



การจำลองการตอบสนองของข้าว กข43 ต่อวิธีการปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยแบบจำลอง AquaCrop

Modeling RD43 Rice Responses to Planting Methods and Soil Fertility Using Aqua Crop Model

นนท์ธิดา เปล่งวุฒิไกร¹, ณรงค์ศักดิ์ พิมใจใส¹, เอกสิทธิ์ ไชยสิทธิ์กุลชัย^{1*}

Nontida Plengwuttikrai¹, Narongsak Phimchaisai¹, Ekasit Kositsakulchai^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม 73140

¹Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Sean, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

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

บทคัดย่อ

การจัดการน้ำและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพถือเป็นหัวใจสำคัญของการทำนาข้าวให้ได้ผลดี ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของข้าว ปริมาณผลผลิต ตลอดจนประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร งานศึกษานี้เป็นการทดลองปลูกข้าวในถังเพื่อศึกษาผลต่อชีวมวล ผลผลิต และการใช้น้ำของข้าวพันธุ์ กข43 จากปัจจัยวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำ และปัจจัยระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมี 3 ระดับ ประกอบด้วย ปริมาณตามคำแนะนำ ($75.94 \text{ kg N ha}^{-1}$) ครึ่งหนึ่งของคำแนะนำ และไม่ใส่ปุ๋ย และประเมินสมรรถนะแบบจำลอง AquaCrop ในการจำลองการตอบสนองของข้าวต่อความเครียดจากการปรับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลอง AquaCrop โดยใช้ผลการทดลอง ทั้งที่ปรับวิธีการปลูกและระดับการใส่ปุ๋ย จากผลการศึกษา พบว่า ทั้งวิธีการปลูกและระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อชีวมวล ผลผลิต และการใช้น้ำของข้าว แบบจำลอง AquaCrop จำลองวิธีการปลูกและการตอบสนองของข้าวต่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยสมรรถนะของแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกรณีความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง แต่แบบจำลองประมาณความเสียหายของผลผลิตต่ำกว่าความเป็นจริงกรณีการขาดธาตุอาหารรุนแรง ผลการศึกษาช่วยให้การใช้งานแบบจำลองในสภาพแวดล้อมของไทยและข้าวสายพันธุ์ไทยน่าเชื่อถือมากขึ้น

คำสำคัญ: ข้าว, ผลผลิต, การใช้น้ำ, ความอุดมสมบูรณ์ของดิน, การจำลองพืช

Abstract

Effective water and nutrient management are crucial for successful rice cultivation, substantially impacting plant growth, yield and resource efficiency. The present study examined the effects of planting methods (direct seeding and transplanting) and fertilizer levels (recommended rate at $75.94 \text{ kg N ha}^{-1}$, half of the recommended rate and no fertilizer) on RD43 rice and evaluated the AquaCrop model's ability to simulate rice responses to soil fertility stress. The model was calibrated using data from pot-based experiments with varying planting methods and fertilizer applications. Results showed that planting methods and soil fertility significantly affected rice biomass, yield and water use. The AquaCrop model effectively simulated planting methods and performed well under high fertility, but underestimated the impact of nutrient deficiency. This study improves the reliability of the AquaCrop model for use with Thai rice cultivars.

Keywords: Rice, Yield, Evapotranspiration, Soil Fertility, Crop modeling

1 บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย โดยเกษตรกรทำนาปลูกข้าวคิดเป็น 65% ของครัวเรือนเกษตรกรทั้งหมด

(Rice Department and Department of Internal Trade, 2019) และมีการใช้ที่ดินในการเกษตรสำหรับนาข้าว 46% ของพื้นที่เกษตรกรรม (68.73 ล้านไร่) (Royal Irrigation Department, 2019) การทำนาปลูกข้าวอาจแตกต่างกันตาม

Received: September 01, 2024

Revised: May 17, 2025

Accepted: May 19, 2025

Available online: June 26, 2025

สภาพพื้นที่ซึ่ง Watanabe (2019) จำแนกเป็น 4 ลักษณะ คือ (1) พื้นที่ลุ่มเขตชลประทาน (irrigated lowland) (2) พื้นที่ลุ่มเกษตรน้ำฝน (rain-fed lowland) (3) พื้นที่น้ำท่วมถึง (flood prone) และ (4) พื้นที่ดอน (upland) พื้นที่นาข้าวของไทยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ลุ่มเกษตรน้ำฝนซึ่งผลผลิตข้าวผันแปรไปตามสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำฝน ในการทำนาปลูกข้าว นอกจากการจัดการน้ำที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องมีการจัดการธาตุอาหารให้มีความสัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีทั้งปริมาณและคุณภาพ

ในปัจจุบัน คนไทยมีความใส่ใจดูแลสุขภาพมากขึ้น การเลือกรับประทานอาหารโดยเฉพาะประเภทคาร์โบไฮเดรต จึงเป็นสิ่งจำเป็น (Thadamatakul et al., 2021) ข้าวพันธุ์ กข43 เป็นทางเลือกของกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการคุมน้ำหนักและผู้ป่วยเบาหวาน ข้าวพันธุ์นี้เป็นลูกผสมระหว่างข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีลักษณะเด่น คือ อายุการเก็บเกี่ยวสั้น (95 วัน) ไม่ไวต่อช่วงแสง และต้านทานปานกลางต่อโรคใบไหม้และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Nagprachaya et al., 2017) มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ถูกย่อยเร็ว (rapidly available glucose) ต่ำ ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) ในระดับปานกลางค่อนข้างต่ำ (Vasusans et al., 2017) ถึงแม้ว่า ข้าวพันธุ์ กข43 เป็นทางเลือกที่น่าสนใจของเกษตรกร แต่ข้าวสายพันธุ์นี้ยังค่อนข้างใหม่ มีรายงานการศึกษาจำกัดโดยเฉพาะด้านการจัดการน้ำและธาตุอาหาร รวมถึงการประเมินสมรรถนะสำหรับการจำลองการปลูกพืช

การจำลองการปลูกพืชด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของพืชกับปัจจัยแวดล้อมทั้งดิน น้ำ และภูมิอากาศ ผลการจำลองสถานการณ์เป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยลดความเสี่ยงในการตัดสินใจการผลิตทางการเกษตร โดยสามารถทดสอบฉากทัศน์เพื่อการปรับการจัดการเพาะปลูกตามปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต (Phimchaisai and Kositsakulchai, 2023) ในประเทศไทย มีการศึกษาและประยุกต์แบบจำลองการปลูกพืชมานานกว่า 30 ปี (Kositsakulchai et al., 2007) มีรายงานการใช้งานแบบจำลองพืชสำหรับข้าวหลายแบบจำลอง อาทิ DSSAT (Pannangpetch et al., 1991; Mankeb, 1993; Marled and Kositsakulchai, 2021), ORYZA (Wikarmpapraharn and Kositsakulchai, 2010), SWAP (Kositsakulchai et al., 2007), SWAT (Phimchaisai and Kositsakulchai, 2023), SWAT+ (Kakarndee and Kositsakulchai, 2020, 2023)

แบบจำลอง AquaCrop เป็นอีกแบบจำลองหนึ่งที่สามารถจำลองการเติบโตพืชและผลผลิตที่ตอบสนองต่อการใช้น้ำ (Steduto et al., 2009) แบบจำลองนี้พัฒนาและเผยแพร่โดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ หรือ FAO (Raes et al., 2009) ทั้งนี้ Steduto et al. (2012) ได้แนะนำให้ใช้ในการประเมินผลผลิตที่ตอบสนองต่อน้ำทดแทนวิธีการดั้งเดิมที่เสนอโดย Doorenbos and Kassam (1979) แบบจำลองนี้มี

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ใช้งานง่าย ต้องการข้อมูลพื้นฐานไม่มากแต่สามารถจำลองผลได้อย่างน่าเชื่อถือ (Hsiao et al., 2009) ถึงแม้ว่า แบบจำลอง AquaCrop ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นและมีรายงานการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์และทดสอบการตอบสนองของผลผลิตต่อน้ำและธาตุอาหาร (Amiri et al., 2014; Amiri, 2016; Akumaga et al., 2017) เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ค่อนข้างใหม่จึงมีรายงานการศึกษาภายใต้สภาพแวดล้อมในประเทศไทยไม่มากนักและยังไม่พบรายงานการเปรียบเทียบพารามิเตอร์พืชของพันธุ์ข้าวไทย (Plengwuttikrai and Kositsakulchai, 2020)

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินสมรรถนะของแบบจำลอง AquaCrop ในการจำลองการตอบสนองของข้าวพันธุ์ กข43 ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเปรียบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลการปลูกข้าวทดลองในถังด้วยวิธีปลูกแบบหว่านน้ำตามและแบบปักดำ ในสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ต่างกันจากปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมี

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การปลูกข้าวทดลอง

สถานที่: การปลูกข้าวทดลองนี้ ดำเนินการที่แปลงทดลองภาคีวิศกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม (latitude 14°02'12.40 N, longitude 99°57'41.90" E) (Figure 1)

แผนการทดลองและปัจจัยที่ศึกษา: วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยจัดทรีตเมนต์แบบแฟคทอเรียล 2x3 (2x3 Factorial in CRD) ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษาดังนี้:

1. ปัจจัยวิธีการปลูก (planting methods): มี 2 วิธี ได้แก่ การหว่านน้ำตาม (wet direct sowing: WS) และ การปักดำ (transplanting: TP)

2. ปัจจัยระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility levels): กำหนดโดยการใส่ปุ๋ยเคมี 3 ระดับ ดังนี้:

- N1 (อัตราแนะนำ): ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (Department of Agriculture, 2004) แบ่งใส่ 2 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 (20 วันหลังปลูก–20 days after planting, DAP20): ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 35 kg ra⁻¹ (เทียบเท่า 1.72 g pot⁻¹ หรือ 218.75 kg ha⁻¹) ครั้งที่ 2 (40 วันหลังปลูก–DAP40): ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 15 kg ra⁻¹ (เทียบเท่า 0.74 g pot⁻¹ หรือ 93.75 kg ha⁻¹) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวได้รับในระดับ N1 คือ 75.94 kg N ha⁻¹ (คำนวณจาก (0.15 × 218.75) + (0.46 × 93.75))

- N2 (ครึ่งอัตราแนะนำ): ใส่ปุ๋ยในลักษณะเดียวกับ N1 (แบ่งใส่ 2 ครั้งตามช่วงเวลาเดียวกัน) แต่ใช้อัตราส่วนผสมของปุ๋ยแต่ละครั้งเพียง 50% ของอัตราแนะนำ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวได้รับในระดับ N2 คือ 38.13 kg N ha⁻¹

- N3 (ไม่ใส่ปุ๋ย): ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตลอดการทดลอง

จำนวนซ้ำและหน่วยทดลอง: แต่ละทรีตเมนต์ผสม (combination of factor levels) มีจำนวน 3 ซ้ำ (replications) ต่อหนึ่งชุดการทดลอง การทดลองนี้ดำเนินการจำนวน 2 ชุดการทดลองพร้อมกัน โดยแต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 18 หน่วยทดลอง (ถังปลูก) (คำนวณจาก 2 วิธีปลูก $\times$ 3 ระดับปุ๋ย $\times$ 3 ซ้ำ = 18 ถังต่อชุด) ดังนั้น จึงมีหน่วยทดลองรวมทั้งสิ้น 36 ถังปลูก ตลอดการทดลอง (18 ถังต่อชุด $\times$ 2 ชุดการทดลอง)

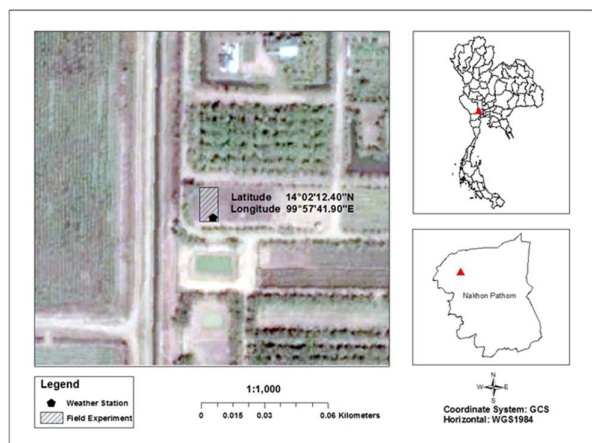


Figure 1 Location of experimental field at Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom.

การจัดการปลูกข้าวในหน่วยทดลอง: การทดลองนี้ใช้ข้าวพันธุ์ กข43 ซึ่งปลูกในถังพลาสติกทรงสี่เหลี่ยม (ขนาดกว้าง 28 cm, ยาว 28 cm และสูง 35 cm) โดยแต่ละถังบรรจุดินที่ใช้ในการทดลองให้มีความสูงจากก้นถัง 20 cm ตลอดระยะเวลาการทดลอง ได้มีการควบคุมและรักษาระดับน้ำขังให้มีความสูงคงที่ประมาณ 5 cm เหนือผิวดิน เพื่อให้มั่นใจว่าต้นข้าวไม่ประสบภาวะขาดน้ำ

การดำเนินการปลูกมีรายละเอียด ดังนี้ วิธีการหว่านน้ำตม (WS) เริ่มโดยทำการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว กข43 โดยตรงลงในถังทดลองในวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ส่วน วิธีการปักดำ (TP) เริ่มโดยทำการเพาะเมล็ดพันธุ์ข้าว กข43 เพื่อเตรียมต้นกล้าในแปลงอนุบาลในวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2562 หลังจากนั้นเมื่อต้นกล้ามีอายุครบ 20 วัน จึงย้ายต้นกล้ามาปักดำลงในถังทดลอง

การเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวทั้งสองวิธีการปลูก ได้ดำเนินการพร้อมกันในวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2562

การเก็บรวบรวมข้อมูล: ในการทดลองได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลในด้านต่างๆ ดังนี้:

1. ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ตรวจวัดอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องตรวจอากาศอัตโนมัติ (automatic weather station) ซึ่ง

ติดตั้งอยู่ ณ บริเวณแปลงทดลองตลอดช่วงการปลูก (เดือน พฤษภาคม-ตุลาคม พ.ศ.2562) (ดังแสดงใน Figure 2) ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนรายวัน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดประจำวัน ความเร็วลมเฉลี่ย ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

2. ข้อมูลสมบัติของดิน ได้จากการเก็บตัวอย่างดินที่ใช้ปลูกข้าวในถังทดลองเพื่อนำส่งวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประกอบด้วย

- สัดส่วนอนุภาคดิน (particle fraction): ประกอบด้วยทราย : ทรายแป้ง : ดินเหนียว ในสัดส่วน 84% : 14.9% : 0.3%

- ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density): 1.94 g cm^{-3}

- สมบัติของน้ำในดิน (soil water properties) ได้แก่ ค่าการนำน้ำของดินในสภาพอิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity: Ksat), ปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร (volumetric water content: VWC) ที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation: SAT), ที่ความชื้นชลประทาน (field capacity: FC), และที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point: PWP)

3. ข้อมูลปริมาณน้ำและการใช้น้ำของข้าว มีการบันทึกข้อมูลทุกวันเวลา 7.00 น. ประกอบด้วย ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ (irrigation water applied) ซึ่งบันทึกปริมาณน้ำที่เติมลงในแต่ละถังทดลองเพื่อควบคุมและรักษาระดับน้ำขังให้มีความสูงคงที่ประมาณ 5 cm เหนือผิวดิน และการใช้น้ำของข้าว (rice consumptive use of water) ประเมินเป็นรายวันจากระดับน้ำที่ลดลงในแต่ละถังก่อนที่จะมีการเติมน้ำกลับสู่ระดับที่กำหนด โดยถือว่าปริมาณน้ำที่ลดลงนี้ คือ ปริมาณการใช้น้ำของข้าว (rice evapotranspiration) ในแต่ละวัน เนื่องจากการทดลองได้ดำเนินการในถังปลูกจึงไม่มีการสูญเสียน้ำจากการซึมลงดิน

4. ข้อมูลพัฒนาการของข้าวได้จากการสังเกตและบันทึกระยะพัฒนาการที่สำคัญต่าง ๆ ของข้าว โดยนับจากวันเริ่มปลูก (day after planting: DAP) ได้แก่ ระยะงอก (emergence), ระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation), ระยะออกดอก (anthesis) และระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา (physiological maturity)

5. ข้อมูลชีวมวลและผลผลิต ดำเนินการเมื่อข้าวสุกแก่ทางสรีระวิทยา จึงได้เก็บตัวอย่างของส่วนเหนือดินทั้งหมด จากนั้นนำมาแยกองค์ประกอบออกเป็น ส่วนใบ ลำต้น และรวง ทำการชั่งน้ำหนักสดของแต่ละองค์ประกอบ แล้วนำไปอบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 75°C เป็นเวลา 48 hr (Suwanwong, 2004) เพื่อวิเคราะห์หาน้ำหนักแห้งของผลผลิต (dry-grain yield) และน้ำหนักแห้งของชีวมวลส่วนเหนือดิน (dry above-ground biomass)

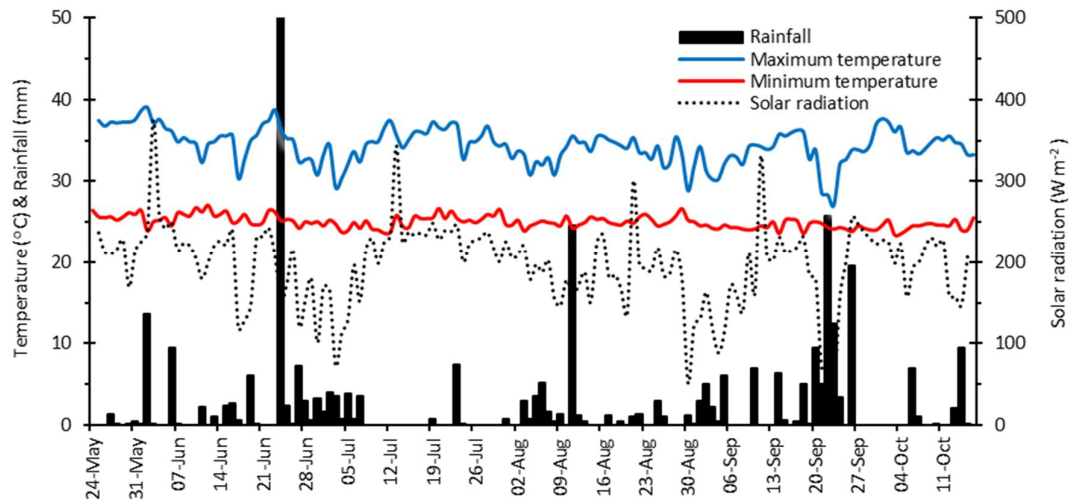


Figure 2 Daily meteorological data at the experimental field (May 24, 2019–October 15, 2019).

2.2 การเตรียมแบบจำลอง AquaCrop

การศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลอง AquaCrop version 7.0 เพื่อจำลองการเติบโตและการตอบสนองของข้าวพันธุ์ กข43 ต่อปัจจัยต่าง ๆ การเตรียมข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ดังนี้

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Section Climate) ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน (rainfall–ไฟล์.PLU) และ อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด (minimum and maximum temperature–ไฟล์.Tnx) ใช้ข้อมูลรายวันจากเครื่องตรวจอากาศอัตโนมัติที่ติดตั้ง ณ แปลงทดลอง ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิง (reference evapotranspiration–ไฟล์.ETo) คำนวณด้วยวิธี FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998) จากข้อมูลที่ตรวจวัดจากเครื่องตรวจอากาศอัตโนมัติ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศใช้ไฟล์ข้อมูลมาตรฐานที่มาพร้อมแบบจำลอง AquaCrop (GlobalAverage.CO2)

ข้อมูลพืช (Section Crop) ใช้ไฟล์พารามิเตอร์เริ่มต้นสำหรับข้าวนาสวน (lowland หรือ paddy rice) ของ AquaCrop (PaddyRiceGDD.CRO) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์พืชสำหรับจำลองการเติบโตและพัฒนาการพืชด้วยหน่วยอุณหภูมิสะสม (Growing Degree Day: GDD หรือ Heat Unit) การปรับพารามิเตอร์พืชได้ปรับพารามิเตอร์บางส่วนได้รับการปรับค่าเบื้องต้นเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะของข้าวพันธุ์ กข43 และสภาพการปลูกจากการทดลอง ได้แก่ ความหนาแน่นของต้นข้าว (Plant density = 382 plants m⁻² กำหนดจาก 30 ต้นต่อถึงขนาด 784 cm²) ขนาดพื้นที่ใบปกคลุมดินเริ่มต้น (initial canopy cover: CCo, WS=1 cm²/plant, TP=2.5 cm²/plant)

ข้อมูลดิน (Section Soil) กำหนดให้เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย โดยอ้างอิงจากไฟล์ SandLoam.SOL ชั้นดินในแบบจำลองมี 2 layers ดังนี้ ดินชั้นบนหนา 0.20 m (PWP=20.0%, FC=37.0%, SAT=48.3%, Ksat=1466.4 mm day⁻¹) และดิน

ชั้นล่างหนา 0.01 m (สมบัติของน้ำในดินชั้นล่างส่วนใหญ่เหมือนกับดินชั้นบน แต่กำหนดให้ค่า Ksat=0 mm day⁻¹ เพื่อจำลองสภาวะถังกันที่ที่ไม่มีการซึมลึกลงดิน (deep percolation))

ข้อมูลการจัดการเพาะปลูก (Section Management) ประกอบด้วย

- การจัดการน้ำในแปลง (Field Management) กำหนดความสูงคันนา (Bund height) ไว้ที่ 0.15 m (15 cm) ซึ่งสอดคล้องกับความสูงของขอบคันนาที่เหลือน้ำระดับผิวดิน

- การจัดการชลประทาน (Irrigation Management) ใช้วิธีการให้น้ำแบบคงที่ปริมาณ 50 mm ทุกครั้งเมื่อระดับน้ำในถังลดลงจนเหลือความลึกน้ำข้างเหนือผิวดินเพียง 10 mm โดยใช้เกณฑ์นี้ตลอดช่วงการเพาะปลูก

- การจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Fertility Management) กำหนดเพื่อให้แบบจำลองสามารถจำลองการตอบสนองของข้าวต่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่แตกต่างกัน (N1, N2, N3) จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบระดับความเครียดจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility stress levels) ใน AquaCrop ให้สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนที่ให้ในแต่ละทริตเมนต์ปุ๋ยในการทดลองจริง

2.3 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์และการจำลองการผลิตข้าว

กระบวนการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองดำเนินการเป็นขั้นตอนหลักๆ ดังนี้:

1. การประมาณค่าชีวมวลเต็มศักยภาพ (potential biomass: BMx) จากการจำลองการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 43 ในสภาวะสมบูรณ์แบบที่พืชไม่มีความเครียดจากปัจจัยแวดล้อมใดๆ (non-stressed conditions) เพื่อประมาณค่าชีวมวลสูงสุดที่พืชสามารถผลิตได้ (BMx) สำหรับวิธีการหว่านน้ำตม (WS) ผลการจำลองให้ค่า BMx=15,131 kg ha⁻¹ สำหรับวิธีการปักดำ (TP) ผลการจำลองให้ค่า BMx=16,139 kg ha⁻¹

2. การคำนวณสัดส่วนชีวมวลสัมพัทธ์และการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน เริ่มจากการนำข้อมูลน้ำหนักชีวมวลแห้งเหนือดินที่ได้จากการทดลองของแต่ละทรีตเมนต์ (N1, N2, N3) มาคำนวณค่าสัดส่วนชีวมวลสัมพัทธ์ (relative biomass) โดยเปรียบเทียบกับค่า BMx ของแต่ละวิธีการปลูก ซึ่งได้ผลดังนี้

- วิธี WS: N1=49%, N2=30%, N3=12% (เทียบกับ BMx ของ WS)

- วิธี TP: N1=38%, N2=25%, N3=11% (เทียบกับ BMx ของ TP)

จากนั้น ทำการปรับแก้พารามิเตอร์ในแบบจำลอง AquaCrop ที่ควบคุมการตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility stress response) โดยใช้ค่าสัดส่วนชีวมวลสัมพัทธ์ของทรีตเมนต์ N3 (กลุ่มที่ไม่ใส่ปุ๋ย) ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด เป็นจุดอ้างอิงสำหรับสภาวะความเครียด (หรือเป็นฐานล่างของกราฟการตอบสนอง) (Figure 3)

3. การจำลองสถานการณ์ทั้งหมดและการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง ดำเนินการหลังจากปรับเทียบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดินเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสำหรับทุกทรีตเมนต์ผสม (กล่าวคือ ทั้ง 2 วิธีการปลูก $\times$ 3 ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน) นำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง (เช่น ผลผลิตข้าวเปลือกแห้ง, ชีวมวลเหนือดินทั้งหมด) มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงจากการทดลอง โดยมุ่งเน้นการประเมินความแม่นยำในการทำนายผลผลิตเป็นสำคัญในลำดับแรก

4. ลักษณะของกระบวนการปรับเทียบเป็นการดำเนินการแบบปรับแก้ด้วยตนเองและทำซ้ำหลายครั้ง (manual and iterative process) จนกว่าผลการจำลองจะมีความสอดคล้องกับข้อมูลจากการทดลองในระดับที่น่าพอใจ เนื่องจากในปัจจุบันแบบจำลอง AquaCrop ยังไม่มีกลไกหรือเครื่องมือสำหรับการปรับเทียบพารามิเตอร์แบบอัตโนมัติ (automated calibration tools)

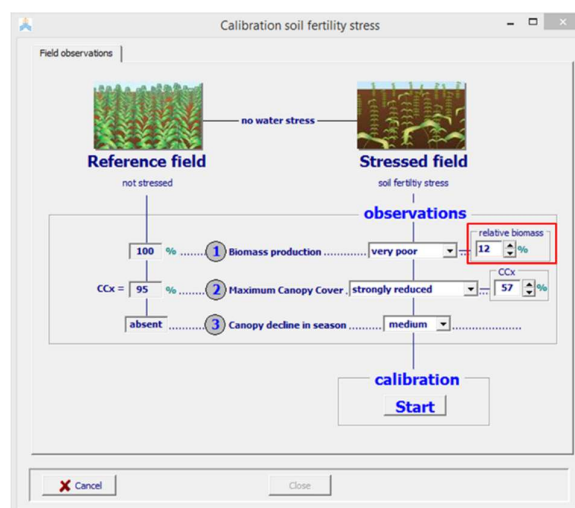


Figure 3 Calibration of AquaCrop parameters in response to soil fertility stress.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การปลูกทดลองข้าว กข43

การทดลองนี้เป็นการศึกษาแบบสองปัจจัยเพื่อศึกษาผลของวิธีการปลูก (การหว่านน้ำตม [WS] และ การปักดำ [TP]) และระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (N1, N2, N3) ต่อปริมาณชีวมวลส่วนเหนือดิน (above-ground biomass) ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกแห้ง (dry grain yield) และปริมาณการใช้น้ำ (evapotranspiration [ET]) ของข้าวพันธุ์ กข43 (Table 1)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) (Kutner et al., 2005) โดยใช้โปรแกรม R (R Core Team, 2024) แสดงให้เห็นว่า ทั้งวิธีการปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลต่อชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญ ($F(1, 30) = 10.98, p < 0.01$; $F(2, 30) = 216.68, p < 0.01$ ตามลำดับ) ชีวมวลเฉลี่ยของการปลูกแบบหว่านน้ำตมสูงกว่าการปักดำอย่างมีนัยสำคัญ (WS (50.16 g pot^{-1}) > TP (45.15 g pot^{-1}), $p < 0.01$) ส่วนความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลต่อชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญ ($N1 (60.29 \text{ g pot}^{-1}) > N2 (36.00 \text{ g pot}^{-1}) > N3 (14.81 \text{ g pot}^{-1})$, $p < 0.01$) ปฏิสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างสองปัจจัยนี้บ่งชี้ว่าผลของความอุดมสมบูรณ์ต่อชีวมวลนั้นแตกต่างกันไปตามวิธีการปลูก ($F(2, 30) = 3.52, p < 0.05$)

สำหรับผลผลิต พบว่า ทั้งสองปัจจัยมีผลต่อผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ($F(1, 30) = 6.44, p < 0.05$ และ $F(2, 30) = 97.27, p < 0.01$ ตามลำดับ) วิธีปลูกแบบหว่านน้ำตมให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าการปักดำอย่างมีนัยสำคัญ (WS (19.11 g pot^{-1}) > TP (16.41 g pot^{-1} , $p < 0.05$) ส่วนความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลต่อผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ($N1 (24.61 \text{ g pot}^{-1}) > N2 (16.38 \text{ g pot}^{-1}) > N3 (6.53 \text{ g pot}^{-1}$, $p < 0.01$) ไม่พบผลกระทบจากปฏิสัมพันธ์ ($F(2, 30) = 2.08, p > 0.05$)

สำหรับการใช้น้ำของข้าว (ET) ทั้งสองปัจจัยมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ ET เช่นเดียวกัน ($F(1, 30) = 10.247, p < 0.01$;

$F(2, 30) = 171.093$, $p < 0.01$ ตามลำดับ) ET ของวิธีการหว่านน้ำตมสูงกว่าการปักดำอย่างมีนัยสำคัญ (WS (513.48 mm) > TP (489.16 mm), $p < 0.01$) ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ ET (N1 (618.6 mm) > N2 (529.7 mm) > N3 (444.5 mm), $p < 0.01$) โดยมีปฏิสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญสำหรับ ET ($F(2, 30) = 4.705$, $p < 0.05$) ซึ่งบ่งชี้ว่าผลของความอุดมสมบูรณ์ต่อ ET นั้นแตกต่างกันไปตามวิธีการปลูก

3.2 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์พืชสำหรับข้าวพันธุ์ กข43

พารามิเตอร์พืชที่ใช้ในแบบจำลอง AquaCrop สำหรับการจำลองข้าวพันธุ์ กข43 ได้รับการรวบรวมและเปรียบเทียบค่าดังแสดงรายละเอียดใน Table 2 โดยพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลัก ได้แก่ (A) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ

การเจริญเติบโตและการพัฒนาการโดยทั่วไปของพืช และ (B) พารามิเตอร์ที่ควบคุมการตอบสนองของพืชต่อความเครียดเนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน

กระบวนการเปรียบเทียบพารามิเตอร์เริ่มต้นจากการใช้ค่ามาตรฐาน (default values) ที่มีอยู่ในแบบจำลอง จากนั้นจึงปรับแก้ค่าเหล่านี้โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการจัดการเพาะปลูกจริง การสังเกตลักษณะและการเจริญเติบโตของพืช และข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างในการทดลอง สำหรับพารามิเตอร์ "วิธีการปลูก" (Crop establishment method) ในไฟล์พืช (*.CRO) ได้กำหนดให้สอดคล้องกับวิธีการทดลอง คือ เลือกเป็น sown crop (crop is sown=1) สำหรับวิธีหว่านน้ำตม และ transplanted crop สำหรับวิธีปักดำ (crop is sown=0)

Table 1 Effects of planting methods and soil fertility levels on RD43 rice biomass, yield, and evapotranspiration.

Fertility Level	Planting Method	Biomass (g pot ⁻¹)	Yield (g pot ⁻¹)	Evapotranspiration (mm)
N1	WS	58.28 ± 1.75	27.29 ± 1.32	628.24 ± 6.41
	TP	48.08 ± 1.72	21.69 ± 1.35	605.29 ± 13.89
N2	WS	36.00 ± 3.16	17.46 ± 2.21	557.88 ± 13.18
	TP	31.58 ± 1.73	15.33 ± 1.11	504.33 ± 7.00
N3	WS	14.81 ± 1.04	6.53 ± 0.60	442.84 ± 6.12
	TP	14.39 ± 0.75	6.16 ± 0.36	446.34 ± 5.04

Note: Fertility levels are defined by the nitrogen application rate: N1(75.94 kg ha⁻¹), N2(38.13 kg ha⁻¹), N3(0 kg ha⁻¹). Planting Method included wet direct sowing (WS) and transplanting (TP).

Table 2 AquaCrop parameters for RD43 rice under the wet sowing (WS) and the transplanting (TP).

Crop Parameter	Default	WS	TP	Units
(A) Growth and development				
Crop is sown	0	1	0	-
Base temperature	8	8	8	°C
Upper temperature	30	30	30	°C
Canopy growth coefficient (CGC)	0.12257	0.14571	0.07675	day ⁻¹
Canopy decline coefficient (CDC)	0.09330	0.09556	0.09556	day ⁻¹
Maximum rooting depth	0.5	0.5	0.5	m
Maximum canopy cover (CCx)	0.95	0.95	0.95	
Normalized water productivity (WP*)	19	19	19	g m ⁻²
Reference harvest index (Hlo)	43	43	43	%
Days from sowing to emergence	3	3	3	day
Days from sowing to flowering	65	59	59	day
Days from sowing to start senescence	73	67	67	day
Days from sowing to physiological maturity	104	98	98	day
Length of the flowering stage	19	18	18	day
Canopy size of seeding	6	1	2.5	cm ²
Plants density	1,000,000	3,820,000	3,820,000	Plants ha ⁻¹
(B) Response to soil fertility stress				
Considered soil fertility stress for calibration of stress response	50	88	88	%
Shape factor (SF) for canopy expansion	25	5.09	6.45	-
SF for maximum canopy cover	25	1.57	1.18	-
SF for crop water productivity	25	2.74	3.23	-
SF for decline of canopy cover	25	6.84	6.84	-

ในส่วนของการพารามิเตอร์การเติบโตและการพัฒนาการของพืช (Table 2A) พารามิเตอร์ที่ใช้ค่ามาตรฐาน เนื่องจากเป็นค่าที่มีแนวโน้มแตกต่างกันน้อยระหว่างข้าวแต่ละสายพันธุ์ ได้แก่ อุณหภูมิที่เป็นขีดจำกัดของการเติบโต (base and upper temperature) ความลึกราก (rooting depth) สัดส่วนร่มใบสูงสุด (CCx) ผลผลิตภาพของน้ำ (WP*) และดัชนีเก็บเกี่ยวอ้างอิง (Hlo)

พารามิเตอร์ที่ปรับค่าตามข้อมูลจากการทดลองเป็นลักษณะเริ่มต้นของพืช ได้แก่ ร่มใบขณะงอก (canopy size of seeding) ความหนาแน่นพืช (plant density) และ ระยะพัฒนาการของพืชที่อ้างอิงจากข้อมูลการสังเกตและบันทึกจากการทดลองสำหรับข้าวพันธุ์ กข43 ได้แก่ วันที่ข้าวงอก (emergence), วันที่เริ่มออกดอก (start of flowering), วันที่ใบเริ่มร่วงโรย (start of senescence), วันที่สุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) และระยะเวลาช่วงออกดอก (length of flowering stage) ส่วนพารามิเตอร์สัดส่วนการคลุมดินของใบหรือร่มใบ (canopy cover) มีการปรับค่าเล็กน้อยทั้งสัมประสิทธิ์การขยายตัว (CGC) และสัมประสิทธิ์การลดลง (CDC)

ในส่วนของการพารามิเตอร์การตอบสนองของข้าวต่อความเครียดจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Table 2B) การเปรียบเทียบอ้างอิงจากสัดส่วนของผลผลิตที่ได้จากการทดลองจริงในแต่ละระดับความอุดมสมบูรณ์ดินเทียบกับผลผลิตเต็มศักยภาพที่จำลองได้กรณีไม่มีความเครียดจากปัจจัยแวดล้อม มีการปรับค่าเกณฑ์ความสมบูรณ์ของดินสำหรับการปรับเทียบการตอบสนองต่อความเครียด (considered soil fertility stress for calibration of stress response) ซึ่งบ่งบอกถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่พืชเริ่มไม่แสดงการลดลงของชีวมวลอีกต่อไปเมื่อได้รับปุ๋ยเพิ่ม โดยปรับจากค่ามาตรฐาน 50% เป็น 88% ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะการทดลองที่ระดับ N1 (อัตราแนะนำ) ที่อาจยังไม่ได้แสดงถึงสถานะที่ดินอุดมสมบูรณ์สูงสุดจนพืชไม่ตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของปุ๋ย

ส่วนแฟคเตอร์รูปร่างของการตอบสนอง (Shape Factor: SF) สำหรับความเครียดจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน มีการปรับจากค่ามาตรฐานให้สะท้อนลักษณะการตอบสนองของข้าวพันธุ์ กข43 ต่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งสามระดับ (N1, N2, N3) ที่

ใช้ในการทดลองจริง รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบแล้วแสดงใน Table 2B

3.3 การจำลองการตอบสนองของข้าวต่อความอุดมสมบูรณ์

แบบจำลอง AquaCrop สามารถจำลองชีวมวล และ ผลผลิตข้าวในเกณฑ์น้ำพอใจทั้งวิธีปลูกแบบหว่านน้ำตาม (WS) และแบบปักดำ (TP) (Table 3) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณี N1 ซึ่งความอุดมสมบูรณ์ของดินดี ชีวมวลจากการจำลองใกล้เคียงกับผลจากการปลูกทดลอง ทั้งกรณีวิธีปลูก WS และ TP (WS, +5.2%; TP, +2.9%) ผลผลิตต่ำกว่าการปลูกทดลอง (WS, -3.0%; TP -1.9%) ส่วนการใช้น้ำของข้าว (ET) แบบจำลองให้ผลลัพธ์ต่ำกว่าผลการปลูกทดลองมาก (WS, -43.0%; TP, -31.3%)

เมื่อความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงแบบจำลอง AquaCrop สามารถจำลองการตอบสนองของข้าวได้ แต่แบบจำลองประเมินผลกระทบต่อน้ำและผลผลิตต่ำกว่าความเป็นจริง ในกรณี N2 ซึ่งความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ แบบจำลองประมาณค่าชีวมวล +36.7% ถึง +46.8% ส่วนผลผลิต +21.2% ถึง +30.0% ในขณะที่กรณี N3 ซึ่งความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำมาก แบบจำลองประมาณค่าทั้งชีวมวลและผลผลิตสูงเกินไป

สำหรับการใช้น้ำของข้าว ความแตกต่างระหว่างผลจากแบบจำลองกับผลการปลูกทดลองน้อยลงเมื่อความอุดมสมบูรณ์

ของดินลดต่ำลง (N2, -21.7% ถึง -29.6%; N3 -11.5% ถึง -12.2%) ความแตกต่างที่น้อยลงนี้อาจเป็นผลจาก ET ที่ลดลงในการทดลองและอาจไม่ใช่เพราะแบบจำลองประมาณค่า ET ได้แม่นยำขึ้น ET

3.4 การวิจารณ์ผล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญของทั้งวิธีการปลูก (WS, TP) และความอุดมสมบูรณ์ของดิน (N1, N2, N3) ต่อชีวมวลส่วนเหนือดิน ผลผลิต และ การใช้น้ำของข้าว กข 43 การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA แบบสองทางยืนยันผลนี้ โดยพบผลกระทบหลักและปฏิสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญสำหรับตัวแปรต่าง ๆ

สำหรับชีวมวล การหว่านน้ำตามแสดงค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าการปักดำอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งบ่งชี้ว่าการหว่านโดยตรงอาจให้ข้อได้เปรียบในการสะสมชีวมวลภายใต้เงื่อนไขที่ทดสอบ ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่แตกต่างกันยังมีผลกระทบอย่างมากต่อชีวมวล โดยการใส่ปุ๋ยตามอัตราที่แนะนำ (N1) ส่งผลให้มีชีวมวลสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยในอัตราที่ลดลง (N2) และไม่ใส่ปุ๋ย (N3) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการปลูกและระดับความอุดมสมบูรณ์บ่งชี้ว่าผลของความอุดมสมบูรณ์ต่อชีวมวลแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคการปลูกที่ใช้

Table 3 Comparison between experimental data and AquaCrop model simulation: (A) Biomass, (B) Yield, (C) Rice Evapotranspiration.

Fertility Level	Planting Method	Experiment	AquaCrop	Difference (%)
(A) Biomass (tonne/ha)				
N1	WS	7,434	7,856	5.7
	TP	6,132	6,311	2.9
N2	WS	4,591	6,278	36.7
	TP	4,027	5,911	46.8
N3	WS	1,889	6,729	256.3
	TP	1,835	5,911	222.1
(B) Yield (tonne/ha)				
N1	WS	3,481	3,378	-3.0
	TP	2,766	2,714	-1.9
N2	WS	2,228	2,699	21.2
	TP	1,956	2,542	30.0
N3	WS	833	2,893	247.2
	TP	786	2,542	223.4
(C) ET (mm)				
N1	WS	628.2	358.0	-43.0
	TP	605.3	416.0	-31.3
N2	WS	557.9	393.0	-29.6
	TP	504.3	395.0	-21.7
N3	WS	442.8	389.0	-12.2
	TP	446.3	395.0	-11.5

ในการทำงานเดียวกัน ผลผลิตได้รับอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญจากทั้งวิธีการปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของดิน การหว่านน้ำตมให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าการปักดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของวิธีการหว่านน้ำตมในแง่ของผลผลิตภายใต้เงื่อนไขการทดลองนี้ อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินต่อผลผลิตนั้นมีความชัดเจนมาก โดย N1 นำไปสู่ผลผลิตที่สูงกว่า N2 และ N3 อย่างมีนัยสำคัญ การไม่มีปฏิสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างวิธีการปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของดินต่อผลผลิตบ่งชี้ว่าผลของความอุดมสมบูรณ์ของดินต่อผลผลิตนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันสำหรับทั้งสองวิธีการปลูก

การใช้น้ำของข้าว (ET) ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากทั้งสองปัจจัยเช่นกัน การหว่านน้ำตมส่งผลให้ค่าเฉลี่ย ET สูงกว่าการปักดำ ซึ่งบ่งชี้ถึงความแตกต่างในรูปแบบการใช้น้ำระหว่างสองวิธี ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อ ET โดยพบ ET ที่สูงกว่าภายใต้ N1 เมื่อเทียบกับ N2 และ N3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการปลูกและความอุดมสมบูรณ์สำหรับ ET ชี้ให้เห็นว่าการตอบสนองของ ET ต่อระดับการใช้น้ำนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการปลูกด้วย

เมื่อพิจารณาที่ระดับ N1 (การใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ) ผลผลิตที่ได้ โดยเฉพาะจากวิธีหว่านน้ำตม มีความใกล้เคียงกับผลผลิตที่เคยมีรายงานสำหรับข้าวพันธุ์ กข43 ในการศึกษาอื่นๆ (Kongpolprom et al., 2015, Nagprachaya et al., 2017) ซึ่งช่วยยืนยันศักยภาพในการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์นี้ภายใต้การจัดการที่เหมาะสม ข้อสังเกตประการหนึ่งคือ การปักดำในสภาพถึงทดลองอาจมีข้อจำกัดด้านกายภาพ เช่น ระยะปลูกที่กำหนดไว้ตายตัว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแตกกอและการขยายทรงพุ่มของต้นข้าวได้ เมื่อเทียบกับการปลูกในสภาพแปลงนาจริง สำหรับค่า ET ที่สังเกตได้ในการทดลองนี้ พบว่ามีค่าต่ำกว่ารายงานสำหรับข้าวนาปรังในภาคกลางเล็กน้อย (Chumpagern et al., 2008) ความแตกต่างนี้อาจเป็นผลมาจากการทดลองในระบบปิดของถังปลูกที่ไม่มีการสูญเสียน้ำจากการซึมลึก ซึ่งแตกต่างจากสภาพแปลงนาทั่วไป

แบบจำลอง AquaCrop แสดงประสิทธิภาพได้ดีในการจำลองชีวมวลและผลผลิตภายใต้สภาวะความอุดมสมบูรณ์สูง (N1) ซึ่งบ่งชี้ถึงศักยภาพของแบบจำลองในการจำลองการเจริญเติบโตของพืชได้ค่อนข้างแม่นยำเมื่อปัจจัยแวดล้อมไม่ก่อให้เกิดความเครียดรุนแรงต่อพืช อย่างไรก็ตาม เมื่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง (N2 และ N3) แบบจำลองมีแนวโน้มที่จะ

ประเมินผลกระทบจากความเครียดเนื่องจากขาดธาตุอาหารได้ต่ำกว่าความเป็นจริง กล่าวคือ แบบจำลองมักจะให้ค่าชีวมวลและผลผลิตที่จำลองได้นั้นสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้จริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่ขาดธาตุอาหารรุนแรง (N3) ซึ่งชี้ให้เห็นข้อจำกัดของแบบจำลองในการจำลองสภาวะความเครียดจากธาตุอาหารในระดับที่รุนแรง ความคลาดเคลื่อนในการจำลองปริมาณการใช้น้ำ (ET) โดยเฉพาะในพรีเทนเมนต์ N1 ที่แบบจำลองให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงค่อนข้างมาก เป็นประเด็นที่น่าพิจารณา แม้ว่าความคลาดเคลื่อนนี้อาจมีสาเหตุจากหลายปัจจัย เช่น ความแม่นยำในการวัดค่า ET จริงในถังทดลอง หรือความแตกต่างระหว่างการจำลองสภาพในถังกับการใช้น้ำในสภาพแปลงจริง แต่ก็ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการตรวจสอบและปรับปรุงวิธีการวัดหรือการจำลอง ET ให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

ชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง AquaCrop ที่ได้ปรับเทียบสำหรับข้าวพันธุ์ กข43 ในการศึกษา (Table 2) ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีคุณค่าสำหรับการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการจำลองสถานการณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้าวพันธุ์นี้ในอนาคต การปรับค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาการ รวมถึงการตอบสนองต่อความเค็มจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยอ้างอิงจากข้อมูลการทดลองจริง ย่อมช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสำหรับการใช้งานในบริบทของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ควรตระหนักว่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยความเครียดอื่นๆ (อาทิ การขาดน้ำ ความเค็ม หรืออุณหภูมิสูง) ในการศึกษาครั้งนี้ยังคงใช้ค่ามาตรฐานของแบบจำลองเป็นหลัก ดังนั้น หากต้องการนำแบบจำลองไปใช้ในสถานการณ์ที่พืชอาจเผชิญกับความเครียดเหล่านี้อย่างชัดเจน อาจจำเป็นต้องมีการปรับเทียบพารามิเตอร์ในกลุ่มดังกล่าวเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลการจำลองที่แม่นยำยิ่งขึ้น

โดยรวมแล้ว แบบจำลอง AquaCrop แสดงให้เห็นศักยภาพที่ดีในการเป็นเครื่องมือช่วยทำนายการตอบสนองของข้าวพันธุ์ กข43 ต่อวิธีการปลูกและระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่ไม่มีความเครียดจากธาตุอาหารรุนแรง อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของแบบจำลองในการจำลองสภาวะที่มีความเครียดจากธาตุอาหารในระดับปานกลางถึงสูง รวมถึงการจำลองปริมาณการใช้น้ำ ยังเป็นประเด็นที่ควรได้รับการศึกษาและปรับปรุงเพิ่มเติมในการวิจัยในอนาคต

4 สรุป

ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ทั้งปัจจัยวิธีการปลูก (การหว่านน้ำตามและการปักดำ) และปัจจัยระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (ซึ่งควบคุมโดยปริมาณปุ๋ยที่แตกต่างกัน) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการสะสมชีวมวลส่วนเหนือดิน การสร้างผลผลิตเมล็ดข้าวแห้ง และปริมาณการใช้น้ำของข้าว กข43

ในส่วนของการประเมิน แบบจำลอง AquaCrop พบว่าแบบจำลองสามารถตั้งค่าให้จำลองความแตกต่างระหว่างวิธีการ

ปลูกทั้งสองแบบได้ และแสดงสมรรถนะที่ดีในการจำลองปริมาณชีวมวลและผลผลิตภายใต้สภาวะที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง (N1) อย่างไรก็ตาม เมื่อดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำถึงต่ำมาก (N2 และ N3) แบบจำลองมีแนวโน้มที่จะประเมินค่าชีวมวลและผลผลิตสูงกว่าความเป็นจริง

การปรับเทียบชุดพารามิเตอร์สำหรับข้าวพันธุ์ กข43 ที่ดำเนินการในการศึกษานี้ ช่วยเสริมสร้างความเชื่อมั่นในการนำแบบจำลอง AquaCrop ไปประยุกต์ใช้กับพันธุ์ข้าวของไทยได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น สำหรับการวิจัยในอนาคต เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางต่อไปนั้น ควรให้ความสำคัญกับการดำเนินการปรับเทียบเพิ่มเติมและการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลองภายใต้สภาพแวดล้อมการเพาะปลูกที่หลากหลายและสมจริงยิ่งขึ้น เช่น การทดลองในสภาพแปลงนาจริง รวมถึงการศึกษาการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยในช่วงที่กว้างขึ้นและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล

6 เอกสารอ้างอิง

- Akumaga, U., Tarhule, A., Yusuf, A. A. 2017. Validation and testing of the FAO AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rainfed maize in Nigeria, West Africa. *Agricultural and forest meteorology* 232, 225-234.
- Allen, R. G. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Amiri, E. 2016. Calibration and testing of the Aquacrop model for rice under water and nitrogen management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(3), 387-403.
- Amiri, E., Rezaei, M., Rezaei, E. E., Bannayan, M. (2014). Evaluation of Ceres-Rice, Aquacrop and Oryza2000 models in simulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. *Journal of Plant Nutrition* 37(11), 1749-1769.
- Chumpagern, P. et al. 2008. Water use efficiency for dry season rice production in the Central Plain. *Thai Rice Research Journal*, 2(2), 29-39.

- Department of Agriculture. 2004. Rice. Technical Document No. 8/2547. Bangkok: Department of Agriculture. (in Thai)
- Doorenbos, J., Kassam, A. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Doorenbos, J., Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hsiao, T. C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., Fereres, E. 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal* 101(3), 448-459.
- Kakarndee, I., Kositsakulchai, E. 2020. Comparison between SWAT and SWAT+ for simulating streamflow in a paddy field dominated basin, northeast Thailand. In: *Proceeding of the 13th TSAE International Conference & 21st TSAE National Conference*. Bangkok: Thai Society of Agricultural Engineering. 30-31 July 2020, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- Kakarndee, I., Kositsakulchai, E. 2023. Impact of climate change on water balance in Lam Siao basin using SWAT+ model. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 29(2), 14-24. (in Thai)
- Kongpolprom, N. et al. 2015. Effect of using high-quality organic fertilizer and tailor-made fertilizer based on analysis on growth and yield of KDML105 Rice. *Advanced Science*, 15(1), 66-77. (in Thai)
- Kositsakulchai, E. et al. 2007. Crop-growth simulation model for the assessment of yield and crop water use in irrigation-service area. Nakhon Pathom: Royal Irrigation Department and Kasetsart University. (in Thai)
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., Li, W. 2005. *Applied linear statistical models*. McGraw-hill.
- Mankeb, P. 1993. Calibration of genetic coefficients of paddy rice (*Oryza sativa* L.) for validation of the CERES-Rice model in Northern Thailand. Master Thesis. Chiang Mai: Chiang Mai University.
- Marled, A., Kositsakulchai, E. 2021. Spatial water productivity for rice production in Chainat province. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 27(1), 16-24. (in Thai)
- Nagprachaya, S. et al. 2017. RD43, a non-glutinous rice variety. *Thai Rice Research Journal*, 8(2), 26-44. (in Thai)
- Pannangpetch, K., Laohasiriwong, S., Vorasoot, N. 1991. Determination of physiological characteristics to simulate growth of rice variety RD6. *Simulation Systems Analysis for Rice Production (SARP)*, 102-108.
- Phimchaisai, N., Kositsakulchai, E. 2023. Calibration and performance evaluation of SWAT model on rice yield and evapotranspiration simulation in the Greater Mae Klong Irrigation Project Area. *Journal of Science and Technology Kasetsart University* 12(1), 1-14. (in Thai)
- Plengwuttikrai, N., Kositsakulchai, E. 2020. Application of AquaCrop model for simulation of the RD43 rice cultivation under different soil fertilities. In: *Proceeding of the 13th TSAE International Conference & 21st TSAE National Conference*. Bangkok: Thai Society of Agricultural Engineering. 30-31 July 2020, Nakhon Ratchasima, Thailand. (in Thai)
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101(3), 438-447.
- Rice Department, Department of Internal Trade. 2019. Comprehensive rice production and marketing plan for the fiscal year 2019/2020. Operational Plan. Bangkok: Rice Department and Department of Internal Trade. (in Thai)
- Royal Irrigation Department. 2019. Annual Report 2019. Bangkok: Royal Irrigation Department. (in Thai)
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy journal* 101(3), 426-437.
- Steduto, P. et al. 2012. Crop yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 66. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Suwanwong, S. 2004. Plant analysis. Bangkok: Kasetsart University Press. (in Thai)

- Thadamatakul, P. et al. 2021. Three rice varieties of Thailand on blood glucose control. Thai Journal of Parenteral and Enteral Nutrition, 29(1), 24-33. (in Thai)
- Vasusans, A. et al. 2017. RD43 Rice variety: Medium glycemic index rice for niche market. Thai Rice Research Journal, 8, 9. (in Thai)
- Watanabe, T. 2019. Paddy Fields as Artificial and Temporal Wetland. In: Ondrašek, G. (Ed.), Irrigation in Agroecosystems. London, UK: IntechOpen.
- Wikarnpapraharn, C., Kositsakulchai, E. 2010. Evaluation of ORYZA2000 and CERES-Rice models under potential growth condition in the Central Plain of Thailand. Thai Journal of Agricultural Science, 43, 17-29.