย CANEGRO เป็นแบบจำลองที่ถูกบรรจุไว้ในโปรแกรม DSSAT ได้รับการพัฒนาโดยนักวิจัยในเครือข่าย IBSNAT (Tsuji, 1998) สามารถจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อยตามกระบวนทางด้านสรีระวิทยาของอ้อย โดยแบ่งออกเป็นส่วนของราก ลำต้น ใบ น้ำตาลและไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ของอ้อย รวมทั้งพลวัตของน้ำในพืชและในดิน (Ritchie, 1998) โดยเป็นการพิจารณาร่วมกันระหว่างการจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการของอ้อยสายพันธุ์ต่างๆ ภายใต้สภาพภูมิอากาศและชุดดินเฉพาะแห่งซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อระบบสมดุลน้ำและไนโตรเจนทั้งในดินและพืช โดยเป็นการพิจารณากระบวนการต่างๆ ในระดับแปลงเพาะปลูก

การประเมินสมรรถนะแบบจำลอง

การประเมินสมรรถนะแบบจำลองเลือกใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) (Willmott, 1982) เป็นเกณฑ์วัดความใกล้เคียงกันของข้อมูลจากการจำลองกับข้อมูลจากสถิติ โดยการแปลความหมายของค่า RMSE ถ้ามีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลมีความสอดคล้องกัน คำนวณจากสมการดังนี้

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}$$

โดย n คือ จำนวนข้อมูล, O_i คือ ข้อมูลตรวจวัดจากการเก็บสถิติ, P_i คือ ข้อมูลจากการจำลอง

วิธีการ

การจัดทำแบบจำลองระบบการปลูกอ้อย ได้เลือกแบบจำลอง DSSAT-CANEGRO (DSSAT version 4.7) ในการสร้างแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลดิน, ข้อมูลพืช และข้อมูลการจัดการแปลงเพาะปลูก ข้อมูลภูมิอากาศเลือกข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศนครสวรรค์ กรมอุตุนิยมวิทยาเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษา เป็นข้อมูลรายวัน 47 ปีตั้งแต่ พ.ศ. 2513-2560 (1970-2017) ประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน จำนวนชั่วโมงแสงแดด ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมเฉลี่ย จัดเตรียมข้อมูลด้วยโมดูล Weatherman ในโปรแกรม DSSAT ข้อมูลดิน ใช้ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน โดยเลือกกลุ่มชุดดินตาคลี เป็นข้อมูลตัวแทนของพื้นที่ศึกษา เป็นข้อมูลสมบัติทางกายภาพและทางชลศาสตร์ของดิน จัดเตรียมข้อมูลด้วยโมดูล SBuild ในโปรแกรม DSSAT ข้อมูลพืชใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ที่บันทึกในฐานข้อมูลพืชของแบบจำลอง DSSAT โดยในการศึกษานี้ทำการทวนสอบกับข้อมูลสถิติผลผลิตอ้อยของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ข้อมูลการจัดการแปลงเพาะปลูก เป็นข้อมูลในการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการทำแบบจำลองในโปรแกรม DSSAT รวบรวมและประมวลจากการสำรวจพื้นที่และสอบถามเกษตรกร

การจำลองสถานการณ์การปลูกอ้อยเป็น 2 รูปแบบ คือ อ้อยปลูก (planted cane) กับอ้อยตอ (ratoon) จำลองสถานการณ์เป็นรายวัน กำหนดวันที่เริ่มปลูกเป็น 1 เมษายน ระยะห่างระหว่างร่องปลูก 150 ซม. ความลึกในการปลูก 20 ซม. จำนวนลำพันธุ์อ้อยต่อพื้นที่ 6 ลำ/ตร.ม. และวันที่เก็บผลผลิต 1 เมษายนของปีถัดไป จำนวน 35 ฤดูกาลผลิตตั้งแต่ พ.ศ. 2524-2559 (1981-2016)

การกำหนดสถานการณ์ศึกษาที่จะใช้ในการรันแบบจำลอง กำหนดด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง โดยแบ่งออกเป็น 7 กรณี ประกอบด้วย (1) การปลูกอ้อยแบบเกษตรน้ำฝนไม่มีการให้น้ำชลประทาน (RAIN) (2) การปลูกอ้อยแบบให้น้ำชลประทานเมื่อความชื้นในดินพร่องลง 50% (50MAD) จากปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (3) ความชื้นในดินพร่องลง 55% (55MAD) (4) ความชื้นในดินพร่องลง 60% (60MAD) (5) ความชื้นในดินพร่องลง 65% (65MAD) (6) ความชื้นในดินพร่องลง 70% (70MAD) และ (7) ความชื้นในดินพร่องลง 75% (75MAD) โดยจะให้น้ำชลประทานแบบร่องคูที่ระดับความลึก 30 ซม. และทำการทวนสอบผลลัพธ์จากการจำลอง (validation) โดยการเปรียบเทียบผลผลิตอ้อยจากแบบจำลองกับสถิติผลผลิตอ้อย โดยตัวชี้วัดสมรรถนะของแบบจำลอง เลือกใช้ค่า RMSE (Willmott, 1982)

ผล และ ข้อวิจารณ์

ใน Figure 4 เป็นผลการจำลองระบบการปลูกอ้อยแบบเกษตรน้ำฝนไม่มีการให้น้ำชลประทาน ระหว่างฤดูการผลิต 2549/50 (2006/07) ถึง 2558/59 (2015/16) รวม 10 ฤดูการผลิต ในภาพเป็นปริมาณผลผลิตอ้อย (ปริมาณอ้อยสด) หน่วยเป็น ตัน/ไร่ เปรียบเทียบกับสถิติผลผลิตอ้อยในจังหวัดนครสวรรค์ของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (พ.ศ.2549-2558) และปริมาณฝนรวมตลอดฤดูการผลิต ผลการเปรียบเทียบได้ค่า RMSE เท่ากับ 1.25 ตัน/ไร่ ซึ่งปริมาณผลผลิตอ้อยจากการจำลองกรณีเกษตรน้ำฝนมีความสอดคล้องกับสถิติผลผลิตอ้อย โดยเทียบกับงานศึกษาอื่น พบว่าค่า RMSE ไม่เกินเกณฑ์ 2.4 ตัน/ไร่ (Singels, 2008; Marin *et al*., 2011) แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ข้อมูลมีความสอดคล้องกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลผลิตอ้อยกับปริมาณฝนรวมตลอดฤดูการผลิต พบว่าในฤดูการผลิตที่มีปริมาณฝนมาก ปริมาณผลผลิตอ้อยจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับสถิติผลผลิตอ้อย แต่มีบางฤดูการผลิตที่ประสบปัญหาอุทกภัย (อาทิ พ.ศ.2549 (2006), 2550 (2007), 2554

(2011)) ปริมาณฝนรายวันในบางวันมีปริมาณสูงมาก (มากกว่า 90.1 มม.) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2521) ปริมาณผลผลิตอ้อยจึงไม่สอดคล้องกับปริมาณฝน

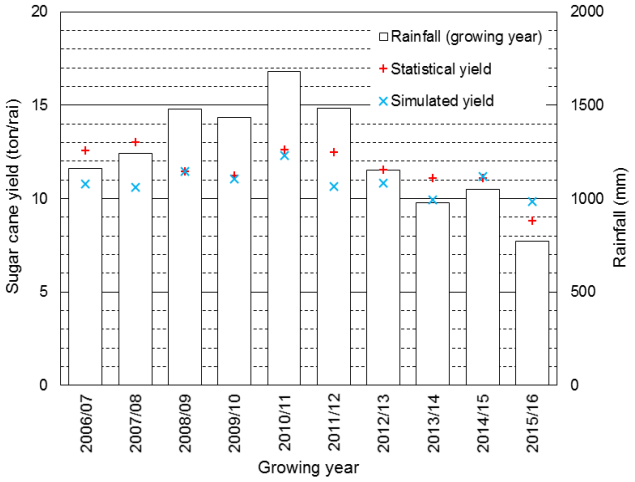

Figure 4 Sugarcane yield from simulation compared with statistical data and rainfall data (2007-2017)

ใน Table 1 สรุปผลการจำลองการปลูกอ้อยจำนวน 35 ฤดูกาลผลิต ประกอบด้วย ปริมาณฝนตลอดฤดูการผลิต (rainfall, มม.) ปริมาณน้ำชลประทาน (irrigation, มม.) จำนวนครั้งที่ให้น้ำชลประทาน (number of irrigation) ปริมาณการใช้น้ำของอ้อย (crop evapotranspiration, มม.) ผลผลิตอ้อยเป็นปริมาณอ้อยสด (sugarcane yield, ตัน/ไร่) และ ผลผลิตน้ำตาลเป็นปริมาณน้ำตาลซูโครสในอ้อย (sucrose yield, ตัน/ไร่; sucrose content, %)

ปริมาณฝนรวมตลอดฤดูการผลิตอ้อยเฉลี่ย 1,180 มม. เท่ากันทุกกรณี ในกรณีเกษตรน้ำฝนที่ไม่มีการให้น้ำชลประทาน (RAIN) มีปริมาณการใช้น้ำของอ้อยเฉลี่ย 720 มม. ส่วนในกรณีที่มีการให้น้ำชลประทาน (50MAD, 55MAD, 60MAD, 65MAD, 70MAD, 75MAD) มีปริมาณการใช้น้ำระหว่าง 850-1130 มม. การให้น้ำชลประทานระหว่าง 5-20 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ให้ระหว่าง 150-520 มม. ซึ่งมีผลให้ปริมาณการใช้น้ำของอ้อยเพิ่มขึ้น 15-36% ซึ่งสัดส่วนการเพิ่มขึ้นนั้นถ้าพิจารณาจากการปรับค่าความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง (MAD) พบว่า ถ้ากำหนดให้ความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลงน้อย ซึ่งทำให้จำนวนครั้งที่ให้น้ำชลประทานและปริมาณน้ำชลประทานจะมากมีผลให้ปริมาณการใช้น้ำของอ้อยเพิ่มขึ้นและยังส่งผลให้ปริมาณผลผลิตอ้อยและน้ำตาลเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอ้อยตอ (ratoon) กับอ้อยปลูก (planted cane) พบว่า อ้อยตอมีจำนวนครั้งที่ให้น้ำและปริมาณน้ำชลประทานมากกว่าอ้อยปลูกเล็กน้อย เพราะในระยะแรกของการปลูกอ้อย รากของอ้อยตอมีความลึกมากกว่าอ้อยปลูก ทำให้แบบจำลองพิจารณาความชื้นของดินในเขตรากพืชที่ความลึกของดินมากกว่า ซึ่งส่งผลให้ปริมาณผลผลิตอ้อย และน้ำตาลของอ้อยตอมากกว่าอ้อยปลูก ยกเว้นในกรณี 50MAD กับ 55MAD พบว่า ปริมาณผลผลิตน้ำตาลของอ้อยตอน้อยกว่าอ้อยปลูกเล็กน้อย ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะยังมีการให้น้ำชลประทานในช่วงท้ายของการปลูกอ้อย ซึ่งอ้อยมีความต้องการน้ำลดลงเพื่อสะสมน้ำตาล (ประเสริฐ, 2547)

ใน Figure 5 และ Figure 6 แสดงค่าสูงสุด-ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาณผลผลิตอ้อยและน้ำตาล มีหน่วยเป็น ตัน/ไร่ กับ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำชลประทาน มีหน่วยเป็น มม. พบว่ากรณี 50MAD มีปริมาณผลผลิตอ้อยและน้ำตาลมีค่ามากที่สุดทั้งค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางกำหนดการให้น้ำชลประทานโดยทั่วไปที่จะให้น้ำชลประทานเมื่อความชื้นในดินพร่องลง 50% (วิบูลย์, 2526) โดยมีผลผลิตอ้อยสูงสุด

18 ตัน/ไร่ ต่ำสุด 12 ตัน/ไร่ และ เฉลี่ย 14 ตัน/ไร่ มีผลผลิตน้ำตาลสูงสุด 1.8 ตัน/ไร่ ต่ำสุด 0.8 ตัน/ไร่ และเฉลี่ย 1 ตัน/ไร่ มีค่าใกล้เคียงกับกรณี 55MAD และ 60MAD แต่ในกรณี 60MAD มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำชลประทานน้อยกว่าทั้ง 2 กรณี (50MAD, 55MAD) ประมาณ 10-20% (ประมาณ 50-100 มม.) และในกรณี 60MAD ยังมีค่าความชื้นที่ยอมให้พร่องลงจากปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (60%) ใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง (soil moisture depletion fraction) ซึ่งมีค่าแนะนำสำหรับอ้อยเท่ากับ 0.65 (65%) (Allen *et al*., 1998)

Table 1 Components of sugarcane production and yield, It is the average from simulation of 35 growing years (1981-2016)

Components	Cases						
	RAIN	75MAD	70MAD	65MAD	60MAD	55MAD	50MAD
rainfall (mm)							
planted cane	1175.9	1175.9	1175.9	1175.9	1175.9	1175.9	1175.9
ratoon	1175.9	1175.9	1175.9	1175.9	1175.9	1175.9	1175.9
irrigation (mm)							
planted cane	0.0	154.8	218.4	317.2	397.6	451.6	494.7
ratoon	0.0	168.3	239.5	341.5	429.5	479.3	515.7
number of Irrigation							
planted cane	0.0	4.6	6.8	10.5	14.0	16.8	19.5
ratoon	0.0	5.0	7.5	11.3	15.1	17.8	20.3
crop evapotranspiration (mm)							
planted cane	715.3	837.3	895.2	975.0	1042.5	1089.9	1118.4
ratoon	725.6	857.0	919.1	1001.9	1069.5	1115.8	1141.0
sugarcane yield (ton/rai)							
planted cane	10.64	11.23	11.72	12.53	13.32	13.41	13.52
ratoon	11.07	11.69	12.16	12.92	13.59	13.70	13.78
sucrose yield (ton/rai)							
planted cane	0.51	0.63	0.72	0.85	0.97	1.01	1.03
ratoon	0.53	0.65	0.73	0.86	0.97	1.00	1.02
sucrose content (%)							
planted cane	4.82%	5.58%	6.11%	6.72%	7.24%	7.49%	7.62%
ratoon	4.84%	5.54%	6.02%	6.61%	7.09%	7.24%	7.38%

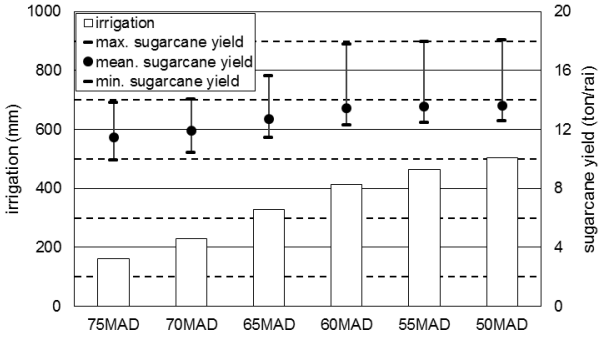

Figure 5 Compared sugarcane yield of irrigation scheduling with irrigation

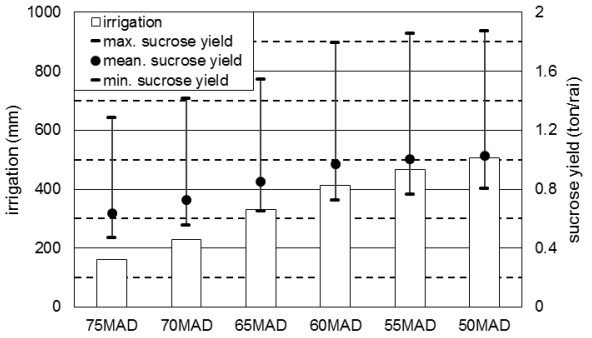

Figure 6 Compared sucrose yield of irrigation scheduling with irrigation

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง (MAD) ด้วยแบบจำลอง DSSAT-CANEGRO สำหรับเป็นแนวทางกำหนดการให้น้ำชลประทานแก่อ้อย ในจังหวัดนครสวรรค์ โดยผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง DSSAT-CANEGRO สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการ จำลองกำหนดการให้น้ำชลประทานแก่อ้อยได้อย่างเหมาะสมในกรณีที่กำหนด MAD ต่างกัน โดยกำหนดการให้น้ำที่แนะนำ คือ การปลูกอ้อยแบบให้น้ำชลประทานเมื่อความชื้นในดินพร่องลง 60% จากปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (60MAD) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำของอ้อย 1060 มม. ผลผลิตอ้อย 14 ตัน/ไร่ และน้ำตาล 1 ตัน/ไร่ (7.5%) โดยมีค่าเฉลี่ยความต้องการน้ำชลประทาน 15 ครั้งรวม 400 มม. ซึ่งกรณี 60MAD มีความต้องการน้ำชลประทานลดลงจากกำหนดการให้น้ำโดยทั่วไป (50MAD) (สามารถลดจำนวนครั้งของการให้น้ำลงได้ 5 ครั้ง และลดปริมาณน้ำที่ให้ลง 100 มม.) แต่ทั้ง 2 กรณีให้ผลผลิตอ้อยและน้ำตาลใกล้เคียงกัน

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย กรมอุตุนิยมวิทยา กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล กรมชลประทาน และขอขอบคุณกลุ่มผู้พัฒนาโปรแกรม DSSAT ที่มอบลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ (software) สำหรับการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2521). *อุตุนิยมวิทยาทั่วไป.* กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.

ประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์. 2547. อ้อย (sugarcane). ใน คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา (บรรณาธิการ), *พืชเศรษฐกิจ.* (น. 272-295). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีชา กาเพ็ชร, ทักษิณา ศันสยะวิชัย, และ กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ. (2557). ผลกระทบของความหลากหลายของสภาพแวดล้อมต่อการผลิตอ้อยในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. *วารสารวิชาการเกษตร, 32*(1), 2-15.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2549). *พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์.* กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน

วัลลิภา สุชาโต, ปิยธิดา อินทร์สุข, นัฐภัทร์ คำหล้า, และดาวรุ่ง คงเทียน. (2558). *การวิจัยและพัฒนาอ้อยสำหรับภาคกลาง เหนือ ตะวันออกและตะวันตก.* กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2526). *หลักการชลประทาน.* นครปฐม: ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยและจัดการทางด้านพลังงาน. (2560). *โครงการการจัดทำฐานข้อมูลการผลิตอ้อยและน้ำตาลทรายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีประสิทธิภาพการผลิตอุตสาหกรรมน้ำตาลทราย.* พิษณุโลก: ศูนย์วิจัยและจัดการทางด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2559). *คนรักษ์อ้อย.* กาญจนบุรี: สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.) กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2562). *รายงานพื้นที่ปลูกอ้อยปีการผลิต 2561/62.* กรุงเทพฯ:กลุ่มวิชาการและสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย.

อรรถชัย จินตะเวช และศรินทิพย์ พรหมฤทธิ์. (2545). *การประมาณผลผลิตอ้อยด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์.* เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรรถชัย จินตะเวช, สุนทร บูรณะวิริยะกุล, ศรินทิพย์ พรหมฤทธิ์, วินัย ศรวัต, ก้อนทอง พวงประโคน, ปราการ ศรีงาม, และรัชภูมิ ใจกล้า. (2547). *ระบบสนับสนุนการตัดสินใจผลิตพืชระดับท้องถิ่น: ท้องทุ่งไทย ๑.๐.* กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

อรรถชัย จินตะเวช, สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์, และเฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง. (2540). *การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย.* เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรรถชัย จินตะเวช. (2551). การจำลองผลกระทบของสภาพบรรยากาศในอนาคตต่อการผลิตอ้อย. *วารสารแก่นเกษตร, 36*(2), 99-107.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. (2557). *การใช้น้ำของพืช: ทฤษฎีและการประยุกต์.* นครปฐม: ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome, 300*(9), D05109.

Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Shelia, V., Wilkens, P. W., Singh, U., ... Jones, J. W. (2019). Advances in crop modeling for a sustainable agriculture. In K.J. Boote (Ed.), *The DSSAT Crop Modeling Ecosystem* (pp. 173-216). Cambridge, United Kingdom: Burleigh Dodds Science.

Marin, F. R., Jones, J. W., Royce, F., Suguitani, C., Donzeli, J. L., Filho, W. J. P., & Nassif, D. S. (2011). Parameterization and evaluation of predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian sugarcane. *Agronomy Journal, 103*(2), 304-315.

Michael, M.A. (2007). *Irrigation theory and practice* (2nd ed.). New delhi: Vikas Publishing House.

NRCS. (2005). *National engineering handbook: irrigation guide*. Washington, DC: Natural Resources Conservation Service (NRCS) The United States Department of Agriculture (USDA).

Padhiary, J., Swain, J. B., & Patra, K. C. (2020). Optimized irrigation scheduling using swat for improved crop water productivity. *Irrigation and Drainage, 69*(3), 387-397.

Ritchie, J.T. (1998). Soil water balance and plant water stress. In G. Y. Tsuji (Ed.), *The DSSAT Crop Modeling Ecosystem* (pp. 41-54). *Understanding Options for Agricultural Production*. Dordrecht: Springer.

Singels, A. 2008. DSSAT version 4.5: Canegro-Sugarcane Plant Module. Scientific Documentation.

Singels, A., Jones, M., & Van der Berg, M. (2008). *DSSAT v. 4.5 DSSAT/CANEGRO: sugarcane plant module: scientific documentation.* Mount Edgecombe: International Consortium for Sugarcane Modeling South African Sugarcane Research Institute.

Tsuji, G.Y. (1998). Network management and information dissemination for agrotechnology transfer, In G. Y. Tsuji (Ed.), *Understanding Options for Agricultural Production.* (pp. 367-381). Dordrecht: Springer.

Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society, 63*(11), 1309-1313.