การใช้แบบจำลองการปลูกพืช DSSAT เพื่อประเมินผลิตภาพดินที่ใช้ปลูกอ้อย ในจังหวัดสระแก้ว

An Application of DSSAT for Productivity Assessment of Sugarcane Growing Soils in Sa Kaeo Province

สุวภัทร สกุลอารีย์มิตร[1] เสาวนุช ถาวรพฤกษ์[1,*] และ ณัฐพล จิตมาตย์[1]

Suwaphat Skunareemit[1], Saowanuch Tawornpruek[1,*] and Natthapol Chittamart[1]

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 14 พฤษภาคม 2564 Received: 14 May 2021

ปรับแก้ไข: 28 มิถุนายน 2564 Revised: 28 June 2021

รับตีพิมพ์: 1 กรกฎาคม 2564 Accepted: 1 July 2021

* Corresponding author: agrsnt@ku.ac.th

ABSTRACT: The DSSAT cropping model can determine the relationship between the environment and crop yield and can also effectively predict crop yields based on local environmental differences in different regions. This research aimed to evaluate the accuracy of the DSSAT cropping model for assessing the productivity of sugarcane growing soils in Sa Kaeo province. Data collection were soil information and plant management data in the experimental plots of the representative sugarcane growing soils in Sa Kaeo province, i.e., Thap Prik and Munchakiri soil series. The data from the experimental plots were added to the DSSAT cropping model together with the climate data and plant genetic coefficient data from reference sources. The model performance was evaluated by comparing the simulated sugarcane yields with the actual yields obtained from the experimental plot. Then, simulating mapping units were generated to evaluate sugarcane growing soil productivity in Sa Kaeo province. The results found that the sugarcane yields simulated from the DSSAT cropping model were lower than the actual yields obtained from the experimental plot, excepted stalk fresh mass. The DSSAT cropping model most precisely estimated the stalk height with a root mean square error of 0.142–0.588 and the agreement index between 0.884–0.989. The sugarcane planting simulation results using the DSSAT cropping model for estimation of the soil productivity of sugarcane growing soils in Sa Kaeo province found that the soil series with the highest sugarcane productivity potential was Thap Prik soil series, followed by Bang Khla, Wang Hai, Wang Saphung, Chiang Khan and Munchakiri soil series.

Keywords: Cropping model, sugarcane, soil productivity

Agricultural Sci. J. (2021) Vol. 52(1): 32–45 ว. วิทย. กษ. (2564) 52(1): 32–45

บทคัดย่อ

แบบจำลองการปลูกพืช DSSAT สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมกับผลผลิตพืช และคาดการณ์ผลผลิตของพืชตามความแตกต่างของสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแม่นยำของแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT ในการประเมินผลิตภาพของดินที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้ว โดยจัดเก็บข้อมูลดินและข้อมูลการจัดการพืชในแปลงทดลองของชุดดินที่เป็นตัวแทนของดินที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้ว ได้แก่ ชุดดินทับพริก และชุดดินมัญจาคีรี นำข้อมูลจากแปลงทดลองเข้าแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT ร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศและข้อมูลสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืชจากแหล่งอ้างอิง ประเมินผลการทำงานของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบผลผลิตอ้อยที่ได้จากแบบจำลองกับผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลอง จากนั้น สร้างหน่วยแผนที่การจำลองเพื่อประเมินผลิตภาพดินที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้ว ผลการศึกษาพบว่า ผลผลิตอ้อยที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT มีค่าต่ำกว่าผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลอง ยกเว้น น้ำหนักสดลำ แบบจำลองการปลูกพืช DSSAT สามารถประเมินความสูงลำได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า root mean square error อยู่ระหว่าง 0.142–0.588 และมีค่า agreement index อยู่ระหว่าง 0.884–0.989 และผลการจำลองการปลูกอ้อยด้วยแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT เพื่อประเมินผลิตภาพดินที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้ว พบว่า ชุดดินที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตอ้อยมากที่สุด คือ ชุดดินทับพริก รองลงมาคือ ชุดดินบางคล้า ชุดดินวังไห ชุดดินวังสะพุง ชุดดินเชียงคาน และชุดดินมัญจาคีรี ตามลำดับ

คำสำคัญ: แบบจำลองการปลูกพืช, อ้อย, ผลิตภาพดิน

บทนำ

อ้อย (Sugarcane) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในวงศ์ Gramineae มีถิ่นกำเนิดทางตอนเหนือของประเทศอินเดีย และหมู่เกาะนิวกินีในมหาสมุทรแปซิฟิก สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเขตร้อน เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่นำผลผลิตมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทราย ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญของอ้อย คือ ระบบรากเป็นรากฝอยแผ่กระจายโดยรอบลำต้น ลำต้นเป็นส่วนขยายพันธุ์และสะสมน้ำตาล มีลักษณะเป็นปล้อง โดยแต่ละปล้องจะมีข้อ (Node) และตา (Bud) ส่วนของใบอ้อยประกอบด้วยกาบใบที่โอบติดอยู่รอบปล้องและใบ ซึ่งจะมีไขและขนเล็ก ๆ ปกคลุม (Suksatan, 1999) ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยมากเป็นอันดับสองรองจากบราซิล และส่งออกน้ำตาลทรายติดอันดับ 1 ใน 3 ของโลก นอกจากนี้ ภายในประเทศไทยเองยังมีความต้องการใช้น้ำตาลทรายเพื่อบริโภคจำนวนมาก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย พบว่า ในปีการผลิต 2561/62 จังหวัดสระแก้วเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุดในภาคตะวันออก คิดเป็นร้อยละ 46 ของพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคตะวันออก และมีปริมาณผลผลิตอ้อยประมาณ 4.5 ล้านตันต่อปี (Office of Cane and Sugar Board, 2019) การปลูกอ้อยนอกจากจะได้ผลผลิตอ้อยเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลแล้ว ยังให้ผลพลอยได้จากของเหลือจากกระบวนการผลิตอ้อยและน้ำตาลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ เช่น ชานอ้อยนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงหรือเยื่อกระดาษ กากตะกอนหม้อกรองนำไปทำเป็นปุ๋ยทางการเกษตร และกากน้ำตาลนำไปใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์ ผงชูรส หรือนำไปเป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น และเนื่องจากสถานการณ์การตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศมีความต้องการผลิตผลจากอ้อยเป็นจำนวนมาก แต่กระบวนการผลิตอ้อยยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอประกอบกับงบประมาณในการพัฒนาการผลิตอ้อยเชิง

ระบบที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องมีระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สามารถเสนอแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดงบประมาณ และปรับปรุงพัฒนาได้ง่ายและมีความต่อเนื่อง เพื่อส่งเสริมด้านการแข่งขันของประเทศในเวทีการค้าโลก

ปัจจุบันมีการนำแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT (Decision support system for agrotechnology transfer) ซึ่งเป็นแบบจำลองระบบการผลิตพืชที่สามารถใช้เป็นตัวแทนระบบการเพาะปลูกจริง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืช โดยคำนวณการเจริญเติบโตของพืชที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้น ซึ่งสามารถนำมาใช้ประเมินผลิตภาพของดินตามชนิดพืช หรือประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านอื่น ๆ ได้ แบบจำลองการปลูกพืชมีความต้องการข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ 1) ข้อมูลภูมิอากาศ (Weather data) เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และจำนวนวันฝนตก 2) ข้อมูลพันธุกรรมพืช (Genetic coefficient) เช่น อายุพืชและความสูงพืช 3) ข้อมูลดิน (Soil parameters) เช่น ข้อมูลชุดดิน ความลึกดิน สมบัติทางเคมี และสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน และ 4) ข้อมูลการจัดการพืช (Management data) เช่น ความถี่ในการปลูกและปริมาณการให้น้ำ (Uehara and Tsuji, 1998; Hoogenboom, 2014; Hoogenboom *et al.,* 2019) จากการศึกษาของ Kapetch (2016) ที่ใช้แบบจำลอง DSSAT และแบบจำลอง DNDC95 ในการประเมินผลผลิตอ้อย 3 สายพันธุ์ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยการใช้ข้อมูลน้ำฝนที่เก็บรวบรวมระหว่างปี พ.ศ. 2554–2555 ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง DSSAT ประเมินผลผลิตได้สูงเกินจริง แต่เมื่อมีการปรับเทียบข้อมูลน้ำใหม่ พบว่า แบบจำลอง DSSAT ประเมินผลผลิตดีขึ้น จึงมีข้อแนะนำว่าควรเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำขึ้น และการศึกษาของ Marin *et al*. (2011) ใช้แบบจำลอง DSSAT/CANEGRO ศึกษาปัจจัยในการคาดการณ์ผลผลิตอ้อย 5 แปลง ทางตอนใต้ของประเทศบราซิล โดยข้อมูลพันธุกรรมพืชที่นำเข้าแบบจำลองบางพารามิเตอร์ เช่น ข้อมูลการเจริญเติบโตของใบ และการแตกกอ ได้จากการปรับค่าให้เหมาะสมด้วย GLUE algorithm ผลจากการศึกษา พบว่า ข้อมูลแต่ละปัจจัยมีความจำเพาะต่อพื้นที่ แบบจำลองสามารถคาดการณ์ผลผลิตได้ดี แต่มีความแม่นยำน้อยเมื่อนำไปคาดการณ์ปริมาณซูโครสในลำต้น นอกจากนี้ ข้อมูลสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืชแต่ละชนิดต้องเก็บรวบรวมข้อมูลจากหลายฤดูกาลเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำและแน่นอนสำหรับการนำไปใช้ในแบบจำลอง DSSAT (Hunt and Boote, 1998) จากผลการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การใช้แบบจำลอง DSSAT มีความจำเพาะต่อตัวแปรเชิงพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับค่าให้เหมาะสมกับพื้นที่ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแม่นยำของแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT ในการประเมินผลิตภาพของดินที่ใช้ปลูกอ้อย ในจังหวัดสระแก้ว

อุปกรณ์และวิธีการ

การคัดเลือกพื้นที่ของดินที่ศึกษา

ศึกษาในชุดดินที่ใช้ปลูกอ้อยมากในจังหวัดสระแก้ว ได้แก่ ชุดดินทับพริก (Fine, isohyperthermic Ultic Haplustalfs) ในพื้นที่หมู่ที่ 4 บ้านบ่อนางชิง ตำบลห้วยโจด อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว ซึ่งจำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น Cdkm จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อละเอียด ดินบนเป็นดินเหนียวสีเทาเข้มปนสีน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลเข้ม และพบการสะสมของปูน ปฏิกิริยาดินสนามเป็นกลาง (pH 7.0) และชุดดินมัญจาคีรี (Sandy, isohyperthermic Typic Paleustults) ในพื้นที่หมู่ที่ 1 บ้านห้วยโจด ตำบลห้วยโจด อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว ซึ่งจำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น SLdekm จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายสีน้ำตาลอ่อน ปฏิกิริยาดินสนามของดินเป็นกรดจัด (pH 5.5)

แปลงทดลองที่ศึกษา

ทดลองปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete block design) ประกอบด้วย 3 ตำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 (T1: Control) คือ ตำรับควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)

ตำรับการทดลองที่ 2 (T2: NPK) ใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักตามค่าวิเคราะห์ดิน (NPK fertilizer)

ตำรับการทดลองที่ 3 (T3: NPK+MMF) ใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหาร (Minor and micronutrient fertilizer: MMF) ทั้งนี้ ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหารมีส่วนประกอบ คือ Zn 2.85%, S 4.75%, Ca 13.25%, Cu 0.3%, Mg 9.44%, B 0.95%, Fe 1.90% และ Mn 1.43%

ในแต่ละพื้นที่ทดลองใช้แปลงอ้อยขนาด 1,815 ตารางเมตร มีพื้นที่เก็บข้อมูล 1,080 ตารางเมตร (45 ตารางเมตรต่อตำรับการทดลอง) ใช้ระยะระหว่างร่องปลูก 1.5 เมตร และมีความยาวแปลง 10 เมตร เก็บตัวอย่างดินแบบสุ่ม (Composite sample) ในแปลงทดลองก่อนเริ่มทดลอง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (NPK) สำหรับการคำนวณปริมาณปุ๋ยตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในพื้นที่ปลูกอ้อยตามชั้น FCC ที่ระดับผลผลิตเป้าหมายเฉลี่ย 15 ตันต่อไร่ ที่ได้จากการศึกษาของ Tawornpruek *et al.* (2018) จากนั้น ใส่ปุ๋ยตามตำรับการทดลอง โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่หลังจากตัดอ้อยและเริ่มไว้ตออ้อย และครั้งที่ 2 ใส่เมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน โดยอัตราปุ๋ยในแต่ละตำรับการทดลองมีรายละเอียดดังแสดงใน Table 1

Table 1 Fertilization rates applied in the representative sugarcane growing soils

Treatment	Fertilization rate (kg rai^{-1})							
	1st application				2nd application			
	46–0–0	18–46–0	0–0–60	MMF[1]	46–0–0	18–46–0	0–0–60	MMF
Thap Prik (Fine, isohyperthermic Ultic Haplustalfs)								
T1: Control	0	0	0	0	0	0	0	0
T2: NPK[2]	17	7	14	0	17	15	14	0
T3: NPK+MMF[3]	17	7	14	2	17	15	14	2
Munchakiri (Sandy, isohyperthermic Typic Paleustults)								
T1: Control	0	0	0	0	0	0	0	0
T2: NPK	35	18	53	0	35	32	53	0
T3: NPK+MMF	35	18	53	2	35	32	53	2

[1] MMF = minor and micronutrient fertilizer

[2] NPK = NPK fertilizer

[3] NPK+MMF = NPK fertilizer with minor and micronutrient fertilizer

การเก็บข้อมูล

บันทึกข้อมูลดินภาคสนาม โดยการศึกษาสัณฐานวิทยาสนามของดิน ด้วยการขุดหน้าตัดดินขนาด กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และลึก 60 เซนติเมตร ซึ่งครอบคลุมระดับความลึกของเขตรากอ้อย แต่งหน้าตัดดินให้สามารถมองเห็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดินอย่างชัดเจน แบ่งชั้นดินตามการกำเนิด และเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีมาตรฐานของ National Soil Survey Center (1996) วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density: BD) โดยวิธี core method ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดิน (Saturated hydraulic conductivities: Ksat) โดยวิธีพลังงานขับน้ำผันแปร วิเคราะห์การกระจายของขนาดอนุภาค โดยวิธีไปเปต และวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ พีเอชดิน (Soil pH) โดยใช้เครื่องมือวัดพีเอช ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon: OC) โดยวิธี Walkley and Black titration จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic matter: OM) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โดยวิธี Bray II และวัดปริมาณฟอสฟอรัสโดยเครื่อง Spectrophotometer โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) โดยการสกัดด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และวัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity: CEC) โดยการชะล้างแคตไอออนด้วยสารละลาย 1 M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และแทนที่แคตไอออนของแอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%) ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณหาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

ข้อมูลภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุดรายวัน อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ปริมาณน้ำฝนรายวัน และปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์รายวัน ตั้งแต่วันแรกที่เริ่มไว้ตออ้อยจนกระทั่งวันเก็บเกี่ยวอ้อย รวบรวมโดยใช้โปรแกรมคาดการณ์สภาพภูมิอากาศ POWER Data Access Viewer

บันทึกข้อมูลการจัดการพืชในแปลงทดลองตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา และบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อยในช่วงอายุต่าง ๆ ได้แก่ 3 6 9 และ 12 เดือน โดยการสุ่มเก็บข้อมูลจากตัวอย่างอ้อย 10 ต้นต่อตำรับการทดลอง ข้อมูลที่บันทึก ประกอบด้วย ความสูงลำ จำนวนลำ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำ และน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของอ้อย เมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยวอ้อย วิเคราะห์ค่า commercial cane sugar (CCS) ในลำอ้อย เพื่อหาปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของซูโครสบริสุทธิ์ และผลผลิตน้ำตาลทั้งหมด

การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความแม่นยำของการทำนายด้วยแบบจำลอง DSSAT ใช้ตำรับการทดลองปุ๋ยเป็นสถานการณ์จำลอง โดยนำเข้าข้อมูลดินที่ได้จากแปลงทดลองในแต่ละตำรับการทดลอง ข้อมูลภูมิอากาศจากเขตภูมิอากาศจังหวัดสระแก้ว ข้อมูลสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช และข้อมูลการจัดการพืชในแปลง บรรจุลงแฟ้มข้อมูลในโปรแกรม DSSAT (Table 2) ประมวลผลออกมาเป็นผลผลิตที่ได้จากแบบจำลอง (Simulated yield) จากนั้น เปรียบเทียบกับผลผลิตจริง (Observed yield) ที่บันทึกจากแปลงทดลองและบรรจุไว้ในแฟ้มข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ T ซึ่งเป็นข้อมูลการจัดการพืชในช่วงที่อ้อยมีอายุ 3 6 และ 9 เดือน และไฟล์ A ซึ่งเป็นข้อมูลการจัดการพืชในช่วงเก็บเกี่ยวของอ้อย โดยพิจารณาความแม่นยำของแบบจำลองด้วยค่า root mean square error (RMSE) (Jones *et al*., 1994) และค่า agreement index (AI) (Albers and Wards, 1991) ที่คำนวณจากสมการ (1) และ (2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i' - Y_i)^2} \quad \text{-----(1)}$$

$$AI = 1 - \frac{\sum (Y_i' - Y_i)^2}{\sum ((Y_i' - Y) + (Y_i - Y))^2} \quad \text{-----(2)}$$

โดย Y_i' = ค่าการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง
Y_i = ค่าที่เกิดขึ้นจริง
n = จำนวนข้อมูลนำเข้าทั้งหมด

กรณีที่ค่า RMSE ค่อนข้างต่ำ แสดงว่า แบบจำลองคาดการณ์ได้ค่อนข้างแม่นยำ (Jones *et al*., 1994) โดยค่า AI ที่อยู่ในช่วง 0.75–1.00 แสดงถึงการยอมรับได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Albers and Wards, 1991) และมีตัวแปรที่ใช้เปรียบเทียบ ได้แก่ ความสูงลำ (Stalk height) น้ำหนักสดลำ (Stalk fresh mass) น้ำหนักแห้งลำ (Stalk dry mass) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (Aerial dry mass) และผลผลิตน้ำตาล (Sugar yield)

Table 2 Simulation data requirements and their data sources

Data requirements	Data sources
Soil data	Soil profile description and soil laboratory analysis
Weather data	POWER Data Access Viewer version 1.1.1
Genetic coefficient data	Data validation (Kapetch, 2016)
Crop management data	Crop data in experimental plot

การประเมินผลิตภาพดินที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้วด้วยแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT

สร้างเขตภูมิอากาศด้วยวิธี Thiessen polygon โดยการนำเข้าข้อมูลตำแหน่งตามระบบพิกัดบนพื้นโลก (GPS) ของสถานีตรวจวัดอากาศบริเวณพื้นที่จังหวัดสระแก้วจำนวน 3 เขต ได้แก่ เขตภูมิอากาศสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสระแก้ว เขตภูมิอากาศสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดฉะเชิงเทรา และเขตภูมิอากาศสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี แล้วกำหนดรหัสเขตภูมิอากาศสำหรับเชื่อมโยงและประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT จากนั้นสร้างหน่วยแผนที่การจำลอง (Simulation mapping unit: SMU) ซึ่งเป็นหน่วยแผนที่ที่มีความสำคัญในการเชื่อมโยง และประมวลผลข้อมูลที่ได้จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และผลวิเคราะห์จากแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT เวอร์ชั่น 3.5 (Hoogenboom, 1999) และ เวอร์ชั่น 4.6 (Hoogenboom, 2014) เข้าด้วยกัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ ชุดข้อมูลที่ประกอบด้วยชุดดินที่ใช้ปลูกอ้อยมากที่สุด 6 อันดับแรกของพื้นที่ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้ว ที่ปลูกอ้อยตามเขตภูมิอากาศ ได้แก่ ชุดดินทับพริก ชุดดินเชียงคาน ชุดดินวังสะพุง ชุดดินวังไห ชุดดินบางคล้า และชุดดินมัญจาคีรี และผลผลิตอ้อยที่แบบจำลองการปลูกพืช DSSAT ประเมินได้ตามสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น โดยในแต่ละชุดดินทำการจำลองรูปแบบการใส่ปุ๋ย 2 แบบ ได้แก่ การใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักตามค่าวิเคราะห์ดิน (NPK) และการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหาร (NPK+MMF) ดังรายละเอียดใน Table 3

Table 3 Fertilization rates applied in the sugarcane growing soils

Treatment	Fertilization rate (kg rai^{-1})			
	N	P_2O_5	K_2O	MMF
Thap Prik (Fine, isohyperthermic Ultic Haplustalfs)				
NPK[1]	0	3	6	0
NPK+MMF[2]	0	3	6	1
Chiang Khan (Clayey–skeletal, isohyperthermic Typic Kandiustults)				
NPK	14	16	25	0
NPK+MMF	14	16	25	1
Wang Saphung (Fine, isohyperthermic Typic Haplustalfs)				
NPK	6	6	22	0
NPK+MMF	6	6	22	1
Wang Hai (Fine, isohyperthermic Oxyaquic Paleustalfs)				
NPK	6	6	22	0
NPK+MMF	6	6	22	1
Bang Khla (Loamy–skeletal, isohyperthermic Typic Haplustults)				
NPK	20	14	26	0
NPK+MMF	20	14	26	1
Munchakiri (Sandy, isohyperthermic Typic Paleustults)				
NPK	16	12	24	0
NPK+MMF	16	12	24	1

[1] NPK = NPK fertilizer

[2] NPK+MMF = NPK fertilizer with minor and micronutrient fertilizer

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมบัติดินของแปลงทดลอง

แปลงทดลองชุดดินทับพริก ดินบนเป็นดินเหนียวสีเทาเข้มปนสีน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลเข้ม และพบการสะสมของปูน ปฏิกิริยาดินสนามเป็นกลาง (pH 7.0) สำหรับแปลงทดลองชุดดินมัญจาคีรี ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายสีน้ำตาลอ่อน ปฏิกิริยาดินสนามของดินเป็นกรดจัด (pH 5.5) ดังแสดงใน Table 4 โดยลักษณะภูมิประเทศและหน้าตัดดินขนาดเล็ก (Minipit) ของดินที่ศึกษาแสดงใน Figure 1

Table 4 Soil properties of the study soils

Soil parameter	Thap Prik soil series		Munchakiri soil series	
	Topsoil	Subsoil	Topsoil	Subsoil
Soil texture[1]	C	C	SL	SL
Bulk density (Mg m^{-3})	1.45	1.72	1.43	1.56
Ksat[2] (cm hr^{-1})	4.20	–	27.90	3.06
Soil pH (1:1 H_2O)	7.60	6.80	5.95	6.40
Organic matter (g kg^{-1})	15.20	10.70	12.80	0.82
Total nitrogen (%)	0.63	0.61	0.48	0.15
Available P (mg kg^{-1})	3.24	1.72	49.09	11.02
Available K (mg kg^{-1})	65.64	56.46	177.46	69.58
CEC[3] (cmol(+) kg^{-1})	50.30	45.93	6.90	2.95
Extracted Ca (cmol(+) kg^{-1})	35.00	23.90	2.71	0.82
Extracted Mg (cmol(+) kg^{-1})	9.49	10.99	1.08	0.39
Extracted K (cmol(+) kg^{-1})	0.17	0.15	0.46	0.18
Extracted Na (cmol(+) kg^{-1})	0.39	0.94	0.03	0.21
%Base saturation	89.56	78.63	62.43	53.77

[1] C = clay, SL = sandy loam

[2] Ksat = saturated hydraulic conductivities

[3] CEC = cation exchange capacity

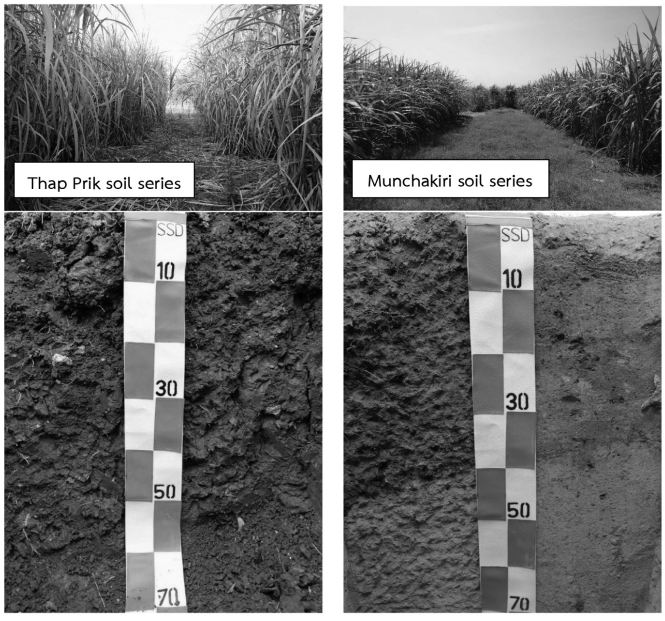

Figure 1 Profile characteristics of sugarcane growing soils in the studied areas

ความแม่นยำของแบบจำลอง DSSAT

ผลการศึกษาความแม่นยำของแบบจำลองกับอัตราปุ๋ยในแต่ละตำรับการทดลอง ซึ่งเป็นสถานการณ์จำลองด้านการจัดการดิน มีรายละเอียดดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 (ตำรับควบคุม)

แบบจำลองประเมินผลค่าผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลองในทุก ๆ ตัวแปรที่ใช้เปรียบเทียบ ยกเว้น น้ำหนักสดลำ โดยแบบจำลองประเมินความสูงลำได้แม่นยำที่สุดทั้งในแปลงชุดดินทับพริกและชุดดินมัญจาคีรี ซึ่งมีค่า RMSE เท่ากับ 0.212 และ 0.588 และค่า AI เท่ากับ 0.973 และ 0.884 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Comparison of the simulated growth and yield components with the actual values in the control plot (T1)

Variable	T1: Control				
	Soil series[1]	Mean observed	Mean simulated	RMSE[2]	AI[3]
Stalk height (m)	Tpk	1.49	1.30	0.212	0.973
	Mki	2.37	1.91	0.588	0.884
Stalk fresh mass (kg rai^{-1})	Tpk	6,602	12,850	42.552	0.576
	Mki	16,104	21,266	33.673	0.872
Stalk dry mass (kg rai^{-1})	Tpk	1,921	537	9.559	0.571
	Mki	4,183	528	25.924	0.488
Aerial dry mass (kg rai^{-1})	Tpk	5,260	1,700	25.964	0.579
	Mki	12,554	1,733	76.859	0.468
Sugar yield (kg rai^{-1})	Tpk	1,026	152	5.664	0.406
	Mki	1,654	162	10.114	0.463

[1] Tpk = Thap Prik soil series, Mki = Munchakiri soil series

[2] RMSE = root mean square error where value close to 1 indicates high model efficiency

[3] AI = agreement index gives a value between 0 and 1 where a value close to 1 indicates high model efficiency

ตำรับการทดลองที่ 2 (NPK)

แบบจำลองประเมินผลค่าผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลองในทุก ๆ ตัวแปรที่ใช้เปรียบเทียบ ยกเว้น น้ำหนักสดลำ โดยแบบจำลองประเมินความสูงลำได้แม่นยำที่สุดทั้งในแปลงชุดดินทับพริกและชุดดินมัญจาคีรี มีค่า RMSE เท่ากับ 0.142 และ 0.424 และค่า AI เท่ากับ 0.989 และ 0.935 ตามลำดับ (Table 6)

Table 6 Comparison of the simulated growth and yield components with the actual values in the NPK experimental plot (T2)

Variable	T2: NPK[1]				
	Soil series[2]	Mean observed	Mean simulated	RMSE[3]	AI[4]
Stalk height (m)	Tpk	1.57	1.50	0.142	0.989
	Mki	2.31	2.09	0.424	0.935
Stalk fresh mass (kg rai^{-1})	Tpk	8,095	13,172	31.646	0.777
	Mki	15,085	19,378	39.997	0.833
Stalk dry mass (kg rai^{-1})	Tpk	2,360	1,751	4.714	0.907
	Mki	4,279	3,593	5.478	0.952
Aerial dry mass (kg rai^{-1})	Tpk	6,620	3,473	24.528	0.693
	Mki	10,940	4,744	47.140	0.624
Sugar yield (kg rai^{-1})	Tpk	1,200	612	3.909	0.751
	Mki	1,557	1,054	3.249	0.862

[1] NPK = NPK fertilizer

[2] Tpk = Thap Prik soil series, Mki = Munchakiri soil series

[3] RMSE = root mean square error where value close to 1 indicates high model efficiency

[4] AI = agreement index gives a value between 0 and 1 where a value close to 1 indicates high model efficiency

ตำรับการทดลองที่ 3 (NPK+MMF)

แบบจำลองประเมินผลค่าผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลองในทุก ๆ ตัวแปรที่ใช้เปรียบเทียบ ยกเว้น น้ำหนักสดลำ โดยแบบจำลองประเมินความสูงลำได้แม่นยำที่สุดทั้งในแปลงชุดดินทับพริกและชุดดินมัญจาคีรี มีค่า RMSE เท่ากับ 0.159 และ 0.452 และมีค่า AI เท่ากับ 0.987 และ 0.927 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 7

Table 7 Comparison of the simulated growth and yield components with the actual values in the NPK+MMF experimental plot (T3)

Variable	T3: NPK+MMF[1]				
	Soil series[2]	Mean observed	Mean simulated	RMSE[3]	AI[4]
Stalk height (m)	Tpk	1.51	1.51	0.159	0.987
	Mki	2.35	2.11	0.452	0.927
Stalk fresh mass (kg rai^{-1})	Tpk	7,681	15,587	34.882	0.751
	Mki	15,894	20,595	36.023	0.860
Stalk dry mass (kg rai^{-1})	Tpk	2,198	2,402	1.706	0.990
	Mki	3,996	2,713	9.312	0.837
Aerial dry mass (kg rai^{-1})	Tpk	5,836	4,305	12.979	0.864
	Mki	12,077	5,039	53.304	0.614
Sugar yield (kg rai^{-1})	Tpk	1,118	895	1.841	0.923
	Mki	1,595	1,168	2.796	0.907

[1] NPK+MMF = NPK fertilizer with minor and micronutrient fertilizer

[2] Tpk = Thap Prik soil series, Mki = Munchakiri soil series

[3] RMSE = root mean square error where value close to 1 indicates high model efficiency

[4] AI = agreement index gives a value between 0 and 1 where a value close to 1 indicates high model efficiency

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ผลการประเมินค่าผลผลิตที่ได้จากแบบจำลอง DSSAT กับผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลองในตำรับการทดลองที่ 2 และ 3 มีความแม่นยำมากกว่าตำรับการทดลองที่ 1 ทั้งในแปลงชุดดินทับพริกและชุดดินมัญจาคีรี ในทุก ๆ ตัวแปรด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยที่นำมาใช้เปรียบเทียบ เนื่องจากแบบจำลอง DSSAT จะจำลองผลผลิตได้อย่างแม่นยำเมื่ออยู่ในระบบที่มีปริมาณไนโตรเจนในดินเป็นปัจจัยจำกัด แต่ข้อมูลตำรับการทดลองที่ 1 คือ ไม่ใส่ปุ๋ย โดยไม่มีการเติมไนโตรเจน ทำให้แบบจำลอง DSSAT ประเมินผลผลิตอย่างมีข้อจำกัด ส่งผลให้มีความแม่นยำลดลง

การประเมินผลิตภาพดินที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้วด้วยแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT

ในการประเมินกำลังผลิตของดินที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้ว ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกอ้อย ข้อมูลเขตภูมิอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งจังหวัดสระแก้ว และข้อมูลชุดดินที่เป็นตัวแทนทั้งหมด 6 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินทับพริก ชุดดินเชียงคาน ชุดดินวังสะพุง ชุดดินวังไห ชุดดินบางคล้า และชุดดินมัญจาคีรี ซึ่งเป็นชุดดินที่ใช้ปลูกอ้อยมากที่สุด 6 อันดับแรก คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 70 ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดในจังหวัดสระแก้ว โดยผลการประเมินผลผลิตอ้อยเฉลี่ยจากแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT ที่ใส่ปุ๋ย 2 แบบ

(NPK และ NPK+MMF) พบว่า ชุดดินที่ตอบสนองต่อการจัดการธาตุอาหารพืชได้ดีที่สุด และให้ผลผลิตอ้อยมากที่สุด คือ ชุดดินทับพริกที่ใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหาร เนื่องจากชุดดินทับพริกมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวที่มีค่า CEC สูง ดังนั้น เมื่อมีการจัดการธาตุอาหารทำให้ดินตอบสนองต่อการจัดการธาตุอาหารพืชได้ดีกว่าชุดดินอื่น ๆ โดยให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 11.82 ตันต่อไร่ (Table 8) ซึ่งการใส่ปุ๋ยโดยวิธีนี้ ให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่เฉพาะปุ๋ยธาตุอาหารหลักตามค่าวิเคราะห์ดิน (NPK) ร้อยละ 10.74–21.63 ดังนั้น การใส่ปุ๋ยแบบใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหารจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการธาตุอาหารสำหรับดินปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้ว โดยสามารถเรียงลำดับผลิตภาพดินจากมากไปน้อย ได้ดังนี้ ชุดดินทับพริก ชุดดินบางคล้า ชุดดินวังไห ชุดดินวังสะพุง ชุดดินเชียงคาน และชุดดินมัญจาคีรี

Table 8 Average sugarcane yield (t rai^{-1}) estimated by DSSAT model

Soil series	Fertilization	Average sugarcane yield (t rai^{-1})
Thap Prik	NPK[1]	10.55
(Fine, isohyperthermic Ultic Haplustalfs)	NPK+MMF[2]	11.82
Chiang Khan	NPK	8.21
(Clayey–skeletal, isohyperthermic Typic Kandiustults)	NPK+MMF	10.35
Wang Saphung	NPK	8.95
(Fine, isohyperthermic Typic Haplustalfs)	NPK+MMF	11.05
Wang Hai	NPK	9.70
(Fine, isohyperthermic Oxyaquic Paleustalfs)	NPK+MMF	11.60
Bang Khla	NPK	10.00
(Loamy–skeletal, isohyperthermic Typic Haplustults)	NPK+MMF	11.42
Munchakiri	NPK	7.39
(Sandy, isohyperthermic Typic Paleustults)	NPK+MMF	9.43

[1] NPK = NPK fertilizer

[2] NPK+MMF = NPK fertilizer with minor and micronutrient fertilizer

สรุป

แบบจำลอง DSSAT ประเมินค่าผลผลิตคาดคะเนน้อยกว่าผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลองเล็กน้อย ยกเว้น น้ำหนักสดลำ โดยแบบจำลอง DSSAT สามารถประเมินความสูงลำได้แม่นยำที่สุด ซึ่งแบบจำลองมีค่า RMSE ต่ำ อยู่ระหว่าง 0.142–0.588 และมีค่า AI อยู่ระหว่าง 0.884–0.989 ส่วนการประเมินที่แม่นยำรองลงมาคือ น้ำหนักสดลำ มีค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.974–1.515 และมีค่า AI อยู่ระหว่าง 0.576–0.860 ซึ่งสามารถเรียงลำดับตามความแม่นยำของการคาดคะเนจากมากไปน้อย ได้ดังนี้ ความสูงลำ น้ำหนักสดลำ ผลผลิตน้ำตาล น้ำหนักแห้งลำ และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และจากผลการประเมินผลิตภาพดินที่ใช้ปลูกอ้อยในจังหวัดสระแก้วด้วยแบบจำลอง DSSAT แสดงให้เห็นว่า ชุดดินที่มีผลิตภาพดีที่สุดสำหรับการผลิตอ้อย คือ ชุดดินทับพริก รองลงมาคือ ชุดดินบางคล้า ชุดดินวังไห ชุดดินวังสะพุง ชุดดินเชียงคาน และชุดดินมัญจาคีรี ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ควรทวนสอบความแม่นยำของแบบจำลอง DSSAT กับพื้นที่ที่มีเงื่อนไขการจัดการดินที่หลากหลาย เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องและแม่นยำในการประเมินผลผลิตอ้อยมากยิ่งขึ้น และสามารถใช้เป็นแนวทางในการให้คำแนะนำด้านการจัดการดินและการเขตกรรมสำหรับเกษตรกรในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอ้อยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ “การบูรณาการเทคโนโลยีการจัดการดินเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพอ้อยข้ามแล้งในจังหวัดสระแก้ว” ที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ภายใต้ชุดโครงการวิจัยด้านอ้อยและน้ำตาล ปี 2562 และขอขอบพระคุณ คุณสหัสชัย คงทน ผู้เชี่ยวชาญด้านวินิจฉัยคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กรมพัฒนาที่ดิน สำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Albers, D.W. and J.N. Wards. 1991. Simulation growth and yield of five cotton varieties using GOSSYM–CCMAX. Agronomy Abstracts. P13.

Hoogenboom, G. 1999. Decision Support System for Agrotechnology Transfer v3.5. University of Hawaii, Hawaii, USA.

Hoogenboom, G. 2014. DSSAT V4.6 Decision Support System for Agrotechnology Transfer Volume 1 Overview. International Consortium for Agricultural Systems Applications, University of Hawaii, Hawaii, USA.

Hoogenboom, G., C.H. Porter, K.J. Boote, V. Sheria, P.W. Wilkens, U. Singh, J.W. White, S. Asseng, J.I. Lizaso, L.P. Moreno, W. Pavan, R. Ogoshi, L.A. Hunt, G.Y. Tsuji and J.W. Jones. 2019. The DSSAT crop modeling ecosystem. *In* K.J. Boote, ed. Advances in Crop Modeling for a Sustainable Agriculture. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.

Hunt, T. and K.J. Boote. 1998. Data for model operation, calibration and evaluation, pp. 9–39. *In* G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom and P.K. Thornton, eds. Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Great Britain.

Jones, J.W., L.A. Hunt, G. Hoogenboom, D.C. Godwin, U. Singh, G.Y. Tsuji, N.B. Pickering, P.K. Thornton, W.T. Bowen, K.J. Boote and J.T. Ritchie. 1994. Input and output files, pp. 1–94. *In* G.Y. Tsuji, J.W. Jones and S. Balas, eds. DSSAT Version 3. Volume 2. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, University of Hawaii, Hawaii, USA.

Kapetch, P. 2016. Optimized Sugarcane Modelling for Sugarcane Production in the Northeast of Thailand. PhD Thesis, Kagoshima University, Kagoshima.

Marin, F.R., J.W. Jones, F. Royce, C. Suguitani, J.L. Donzeli, W.J. Pallone Filho and D.S.P. Nassif. 2011. Parameterization and Evaluation of Predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian Sugarcane. Agron. J. 103(2): 304–315.

National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual: Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. United States Department of Agriculture, The United States Government Printing Office, Washington, D.C., USA.

Office of Cane and Sugar Board. 2019. Sugarcane Plantation Area Report 2018/19. Ministry of Industry, Bangkok. (in Thai)

Suksatan, K. 1999. Geography and botany of sugarcane, pp. 154–181. *In* Interdisciplinary of Sugarcane. Mitrphol group, Bangkok. (in Thai)

Tawornpruek, S., N. Chittamart, T. Darunsontaya, R. Chareaonsri, S. Watana, K. Homyamyen and D. Waijaroen. 2018. Development of soil management approach according to fertility capability classification units and soil productivity indices for sugarcane growing soils in Sa Kaeo province, pp. 1–42. *In* Studies on Soil Management According to Productivity Potential, Sugarcane Trash and Utilization of Soil Microbial Activities to Maintain Soil Quality and to Increase Sugarcane Yield and Quality in Sa Kaeo Province. Research Report RDG5850008. Thailand Research Fund, Bangkok. (in Thai)

Uehara, G. and G.Y Tsuji. 1998. Overview of IBSNAT, pp. 1–7. *In* G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom and P.K. Thornton, eds. Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Great Britain.