

การจำลองการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าวไร่ที่ปลูกใน สภาพนาชลประทาน

Simulation of Growth and Yield of Upland Rice Grown under Irrigated Lowland Condition

รชนิกร ศรีบุญเรือง¹, สายบัว เข้มเพชร² และ ศักดิ์ดีดา จงแก้ววัฒนา^{3*}

Rodchaneekorn Sriboonruang¹, Saibua Khempet²

and Sakda Jongkaewwattana^{3*}

บทคัดย่อ: ข้าวไร่เป็นที่นิยมของกลุ่มคนรักสุขภาพ แต่หาบริโภคได้ยากในท้องตลาด เพราะเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไร่บนที่สูงจะปลูกไว้เพื่อบริโภคในครัวเรือน การนำข้าวไร่มาปลูกในที่ราบนาชลประทานเพื่อขยายพื้นที่ปลูกในการผลิตสำหรับกลุ่มคนรักสุขภาพต้องทำการทดสอบศักยภาพการให้ผลผลิตของพันธุ์ข้าวไร่ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลอง Purple Glutinous Rice (PGR) ในการจำลองการตอบสนองของข้าวไร่ที่นำมาปลูกในสภาพนาชลประทาน ทั้งในด้านพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิต ทำการปลูกข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ชิวแม่จัน ข้าวแดง ข้าวกำ ข้าวขาว และข้าวเหลืองหอม ณ แปลงนาสาธิต ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวไร่โดยแบบจำลอง PGR พบว่า ค่าการจำลองการสะสมน้ำหนักแห้งรวม (ต้น ใบ และรวง) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันปักดำถึงระยะสุกแก่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการสังเกต ส่วนการจำลองผลผลิตและน้ำหนักฟางพบว่า การจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการสังเกตของข้าวทุกพันธุ์ โดยผลผลิตที่ได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 427 – 577 กก./ไร่ และผลผลิตเฉลี่ยจากการสังเกตอยู่ในช่วง 266 – 444 กก./ไร่ ผลการจำลองน้ำหนักฟางอยู่ในช่วง 599 – 735 กก./ไร่ และน้ำหนักฟางเฉลี่ยจากการสังเกตอยู่ในช่วง 391 – 600 กก./ไร่ ทั้งนี้ผลการจำลองที่มีค่ามากกว่าค่าการสังเกตดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของพันธุ์ข้าวไร่ที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพการปลูกแบบนาชลประทาน การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลอง PGR สามารถที่จะนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินพันธุ์ข้าวไร่ในการตอบสนองกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูก เช่น สภาพนาชลประทาน

คำสำคัญ: แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว ไร่ การจำลอง ข้าวไร่

Received September 19, 2018

Accepted December 19, 2018

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Department of plant and Soil Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

² คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50300

Faculty of Agriculture Technology, Chiang Mai Rajabhat University. Chiang Mai 50300

³ ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author: sakda.abc@gmail.com

ABSTRACT: Upland rice grain is favorable food product for health concern people. However, it hard to find in public market because grains from production were normally used for household consumption among farmer who grow them. In order to expand the production in irrigate lowland area to serve those healthy concern people, it is necessary to study the potential yield of upland rice varieties. Objective of this study was to validate Purple Glutinous Rice Model (PGR) in simulating the response of upland rice in terms of phenology, growth and yield grown in irrigated lowland condition. Five selected varieties of upland rice namely Sew Mea Jan, Dang, Kum, Khao and Luang Hom were grown at experimental field Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University.

Simulation of total dry matter using PGR model showed the increasing trend from transplanting till maturity with similar to observed data. It was found that simulated yield and straw weight were higher than observed values for all varieties. The simulated yield was 427 – 577 kg/rai whereas the average observed yield was 266 – 444 kg/rai. Similarly, simulated straw weight was 599 – 735 kg/rai and the average observed straw weight was 391 – 600 kg/rai. Such results showed greater simulated yield and straw weight than observed data indicated the ability of rice varieties could adapt to lowland environment. This study demonstrates that PGR model can be used as a tool for evaluating performance of upland rice grown in difference environments.

Keywords: Rice Growth Model, Simulation, Upland rice

บทนำ

ปัจจุบันข้าวไร่เป็นที่นิยมของกลุ่มคนรักสุขภาพ เนื่องจากเมล็ดข้าวของข้าวไร่หลายพันธุ์พบว่ามียาคีประคบที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน เป็นต้น ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (สากิตร์ และศิระพงศ์, 2558) ข้าวไร่ปลูกกันมากตามบริเวณไหล่เขาในสภาพไร่อาศัยน้ำฝน ทั้งทางภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือ (ชลธิรา และคณะ, 2556) อย่างไรก็ตาม ข้าวไร่หาบริโภคได้ยากในท้องตลาด เนื่องจากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวไร่โดยทั่วไปจะปลูกไว้เพื่อบริโภคภายในครัวเรือนเป็นหลักมากกว่าปลูกไว้เพื่อจำหน่าย อีกทั้งข้าวไร่ให้ผลผลิตต่ำ (กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบน, 2553) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ยากที่จะให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวไร่ผลิตข้าวให้พอเพียงต่อการบริโภคในครัวเรือนและไว้จำหน่ายในเวลาเดียวกัน แต่มีความเป็นไปได้ว่าการนำข้าวไร่มาปลูกในพื้นที่ราบลุ่มในสภาพนาชลประทานอาจจะเป็นการผลิตข้าวไร่ที่ตอบสนองต่อผู้บริโภคกลุ่มรักสุขภาพในชุมชนเมืองได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้าวไร่เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีการปรับตัวเข้ากับพื้นที่ดอน ดังนั้นหากนำพันธุ์ข้าวไร่มาปลูกในเขตที่ราบลุ่ม โดยเฉพาะในระบบการปลูกแบบข้าวนาชลประทาน ซึ่งมีการขัง

น้ำอาจจะเป็นไปได้ที่ข้าวไร่จะตอบสนองในสภาพดังกล่าวไม่เหมือนกับข้าวไร่ที่ปลูกบนพื้นที่สูงในสภาพไร่ ทั้งนี้เพราะโดยธรรมชาติของการเจริญเติบโตของพืชจะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมร่วมกับสภาพแวดล้อม (genetic and environment interaction: GxE) ดังเช่น สากิตร์ และศิระพงศ์ (2558) ได้ศึกษาอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพันธุ์ข้าวท้องถิ่นทั้งข้าวไร่และข้าวนาชลประทานภายใต้สภาพพื้นที่ปลูกที่แตกต่างกัน พบว่าพันธุ์ข้าวไร่ที่ปลูกทดสอบบางพันธุ์มีความสูงจำนวนรวงต่อกอ เปอร์เซ็นต์เมล็ดดิบ และผลผลิตแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ปลูกที่ต่างกัน ดังนั้นก่อนจะคัดเลือกพันธุ์ข้าวไร่จากพื้นที่สูงมาปลูกในสภาพนาชลประทานจำเป็นจะต้องศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมร่วมกับสภาพแวดล้อมเพื่อวิเคราะห์การตอบสนองของพันธุ์ข้าวต่อพื้นที่ปลูก ซึ่งโดยปกติแล้วการศึกษาดังกล่าวใช้ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษาสูง

ปัจจุบันแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว หรือ Rice growth model เป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยในการตัดสินใจในการผลิตข้าว ทั้งในด้านการวางแผนและการจัดการระบบการปลูก การลดความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ การประเมินศักยภาพของผลผลิต รวมถึงการวางแผนการปลูกพืชระยะยาว (ศักดิ์ดา, 2548) พรเพ็ญ และนิตยา

(2556) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice เพื่อประเมินลักษณะทางสรีระที่สัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าว พบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการประเมินอัตราการผลิตเจริญเติบโต ดัชนีพื้นที่ใบ และพื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area) ของข้าวได้ดี ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นประโยชน์ในการวางแผนการปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงได้ นับว่าแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีประโยชน์ต่อนัก

วิจัยและเกษตรกรเป็นอย่างมาก Khempet (2012) ได้พัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวก่ำ (Purple Glutinous Rice Model) แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองประเภทเมคานิสติกส์ (mechanistic model) ที่เรียบง่าย ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศเป็นตัวแปรขับเคลื่อนในการจำลองการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว (Figure 1)

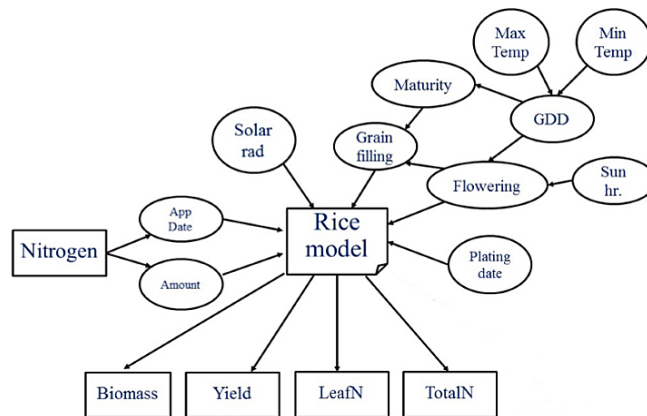


Figure 1 Structure of PGR model (Khempet, 2012)

แบบจำลอง PGR ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมในการกำหนดความแตกต่างของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ทั้งในด้านพัฒนาการ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว โดยค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของแบบจำลองนี้ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิสะสม (growing degree days, GDD) ที่ข้าวใช้ในระยะเวลาพัฒนาการ (ระยะออกดอก และระยะสุกแก่) นำหนัก 1,000 เมล็ด และความยาววัน สายบัว และศักดิ์ดา (2557) ใช้แบบจำลอง PGR ในการทดสอบโดยการจำลองอิทธิพลของวันปลูกและการจัดการไนโตรเจนต่อข้าวไร่พันธุ์เงาะสะตะ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถจำลองการเจริญเติบโต และผลผลิตได้เป็นที่น่าพอใจ จากความสามารถของแบบจำลอง PGR ที่สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบการตอบสนองของข้าวต่อสภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าวได้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้แบบจำลอง PGR ในการจำลองการตอบสนองของข้าวไร่ที่นำมาปลูกในสภาพนาชลประทาน ซึ่งก่อนที่

จะนำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้จำเป็นต้องมีการทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลอง (model validation) (Balci, 1997) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลอง PGR ในการจำลองการตอบสนองของข้าวไร่ที่นำมาปลูกในสภาพนาชลประทาน ทั้งในด้านพัฒนาการ การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว ทั้งนี้เพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะอาศัยแบบจำลองดังกล่าวมาเป็นเครื่องมือในการศึกษาพันธุ์ข้าวไร่ที่มีศักยภาพในการปรับตัวเพื่อนำมาปลูกในสภาพนาชลประทาน

วิธีการศึกษา

ปลูกข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองในสภาพนาชลประทาน จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวแดง ข้าวก่ำ ข้าวขาว ข้าวเหลืองหอม ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่ได้มาจากหมู่บ้านห้วยลอย ตำบลภูฟ้า อำเภอบ่อเกลือ จังหวัด

น่าน และพันธุ์ข้าวแม่จันที่ได้เมล็ดพันธุ์จากศูนย์วิจัยข้าวแม่ฮ่องสอน ณ แปลงนาสาธิต ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกโดยวิธีปักดำ ใช้กล้าข้าวอายุ 1 เดือน ปักดำเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2559 ในขนาดแปลงทดลองย่อย 1 x 3 ม. ระยะปักดำ 25 x 25 ซม. ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 30 กก./ไร่ ไนโตรเจน/ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกในระยะแตกกอ และครั้งที่ 2 ในระยะกำเนิดช่อดอก ในสัดส่วน 50 : 50 ทำการดูแลควบคุมระดับน้ำในแปลงปลูก ควบคุมวัชพืชและป้องกันการเข้าทำลายจากโรคและแมลงตามความเหมาะสมตลอดการดำเนินงานทดลอง การเก็บและบันทึกข้อมูลประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิสะสมรายวัน (Growing degree day: GDD) เพื่อใช้ในการกำหนดระยะพัฒนาการของข้าว จากระยะปักดำถึงระยะแตกกอ และระยะแตกกอถึงระยะสุกแก่ โดยค่าอุณหภูมิสะสมรายวันคำนวณตามสมการของ Tollenaar et al. (1979)

$$GDD = ((T_{max} + T_{min}) / 2) - T_{base}$$

ค่า T_{max} เป็นค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวัน ($^{\circ}C$) T_{min} เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ($^{\circ}C$) และ T_{base} เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ สำหรับข้าวมีค่าเท่ากับ $8^{\circ}C$ ทั้งนี้ในกรณีที่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายวันที่สูงมากกว่า $30^{\circ}C$ ใช้ค่าอุณหภูมิเท่ากับ $30^{\circ}C$ ($T_{max} = 30^{\circ}C$) และถ้าค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันน้อยกว่าค่า T_{base} ให้แทนค่าในสมการเท่ากับ $8^{\circ}C$ ($T_{min} = 8^{\circ}C$) ทั้งนี้เพราะข้าวสามารถเจริญเติบโตได้เป็นปกติที่อุณหภูมิต่ำสุดที่ $8^{\circ}C$ และอัตราการเจริญเติบโตของข้าวจะเกิดขึ้นสูงสุดในสภาพของอุณหภูมิที่มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ $30^{\circ}C$ (Gao et al., 1992) นอกจากนั้นทำการบันทึกน้ำหนัก 1,000 เมล็ด โดยข้อมูลค่าอุณหภูมิสะสมรายวันจากระยะปักดำถึงระยะแตกกอ ระยะแตกกอถึงระยะสุกแก่ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และค่าความยาววัน (day length) ที่ได้นำมาใช้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวแต่ละพันธุ์

สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 2 กอ เพื่อหาน้ำหนักแห้งเหนือนดินตามระยะพัฒนาการ ได้แก่

ระยะกล้า ระยะแตกกอ ระยะกำเนิดช่อดอก ระยะตั้งท้อง ระยะแทงรวง ระยะน่านม ระยะแบ่งอ่อน และระยะสุกแก่ แล้วทำการแบ่งต้นข้าวออกเป็นส่วนของต้น ใบ และรวง (เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะแทงรวง) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $80^{\circ}C$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์การสะสมน้ำหนักแห้ง และที่ระยะสุกแก่ทำการเก็บตัวอย่างผลผลิตในพื้นที่ 0.5 ตร.ม. นำข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลอง PGR โดยการวิเคราะห์ค่า normalized RMSE (RMSEn) (Wallach and Goffinet, 1989) ซึ่ง Loague and Green (1991) ได้วิเคราะห์และกำหนดว่าค่า RMSEn มีค่าต่ำ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการสังเกตจริงในแปลงทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีความใกล้เคียงกัน โดยค่า RMSEn น้อยกว่า 10 % แสดงว่าแบบจำลองทำนายคลาดเคลื่อนน้อยมาก ค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 % แสดงว่าแบบจำลองทำนายคลาดเคลื่อนปานกลาง และ RMSEn มากกว่า 30 % แสดงว่าแบบจำลองทำนายคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งค่า RMSEn มีสูตรคำนวณดังนี้

$$RMSEn = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \right)}{\bar{o}}$$

เมื่อ n = จำนวนของค่าสังเกต
 P_i = ค่าทำนายของการวัดครั้งที่ i
 O_i = ค่าสังเกตของการวัดครั้งที่ i
 \bar{o} = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต

ในส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการขับเคลื่อนการจำลองการเจริญเติบโตของข้าว นั้นใช้ข้อมูลอากาศรายวันที่บันทึกจากเครื่องมือตรวจอากาศอัตโนมัติ ประกอบด้วย ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ($MJ/m^2/day$) ค่าอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ($^{\circ}C$) และความยาววัน (hr.) การจำลองการเจริญเติบโตของข้าวด้วยแบบจำลอง PGR ใช้โปรแกรม STELLA (High Performance Systems, Inc.)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการสังเกตข้อมูลระยะพัฒนาการของข้าวที่สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิสะสม (growing degree days, GDD) แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าวไร่ทั้ง 5 พันธุ์เป็นข้าวไร่แสง ทั้งนี้โดยพบว่าข้าวจะเริ่มสร้างช่อดอกในช่วงเดือนกันยายนและแทงรวงในช่วงเดือนตุลาคม โดยปกติแล้วข้าวพันธุ์พื้นเมืองเป็นพืชวันสั้น ซึ่งช่วงเดือนดังกล่าวเป็นเดือนที่ความยาววันต่ำกว่า 12 ชั่วโมง การสังเกตค่าอุณหภูมิสะสมที่สัมพันธ์กับระยะพัฒนาการของข้าว (Table 1) พบว่าค่าอุณหภูมิสะสมจากระยะปักดำถึงระยะแทงรวงของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ อยู่ในช่วง 937 – 1,200 °C ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนวันที่ข้าวใช้ในระยะเวลาการดังกล่าวที่พบว่าอยู่ในช่วง 48 - 62 วัน ใกล้เคียงกับงานทดลองของวารภรณ์ (2557) ที่ชี้ให้เห็นว่าข้าวไร่ไร่แสงพันธุ์ชิวแม่จัน ข้าวปากอก ข้าวนาสูง มีค่า

อุณหภูมิสะสมที่ข้าวใช้ในระยะเวลาพัฒนาการจากระยะปักดำถึงระยะแทงรวง เทียบเท่ากับ 1,186 – 1,294 °C สำหรับค่าอุณหภูมิสะสมจากระยะแทงรวงถึงระยะสุกแก่ (ระยะสะสมน้ำหนักรวง) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ อยู่ในช่วง 623 - 708 °C สัมพันธ์กับจำนวนวันที่ข้าวใช้ในระยะเวลาการดังกล่าว ซึ่งอยู่ในช่วง 33 - 38 วัน มากกว่าผลที่ได้จากการศึกษาของวารภรณ์ (2557) ที่พบว่าข้าวใช้อุณหภูมิสะสมที่ระยะสะสมน้ำหนักรวงเท่ากับ 540 - 577 °C เทียบเท่ากับ 31 - 33 วัน โดยปกติข้าวจะใช้เวลาในการสะสมน้ำหนักเมล็ดประมาณ 30 วัน (Yoshida, 1981) ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะพันธุ์ข้าวที่นำมาใช้ในการศึกษาค้างนี้มีเมล็ดที่ใหญ่ และมีน้ำหนักเมล็ดมาก ซึ่งพบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของพันธุ์ข้าวที่นำมาศึกษาค้างนี้ อยู่ในช่วง 28 - 46 กรัม (Table 1) จึงใช้ระยะเวลาในการสะสมน้ำหนักเมล็ดนาน

Table 1 Observed accumulate growing degree day (ObsGDD) and 1,000-grain weight

Variety	DTH	ObsGDD (°C)	DHM	ObsGDD (°C)	1,000-grain weight (Mean ^a ± SD)
Sew Mae Jan	48	937	37	708	28 ± 1.30
Dang	62	1,200	33	623	45 ± 1.15
Kum	62	1,200	38	704	36 ± 4.39
Khao	60	1,163	38	707	46 ± 1.21
Luang Hom	62	1,200	35	654	38 ± 2.35

^a Averaged from 3 replications. DTH = number of days from transplant till heading, DHM = number of days from heading till maturity

จากการวิเคราะห์การจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโดยแบบจำลอง PGR ผลของการจำลอง (simulated) แสดงให้เห็นว่าการสะสมน้ำหนักแห้งรวม (ต้น ใบ และรวง) ของข้าวพันธุ์ชิวแม่จัน ข้าวแดง ข้าวกำ ข้าวขาว และข้าวเหลืองหอม (Figure 2) มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นจากวันปักดำถึงระยะสุกแก่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการสังเกต (observed) ทั้งนี้พบว่าค่าที่ได้จากการจำลองการสะสมน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ อยู่ในช่วง 987 – 1,197 กก./ไร่ ส่วนค่าเฉลี่ย

ที่ได้จากการสังเกตอยู่ในช่วง 450 – 708 กก./ไร่ เห็นได้ว่าค่าน้ำหนักแห้งรวมที่ได้จากการจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการสังเกตของข้าวทุกพันธุ์ นอกจากนั้นสังเกตได้ว่าที่ระยะสุกแก่นั้นน้ำหนักแห้งรวมที่ได้จากการจำลองไม่ลดลงเหมือนกับค่าที่ได้จากการสังเกต ซึ่งตามธรรมชาตินั้น Yoshida (1981) กล่าวว่า เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะสะสมน้ำหนักเมล็ดส่งผลให้การสะสมน้ำหนักแห้งของต้นและใบ (source) เริ่มลดลง ด้วยสาเหตุที่มีการเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์ไปสะสมที่เมล็ด (sink) จนถึงจุดที่มี

การสะสมน้ำหนักแห้งรวงสูงสุด จากนั้นน้ำหนักข้าวส่วนเหนือดินจะเริ่มถดถอย เนื่องจากการเกิดสภาพแก่ของต้นและใบ หรือสภาพเสื่อม (senescence) ผนวกกับการสูญเสียความชื้นในระยะสะสมน้ำหนักเมล็ด ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักแห้งที่

จำลองได้มีค่าสูงสุด ณ วันเก็บเกี่ยว ทั้งนี้เพราะแบบจำลองไม่ได้รวมระบบการเกิดสภาพแก่ของต้นและใบ จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง (สายบัว และศักดิ์ตา, 2555)

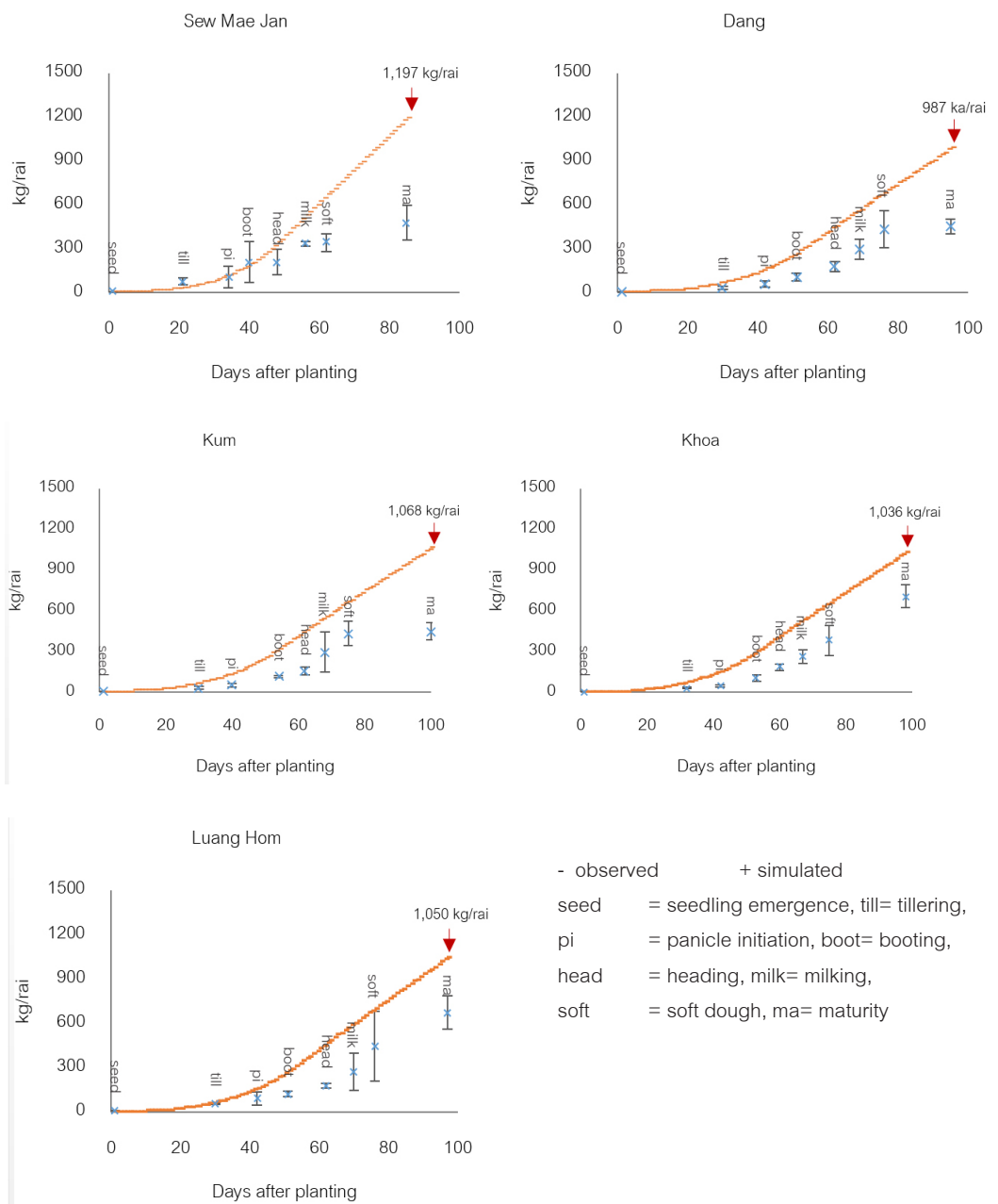


Figure 2 Comparison of observed and simulated accumulate dry matter. Number in graph shows simulated maximum dry matter weight. Bar (i) indicates standard deviation.

การจำลองน้ำหนักฟางพบว่า น้ำหนักฟางที่ได้จากการจำลองมีค่าอยู่ในช่วง 599 – 735 กก./ไร่ ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการสังเกตที่ในช่วง 391 – 600 กก./ไร่ (Figure 3) ในทำนองเดียวกันพบว่า ผลผลิตที่ได้จากการจำลองมีค่ามากกว่าค่าจากการสังเกต โดยผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากค่าการสังเกตอยู่ในช่วง 266 – 444 กก./ไร่ และผลผลิตที่ได้จากการจำลองอยู่ในช่วง 427 – 577 กก./ไร่ (Figure 4) สอดคล้องกับการศึกษาของสายบัว และศักดิ์ดา (2557) ในการจำลองข้าวไร่พันธุ์เงาะสะตะโดยแบบจำลอง PGR และสมชาย (2551) ที่ประเมินและเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองข้าวกับข้อมูลในแปลงทดสอบภายใต้ระบบ FARMSIM พบว่า แบบจำลองสามารถจำลองค่าผลผลิตได้มากกว่าค่าสังเกต ในทำนองเดียวกัน การทดสอบแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut (ปรเมศ และคณะ, 2551) และการทดสอบแบบจำลอง SOYGR0 (วิถิ, 2533) ก็พบเช่นเดียวกันว่าค่าการ

จำลองผลผลิตมากกว่าค่าสังเกตจริง การที่แบบจำลอง PGR ทำการจำลองการสะสมน้ำหนักแห้งและผลผลิตข้าวได้มากกว่าค่าสังเกตจริง ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะการจำลองอัตราการเจริญเติบโต (growth rate) และการให้ผลผลิตของข้าวภายใต้แบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับค่าพลังงานแสง อุณหภูมิ และไนโตรเจนเป็นปัจจัยหลัก และแบบจำลองดังกล่าวมิได้รวมอิทธิพลปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องกับ อาทิ ความเสียหายจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง และการจัดการน้ำ ทั้งนี้ในการจำลองมีสมมติฐานว่าการจัดการน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสมและไม่มีการเข้าระบาดของศัตรูข้าว (pest) ในขณะที่สภาพการปลูกจริงนั้นพบที่มีการเข้าระบาดของวัชพืช เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล *Nilaparvata lugens* (Stal) และหนอนกอข้าวสีครีม *Scirpophaga incertulas* (Walker) ในระยะแตกกอ ซึ่งสามารถทำความเสียหายให้กับต้นข้าวมีผลทำให้น้ำหนักแห้งรวมและผลผลิตของข้าวลดลงได้

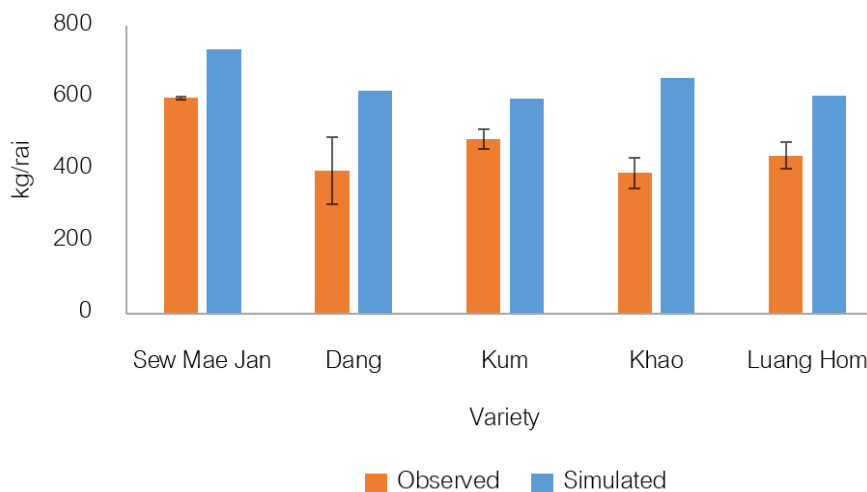


Figure 3 Comparison of observed and simulated straw weight. Bar (I) indicates standard deviation of observed straw weight

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของการจำลองผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จริง (Table 2) พบว่าค่า RMSEn ที่วิเคราะห์ได้อยู่ระหว่าง 34.3 - 70.5 % ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนของการจำลองผลผลิตสูง

เนื่องจากค่า RMSEn ที่วิเคราะห์ได้มีค่ามากกว่า 30 % (Loague and Green, 1991) อย่างไรก็ตาม ค่าความคลาดเคลื่อนของการจำลองผลผลิตที่ได้โดยแสดงออกเป็นค่า RMSEn นั้น เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่บ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างผลการ

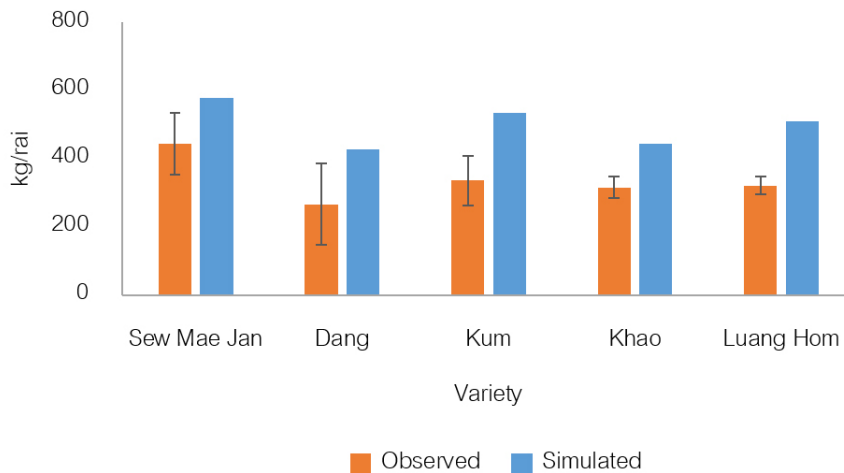


Figure 4 Comparison of observed and simulated yield. Bar (i) indicates standard deviation of observed yield.

จำลองที่ได้กับค่าสังเกตจริงที่เป็นค่าเฉลี่ยมาจาก 3 ซ้ำ ซึ่งมีความแปรปรวนของค่าผลผลิตระหว่างซ้ำสูง (Table 3) ในทำนองเดียวกัน การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของการจำลองนำหนักฟางเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จริง (Table 2) พบว่าค่า RMSEn มีผลการวิเคราะห์ได้อยู่ระหว่าง 22.4 - 68.3 % แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีการคลาดเคลื่อนในการจำลองอยู่ในระดับคลาดเคลื่อนปานกลางถึงคลาดเคลื่อนสูง อย่างไรก็ตาม ถ้าหากพิจารณาค่าที่ได้จากแบบจำลองทั้งผลผลิตและนำหนักฟาง ผลการจำลองที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการสังเกตจริงทุกพันธุ์ แสดงให้เห็นถึงการจำลองศักยภาพของผลผลิตและนำหนักฟาง ทั้งนี้ด้วยเหตุผลเพราะแบบจำลองมีสมมติฐานว่าการจัดการนาอยู่ในระดับที่เหมาะสม และไม่มีการเข้าระบาดของศัตรูข้าว

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองและค่าที่ได้จากการสังเกตทั้งผลผลิตและนำหนักฟางจากซ้ำที่ 2 ที่พบว่าได้รับผลกระทบจากการเข้าทำลายของศัตรูข้าวน้อยที่สุดแสดงในรูปแบบกราฟ 1:1 (Figure 5) ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองประเมินค่าผลผลิตและนำหนักฟางได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสังเกตจริง และมีแนวโน้มจำลองผลผลิตและนำหนักฟางได้มากกว่าค่าสังเกตซึ่งแสดงถึงศักยภาพของความเป็นไปได้ในการเพิ่มผลผลิตของข้าว หากมีการจัดการการเพาะปลูกที่ดี

สรุป

จากการนำพันธุ์ข้าวไร่จากพื้นที่สูงมาปลูกในสภาพนาชลประทานในการศึกษาครั้งนี้พบว่าข้าวไร่สามารถตอบสนองต่อสภาพพื้นที่ปลูกในพื้นที่ราบลุ่มน้ำขังได้ดี ถึงแม้จะพบว่าผลผลิตและนำหนักฟางมีความแปรปรวนมากก็ตาม การใช้แบบจำลอง PGR ในการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวไร่ทั้ง 5 พันธุ์ พบว่าแบบจำลองสามารถทำการจำลองทั้งผลผลิตและนำหนักฟางได้เป็นที่น่าพอใจ ถึงแม้ว่าผลการจำลองที่ได้ทั้งผลผลิตและนำหนักฟางจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการสังเกตทุกพันธุ์ ทั้งนี้ผลการจำลองที่ได้สามารถบ่งบอกถึงศักยภาพการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว ถึงแม้ปัจจุบันมีแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวหลายแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวได้ แต่จากผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง PGR เป็นแบบจำลองที่เรียบง่ายต่อการใช้เพราะต้องการข้อมูลนำเข้าที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะใช้แบบจำลอง PGR มาเป็นเครื่องมือในการศึกษาพันธุ์ข้าวไร่ที่มีศักยภาพในการปรับตัวเพื่อนำมาปลูกในสภาพนาชลประทาน

Table 2 Normalized Root Mean Square Error (RMSEn) of yield and straw weight

Variety	Yield (kg/rai)		RMSE	RMSEn (%) ^a	Straw weight (kg/rai)		RMSE	RMSEn (%) ^a
	Simulated	Observed ^a			Simulated	Observed ^a		
Sew Mae Jan	577	444	130.8	34.3	735	600	134.1	22.4
Dang	427	266	117.6	70.5	620	398	208.2	58.8
Kum	533	336	156.0	61.4	599	486	101.0	23.8
Khao	445	316	116.8	41.9	656	391	241.5	68.3
Luang Hom	509	321	176.4	58.9	607	440	153.0	38.5

^a Averaged from 3 replications

Table 3 Variation of observed yield and straw weight from 3 replications

Variety	Yield (kg/rai)				Mean \pm SD	Straw weight (kg/rai)			Mean \pm SD
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1		Rep. 2	Rep. 3		
Sew Mea Jan	389	548	395	444 \pm 90.0	599	605	596	600 \pm 4.6	
Dang	148	385	266	266 \pm 118.8	341	507	348	398 \pm 93.9	
Kum	252	382	373	336 \pm 72.3	459	513	485	486 \pm 26.8	
Khao	287	350	309	316 \pm 32.3	344	428	401	391 \pm 42.9	
Luang Hom	297	348	319	321 \pm 25.8	408	480	432	440 \pm 36.7	

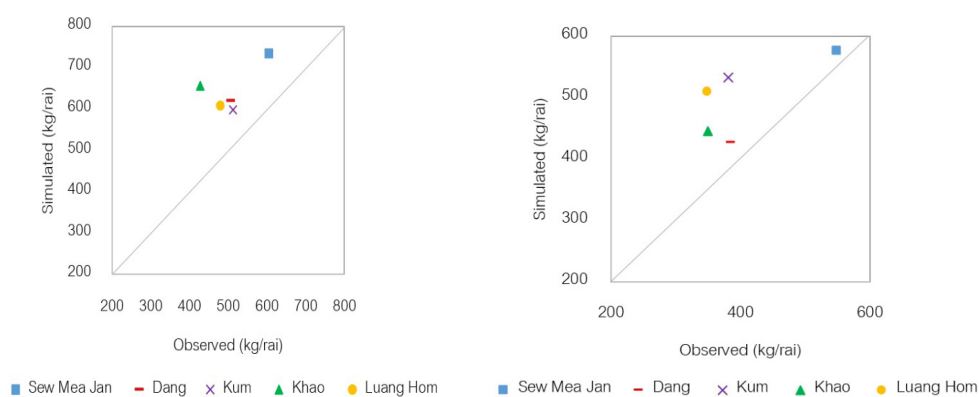


Figure 5 1:1 graph of simulated and observed (a) yield (b) straw weight

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเครือข่ายวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่ ภาคเหนือตอนบน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบน. 2553. เทคโนโลยีการทำนาขั้นบันไดบนพื้นที่สูง. เอ.พี.คอม, เชียงราย.
- ชลธิรา แสงศิริ, อังคิรา จิระมงคล, บุรินทร์ แสงสุข, ธีรยุทธ ดลเยี่ยม, และธนพร ขจรผล. 2556. ความหลากหลายทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองในจังหวัดกาญจนบุรี โดยคุณค่าทางโภชนาการ. วิทยาศาสตร์เกษตร. 44(พิเศษ): 285-288.
- ปรเมศ บรรเทิง, อารันต์ พัฒนินทรีย์, และ สนั่น จอกลอย. 2551. การใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการประเมินผลผลิตของสายพันธุ์ถั่วลิสงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน. แก่นเกษตร. 36(พิเศษ): 76-90.
- พรเพ็ญ สมจิตร์ และนิตยา ผกามาศ. 2556. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice เพื่อประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับผลผลิตข้าว. แก่นเกษตร. 41: 257-268.
- วารภรณ์ คำเชียงเงิน. 2557. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางพืชไร่ การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพการขัดสีของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- วิถีมณีวรรณ. 2533. การทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตสำหรับการปลูกถั่วเหลืองที่ปลูกหลังข้าวในที่ราบลุ่มเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2548. เอกสารการสอนชุดวิชา สารสนเทศเพื่อการจัดการการผลิตพืชเล่มที่ 2. สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราช, นนทบุรี.
- สมชาย ไสแก้ว. 2551. การปรับปรุงแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหา

- บัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- สายบัว เข้มเพชร และศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2555. แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวเก่า. วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม ฉบับงานประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 8: 222-229.
- สายบัว เข้มเพชร และศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2557. การจำลองอิทธิพลของวันปลูกและการจัดการไนโตรเจนต่อข้าวไร่ พันธุ์เงาะสะตะ โดยแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวเก่า. แก่นเกษตร. 42(พิเศษ): 218-226.
- สาวิตร์ มีจ้อย และศิวะพงศ์ นฤบาล. 2558. การเก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวท้องถิ่นในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเพื่อการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- Balci, O., 1997. Principles of simulation model validation, verification, and testing. Trans. Soc. Comput. Simul. Int. 14: 3-12.
- Gao, L.Z., Z.Q. Jin, Y. Huang, and L.Z. Zhang. 1992. Rice clock model: a computer model to rice development. Agric. For Meteorol. 60: 1-16.
- Khempet, S. 2012. Growth and Development of Purple Glutinous Rice and the Construction of Its Growth Model. Ph.D. Dissertation. Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Loague, K., and Green, R.E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. J. Contaminant Hydrol. 7: 51-73.
- Tollenaar, M., T.B. Daynard, and R.B. Hunter. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. Crop Sci. 19: 363-366.
- Wallach, D., Goffinet, B. 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. Ecol. Modelling. 44: 200-306.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Crop Science. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.