การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice เพื่อประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับผลผลิตข้าว

Application of the CSM-CERES-Rice model for evaluation of physiological traits associated with rice yield

พรเพ็ญ สมจิตร์[1] และ นิตยา ผกามาศ[1*]

Pornpen Somchit[1] and Nittaya Phakamas[1*]

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินแบบจำลอง CSM-CERES-Rice ในการจำลองลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการทดลองที่แปลงนาเกษตรกร แขวงขุมทอง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ใช้ข้าวไม่ไวแสง 7 พันธุ์ ประกอบด้วย ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 4 ซ้ำ ทำการปักดำวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 (วันปลูกที่ 1) 15 สิงหาคม 2553 (วันปลูกที่ 2) และ 16 มกราคม 2554 (วันปลูกที่ 3) ใช้กล้าจำนวน 3 ต้นต่อกอ ระยะปักดำ 25´25 เซนติเมตร บันทึกข้อมูลดิน ข้อมูลอากาศ ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลพืชในทั้ง 3 วันปลูก ใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice จำลองสถานการณ์เหมือนกับสภาพการปลูกจริงในแปลงทดลองทุกประการ และประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าจากการจำลองและค่าสังเกตจริง โดยใช้ค่า coefficient of determination (R^2), normalized root mean square error (RMSEn) และ index of agreement (*d*) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการประเมิน CGR, LAI และ SLA ของข้าวได้ค่อนข้างดีในทุกวันปลูก โดยเฉพาะ CGR ที่ระยะ 45 วัน หลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นระยะที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวไม่ไวแสงมากที่สุด

คำสำคัญ: ลักษณะทางสรีรวิทยา, แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว, อัตราการเจริญเติบโต

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the CSM-CERES-Rice model for simulating the physiological characteristics associated with rice yield. The field data used to validate the model was obtained from the experiment that was conducted in the farmers' fields at Khum Thong sub-district, Lat Krabang district, Bangkok. Seven non-photoperiod sensitive rice cultivars consisting of Chainat 1, Suphan Buri 1, Suphan Buri 2, Suphan Buri 3, Pathum Thani 1, Pathum Thani 80 and Phitsanulok 2 were used. Randomized Complete Block Design (RCBD) with 4 replications was used as the experimental design. Three planting dates were selected, i.e. 13 February 2010 (planting date 1), 15 August 2010 (planting date 2) and 16 January 2011 (planting date 3). Three plants were used per hill with a space of 25x25 cm. The soil, weather, management and plant data of the 3 planting dates were recorded. The CSM-CERES-Rice model was used to evaluate CGR, LAI and SLA at different growth stages similar to actual field conditions. Model evaluation was done by comparing the simulated values with their corresponding observed data using coefficient of determination (R^2), normalized root-mean-square error (RMSEn) and index of agreement (*d*). The results showed that the model can be used to simulate CGR, LAI and SLA as indicated by good agreement in all planting dates, especially the CGR from 45 days after transplanting to harvesting which is the most important phase in contributing to the non-photoperiod sensitive rice yield.

Keywords: physiological traits, CSM-CERES-Rice model, crop growth rate

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

* Corresponding author: kpnittay@kmitl.ac.th

บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและทำรายได้ให้กับประเทศปีละหลายแสนล้านบาท ผลผลิตส่วนใหญ่จะใช้บริโภคภายในประเทศ และส่วนที่เหลือส่งไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ในปีการเพาะปลูก 2553/54 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวรวมทั้งหมดประมาณ 72.62 ล้านไร่ แต่ข้าวที่ผลิตได้ยังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำ โดยในข้าวนาปีได้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 389 กก./ไร่ จากพื้นที่เพาะปลูก 57.04 ล้านไร่ และข้าวนาปรังได้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 611 กก./ไร่ จากพื้นที่เพาะปลูก 15.58 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่มีการใช้ปัจจัยการผลิตข้าวเพิ่มขึ้น เช่น ปุ๋ยเคมี และยาปราบศัตรูพืช แต่ไม่ได้หมายความว่าผลผลิตของข้าวที่ผลิตได้จะเพิ่มตามไปด้วย เนื่องจากการให้ผลผลิตของข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการไม่ว่าจะเป็นพันธุกรรมของข้าว สภาพแวดล้อม ตลอดจนวิธีการดูแลปฏิบัติของเกษตรกร โดยข้าวแต่ละพันธุ์มีข้อดีและข้อจำกัดในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ซึ่งศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวแต่ละพันธุ์จะขึ้นกับความสามารถในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต (Alam et al., 2009) โดย Horie et al. (2003) รายงานว่าศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR) ในช่วงปลายของระยะสืบพันธุ์ และจากการศึกษาของ พรเพ็ญ และนิตยา (2554) พบว่า อัตราการเจริญเติบโตที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวมีความสำคัญมากต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง นอกจากนี้ Raju et al. (2003) ยังพบว่า CGR หลังออกดอก และดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) ที่ระยะออกดอกมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อการให้ผลผลิตของข้าว โดยเฉพาะการให้ผลผลิตสูงของข้าวลูกผสมส่วนใหญ่เนื่องจากมีน้ำหนักของเมล็ดและจำนวนหน่อต่อกอสูง โดยความสามารถในการแตกกอของข้าวจะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับพื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area; SLA) (Dingkuhn et al., 2001) ซึ่งเป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืช ทั้งนี้เพราะการให้ผลผลิตขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืช (เฉลิมพล, 2542) ดังนั้นการศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความเกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิต ตลอดจนอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชจึงมีความสำคัญ อย่างไรก็ตามการศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยา ในทางปฏิบัติอาจมีข้อจำกัดในเรื่องของการสิ้นเปลืองทรัพยากร แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานค่อนข้างสูง แต่ปัจจุบันแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดได้ถูกพัฒนาขึ้น เช่น แบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย มันสำปะหลัง ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ทานตะวัน ข้าวฟ่าง ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น (Hoogenboom et al., 1999) ซึ่งเปิดโอกาสให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวเพื่อให้เกิดความรู้และเข้าใจถึงกระบวนการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชมากยิ่งขึ้น และหากแบบจำลองสามารถนำมาประเมินได้ก็น่าจะเป็นประโยชน์เนื่องจากทำให้สามารถทดสอบสมมติฐานและแนวคิดเบื้องต้นได้สะดวกหลากหลาย และทำให้การวิจัยเพิ่มผลผลิตพืชเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองที่แปลงนาเกษตรกร แขวงขุมทอง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ เริ่มจากการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง 7 พันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 ตกกล้าในพื้นที่แปลงขนาด 4 x 4 ม. แต่ละแปลงจะใช้เมล็ดพันธุ์ 0.8 กก. โดยก่อนหว่านนำเมล็ดพันธุ์ไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นมาวางเรียงทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง เมื่อเปิดดูมีรากสีขาวยาว 3-5 มม. จึงนำไปหว่าน โดยก่อนหว่านเมล็ด 1 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 40 กก./ไร่ หลังจากหว่านเมล็ดไปแล้ว 1-2 วัน รักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับเดียวกันกับเมล็ด จากนั้นค่อยๆ เพิ่มระดับน้ำให้อยู่ระหว่าง 2-3 ซม. เมื่อกล้าอายุได้ 25-30 วัน จึงถอนกล้าไปปักดำ

การเตรียมแปลงปักดำ โดยการไถพร้อมกับปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอ แบ่งแปลงทดลองให้มีขนาด 4 x 4 ม. เว้นระยะห่างระหว่างแปลง 1 ม. ก่อนปักดำ 1 วัน ใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กก./ไร่ โดยทำการปักดำวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 (วันปลูกที่ 1) 15 สิงหาคม 2553 (วันปลูกที่ 2) และ 16 มกราคม 2554 (วันปลูกที่ 3) ใช้กล้าจำนวน 3 ต้นต่อกอ ใช้ระยะปักดำ 25 x 25 ซม. และรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับ 5-10 ซม. ตลอดฤดูปลูก หากข้าวไม่มีการเจริญเติบโตหรือตาย ให้ทำการปลูกซ่อมภายใน 7 วัน หลังจากปักดำ และเมื่อข้าวเริ่มสร้างช่อรวงถึงระยะตั้งท้องคืออายุ 45 - 50 วันหลังจากปักดำให้ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 15 กก./ไร่ และใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลงตามความเหมาะสม

การเก็บบันทึกข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลดิน เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 ซม. จำนวน 3 จุดทั่วแปลงปลูกนำมาคลุกเคล้ากัน นำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ได้แก่ คุณลักษณะของเนื้อดิน (เปอร์เซ็นต์ sand, silt และ clay) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cations exchange capacity; CEC) เป็นต้น ข้อมูลภูมิอากาศรายวันเก็บรวมรวบจากสถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งใกล้เคียงแปลงปลูกข้าวมากที่สุด ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) พลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (เมกาจูล/ตารางเมตร/วัน) อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส) ข้อมูลการจัดการ ทำการจดบันทึกในแปลงปลูก ได้แก่ วันปลูก ระยะปลูก ความลึกของการปลูก วันงอก ความหนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร และวันเก็บเกี่ยวผลผลิต และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านพัฒนาการและการเจริญเติบโต ใช้ข้อมูลของพรเพ็ญ (2555) รวมทั้งเก็บบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งสุ่ม 2 กอต่อแปลง จากนั้นนำมาแยกส่วนของราก ต้น และใบ ที่ระยะเก็บเกี่ยวทำการแยกเมล็ดออกจากรวง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง และนำข้อมูลที่เก็บบันทึกมาคำนวณอัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ และที่ระยะ 45 วัน หลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว และคำนวณดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และพื้นที่ใบเฉพาะ (SLA)

สำหรับการประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าวโดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice เริ่มจากการนำข้อมูลดิน ข้อมูลอากาศ ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวที่ประเมินโดยพรเพ็ญ (2555) มาเป็นข้อมูลนำเข้าให้แบบจำลองเพื่อใช้ในการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเป็นรายวัน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองประกอบด้วยระยะพัฒนาการของข้าว เช่น อายุวันออกดอกและอายุเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ของข้าว เช่น ใบ ต้น เมล็ด และราก พร้อมทั้ง LAI และ SLA นำข้อมูลน้ำหนักแห้งของข้าวที่ได้จากการจำลองมาคำนวณค่า CGR ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ได้แก่ ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ และระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว จากนั้นประเมินความสอดคล้องระหว่างค่า CGR, LAI และ SLA ที่ประเมินได้จากการจำลองสถานการณ์และค่าที่ได้จากการสังเกตจริงในแปลงทดลอง โดยใช้ค่า coefficient of determination (R^2), normalized root mean square error (RMSEn) และค่า index of agreement (*d*) (Willmott et al., 1985) ถ้าหากค่า *d* มีค่าใกล้เคียง 1 และ RMSEn มีค่าต่ำ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการสังเกตจริงในแปลงทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีความใกล้เคียงกัน โดยค่า RMSEn น้อยกว่า 10 % แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดีมาก เมื่อค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 % แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดี และเมื่อ RMSEn อยู่ระหว่าง 20 ถึง 30 % แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ค่อนข้างดี และ RMSEn มากกว่า 30 % แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี (Rinaldi et al., 2003)

ผลการศึกษา

อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR)

จากการประเมิน CGR ของข้าวไม่ไวแสง 7 พันธุ์ ใน 3 วันปลูก พบว่าแบบจำลอง CSM-CERES-Rice สามารถประเมิน CGR ของข้าวทุกพันธุ์ได้ค่อนข้างดี

โดยเฉพาะวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) แต่สำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กลับพบว่าแบบจำลองประเมิน CGR ได้ดีในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) โดยมีค่าเฉลี่ยของ CGR ที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 8.37 g m^{-2} d^{-1} และค่าเฉลี่ยของ CGR ที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 9.21 g m^{-2} d^{-1} ส่วนค่า RMSEn และค่า *d* เท่ากับ 15.06 % และ 0.98 ตามลำดับ (Table 1)

สำหรับการประเมิน CGR ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าแบบจำลองสามารถประเมิน CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวได้ดีกว่าระยะอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของ CGR ที่ได้จากการสังเกตอยู่ระหว่าง 8.50 g m^{-2} d^{-1} ถึง 14.13 g m^{-2} d^{-1} และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองอยู่ระหว่าง 6.36 g m^{-2} d^{-1} ถึง 12.84 g m^{-2} d^{-1} สำหรับค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 10.30 ถึง 57.00 % และมีค่า *d* อยู่ระหว่าง 0.46 ถึง 0.93 (Table 2)

จากผลการวิคราะห์ RMSEn และ *d* ระหว่างค่า CGR ที่ระยะต่างๆ พบว่ามีความสอดคล้องกันกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองและค่าสังเกตจริง โดยพบว่า CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ที่ได้จากการจำลองมีความสัมพันธ์กันทางสถิติ (R^2 = 0.50**) กับค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง (Figure 1) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการประเมิน CGR ของข้าวในระยะดังกล่าวได้ดี

ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI)

จากการประเมิน LAI ของข้าวไม่ไวแสง 7 พันธุ์ ใน 3 วันปลูก พบว่าแบบจำลองสามารถประเมิน LAI ของข้าวทุกพันธุ์ได้ดีโดยเฉพาะวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ซึ่งมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 2.67 ถึง 48.65 % และมีค่า *d* อยู่ระหว่าง 0.67 ถึง 1.00 แต่สำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 2 กลับพบว่าแบบจำลองประเมิน LAI ได้ดีในวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) โดยมีค่าเฉลี่ยของ LAI ที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 4.60 และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 2.95 ส่วน RMSEn มีค่าเท่ากับ 43.39 % และค่า *d* เท่ากับ 0.66 (Table 3)

เมื่อพิจารณา LAI ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าแบบจำลองสามารถประเมิน LAI ที่ระยะเก็บเกี่ยวได้ดีกว่าระยะอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของ LAI ที่ได้จากการสังเกตอยู่ระหว่าง 3.39 ถึง 5.18 และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองอยู่ระหว่าง 1.93 ถึง 3.06 ส่วน RMSEn มีค่าอยู่ระหว่าง 38.19 ถึง 60.36 % และค่า *d* อยู่ระหว่าง 0.09 ถึง 0.48 (Table 4)

พื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area; SLA)

จากการประเมิน SLA ของข้าวไม่ไวแสง 7 พันธุ์ ใน 3 วันปลูก พบว่าแบบจำลองทำนาย SLA ของข้าวทุกพันธุ์ในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ได้ดีกว่าวันปลูกอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของ SLA ที่ได้จากการสังเกตอยู่ระหว่าง 196.05 ถึง 236.30 cm^2 g^{-1} และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองอยู่ระหว่าง 144.03 ถึง 156.93 cm^2 g^{-1} สำหรับ RMSEn มีค่าอยู่ระหว่าง 23.06 ถึง 37.76 % และค่า *d* อยู่ระหว่าง 0.21 ถึง 0.62 (Table 5)

เมื่อพิจารณา SLA ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าที่ระยะ 30 วันหลังปักดำแบบจำลองสามารถประเมิน SLA ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้ดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 287.02 cm^2 g^{-1} และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 160.93 cm^2 g^{-1} ส่วน RMSEn และ *d* มีค่าเท่ากับ 48.63 % และ 0.41 ตามลำดับ สำหรับที่ระยะ 45 วันหลังปักดำพบว่าแบบจำลองทำนาย SLA ได้ดีในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 3 และพิษณุโลก 2 โดยมีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 344.43, 275.64 และ 319.73 cm^2 g^{-1} ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 169.20, 171.13 และ 171.13 ตามลำดับ โดย RMSEn มีค่าเท่ากับ 52.94, 39.83 และ 48.73 % ตามลำดับ และ *d* มีค่าเท่ากับ 0.33, 0.34 และ 0.35 ตามลำดับ สำหรับที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าแบบจำลองทำนาย SLA ได้ดีในข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 และปทุมธานี 80 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 185.05, 198.05 และ 154.69 cm^2 g^{-1} ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 103.33, 122.50 และ 111.43 cm^2 g^{-1} ตามลำดับ สำหรับ RMSEn มีค่าเท่ากับ 44.68, 45.41 และ 29.95 % ตามลำดับ ส่วน *d* มีค่าเท่ากับ 0.25, 0.42 และ 0.42 ตามลำดับ (Table 6)

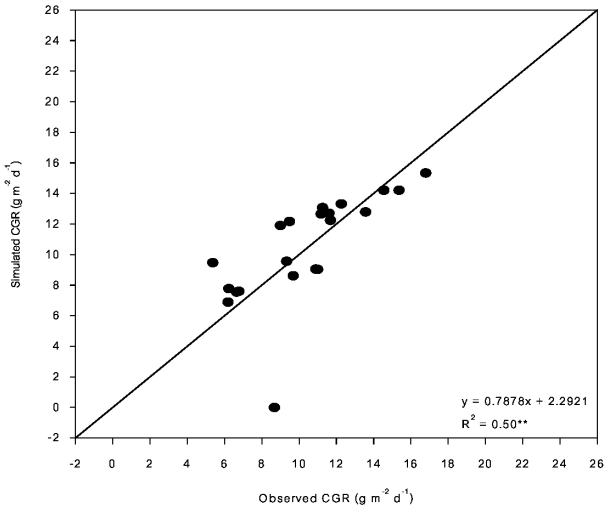

Figure 1 Comparison between observation and simulation for crop growth rate (CGR) at 45 days after transplanting to harvesting of 7 rice cultivars in 3 planting dates.

Table 1 Means for observation (Obs.) and simulation (Sim.) for crop growth rate (CGR) of 7 rice cultivars in three planting dates

Cultivar	Planting date	CGR (g m^{-2} d^{-1})		RMSEn (%)	*d*
		Mean Obs.[1/]	Mean Sim.[1/]		
Chainat 1	1 (13 Feb 2010)	8.79	11.50	32.77	0.92
	2 (15 Aug 2010)	11.50	12.10	9.12	0.99
	3 (16 Jan 2011)	11.53	9.47	26.36	0.92
Suphan Buri 1	1 (13 Feb 2010)	8.37	9.21	15.06	0.98
	2 (15 Aug 2010)	9.73	9.48	27.04	0.88
	3 (16 Jan 2011)	10.43	7.06	49.67	0.75
Suphan Buri 2	1 (13 Feb 2010)	8.65	11.93	59.62	0.57
	2 (15 Aug 2010)	12.72	12.46	11.27	0.98
	3 (16 Jan 2011)	15.15	11.26	36.19	0.83
Suphan Buri 3	1 (13 Feb 2010)	5.94	9.02	67.49	0.73
	2 (15 Aug 2010)	10.43	10.29	35.20	0.84
	3 (16 Jan 2011)	11.23	7.25	49.17	0.74
Pathum Thani 1	1 (13 Feb 2010)	4.80	9.41	132.75	0.09
	2 (15 Aug 2010)	7.92	9.71	26.17	0.92
	3 (16 Jan 2011)	10.91	7.58	35.55	0.89
Pathum Thani 80	1 (13 Feb 2010)	7.58	9.76	66.88	0.46
	2 (15 Aug 2010)	11.07	10.16	34.33	0.81
	3 (16 Jan 2011)	11.11	7.17	47.15	0.81
Phitsanulok 2	1 (13 Feb 2010)	6.11	8.33	61.41	0.66
	2 (15 Aug 2010)	9.70	9.78	36.96	0.77
	3 (16 Jan 2011)	9.03	6.54	50.93	0.73

[1/] Average over all three growth stages

RMSEn = Normalized root mean square error

Table 2 Means for observation (Obs.) and simulation (Sim.) for crop growth rate (CGR) at each growth stage of 7 rice cultivars

Cultivar	Growth stage	CGR (g m^{-2} d^{-1})		RMSEn (%)	*d*
		Mean Obs.[1/]	Mean Sim.[1/]		
Chainat 1	TP to 30 DAT	5.09	5.65	32.36	0.69
	30 to 45 DAT	16.31	16.62	17.93	0.04
	45 DAT to harvest	9.93	11.37	14.81	0.93
Suphan Buri 1	TP to 30 DAT	4.83	2.66	53.22	0.42
	30 to 45 DAT	14.55	12.37	34.61	0.03
	45 DAT to harvest	9.14	10.72	20.00	0.83
Suphan Buri 2	TP to 30 DAT	4.60	6.23	56.98	0.08
	30 to 45 DAT	17.79	16.58	39.63	0.00
	45 DAT to harvest	14.13	12.84	10.30	0.92
Suphan Buri 3	TP to 30 DAT	4.59	2.96	65.41	0.00
	30 to 45 DAT	14.14	12.51	46.45	0.00
	45 DAT to harvest	8.86	6.36	57.00	0.46
Pathum Thani 1	TP to 30 DAT	4.61	2.42	54.57	0.45
	30 to 45 DAT	8.36	12.19	95.88	0.00
	45 DAT to harvest	10.65	12.09	24.27	0.83
Pathum Thani 80	TP to 30 DAT	5.61	2.42	69.72	0.53
	30 to 45 DAT	12.75	14.54	60.97	0.09
	45 DAT to harvest	11.40	10.13	11.80	0.87
Phitsanulok 2	TP to 30 DAT	5.46	2.02	75.56	0.44
	30 to 45 DAT	10.89	12.88	59.15	0.09
	45 DAT to harvest	8.50	9.74	18.99	0.76

[1/] Average over all three planting dates

TP = Transplanting, DAT = Days after transplanting, RMSEn = Normalized root mean square error

Table 3 Means for observation (Obs.) and simulation (Sim.) for leaf area index (LAI) of 7 rice cultivars in three planting dates

Cultivar	Planting date	LAI		RMSEn (%)	*d*
		Mean Obs.[1/]	Mean Sim.[1/]		
Chainat 1	1 (13 Feb 2010)	2.69	3.35	27.79	0.87
	2 (15 Aug 2010)	6.57	3.24	52.13	0.52
	3 (16 Jan 2011)	5.36	2.43	61.41	0.61
Suphan Buri 1	1 (13 Feb 2010)	2.75	2.12	31.83	0.81
	2 (15 Aug 2010)	4.77	2.07	70.37	0.55
	3 (16 Jan 2011)	4.03	1.28	78.27	0.52
Suphan Buri 2	1 (13 Feb 2010)	1.99	2.88	48.65	0.67
	2 (15 Aug 2010)	4.60	2.95	43.39	0.66
	3 (16 Jan 2011)	4.75	2.28	57.18	0.60
Suphan Buri 3	1 (13 Feb 2010)	1.99	2.21	23.67	0.90
	2 (15 Aug 2010)	3.88	2.33	27.22	0.86
	3 (16 Jan 2011)	4.38	1.43	72.82	0.51
Pathum Thani 1	1 (13 Feb 2010)	2.12	2.16	12.50	0.96
	2 (15 Aug 2010)	3.92	1.97	35.83	0.77
	3 (16 Jan 2011)	4.16	1.24	74.74	0.55
Pathum Thani 80	1 (13 Feb 2010)	2.38	2.33	2.67	1.00
	2 (15 Aug 2010)	4.49	2.08	38.86	0.78
	3 (16 Jan 2011)	4.25	1.47	74.41	0.57
Phitsanulok 2	1 (13 Feb 2010)	2.54	1.86	30.54	0.81
	2 (15 Aug 2010)	5.71	1.71	50.29	0.69
	3 (16 Jan 2011)	4.03	1.14	75.64	0.52

[1/] Average over all three growth stages

RMSEn = Normalized root mean square error

Table 4 Means for observation (Obs.) and simulation (Sim.) for leaf area index (LAI) at each growth stage of 7 rice cultivars

Cultivar	Growth stage	LAI		RMSEn (%)	*d*
		Mean Obs.[1/]	Mean Sim.[1/]		
Chainat 1	30 DAT	2.73	2.01	53.88	0.38
	45 DAT	6.70	3.94	51.65	0.39
	harvest	5.18	3.06	57.79	0.48
Suphan Buri 1	30 DAT	2.00	0.89	70.35	0.30
	45 DAT	6.03	2.35	70.73	0.37
	harvest	3.52	2.22	38.19	0.09
Suphan Buri 2	30 DAT	2.08	1.88	51.37	0.00
	45 DAT	5.52	3.58	51.75	0.44
	harvest	3.75	2.65	46.32	0.45
Suphan Buri 3	30 DAT	2.05	0.97	76.89	0.34
	45 DAT	4.80	2.57	64.06	0.38
	harvest	3.40	2.44	38.41	0.44
Pathum Thani 1	30 DAT	2.01	0.87	72.69	0.38
	45 DAT	4.39	2.39	60.33	0.31
	harvest	3.81	2.12	56.80	0.43
Pathum Thani 80	30 DAT	2.37	0.96	77.71	0.48
	45 DAT	5.36	2.51	65.18	0.34
	harvest	3.39	2.41	41.64	0.46
Phitsanulok 2	30 DAT	2.60	0.72	89.21	0.45
	45 DAT	5.25	2.06	70.89	0.35
	harvest	4.44	1.93	60.36	0.37

[1/] Average over all three planting dates

DAT = Days after transplanting, RMSEn = Normalized root mean square error

Table 5 Means for observation (Obs.) and simulation (Sim.) for specific leaf area (SLA) of 7 rice cultivars in three planting dates

Cultivar	Planting date	SLA (cm^2 g^{-1})		RMSEn (%)	*d*
		Mean Obs.[1/]	Mean Sim.[1/]		
Chainat 1	1 (13 Feb 2010)	227.21	149.53	35.27	0.54
	2 (15 Aug 2010)	348.89	145.63	58.55	0.33
	3 (16 Jan 2011)	344.49	145.60	58.29	0.39
Suphan Buri 1	1 (13 Feb 2010)	208.03	147.77	30.06	0.34
	2 (15 Aug 2010)	276.79	145.63	51.12	0.57
	3 (16 Jan 2011)	298.82	143.63	54.18	0.51
Suphan Buri 2	1 (13 Feb 2010)	196.05	156.93	23.06	0.62
	2 (15 Aug 2010)	295.75	151.43	53.53	0.54
	3 (16 Jan 2011)	300.31	151.00	49.84	0.31
Suphan Buri 3	1 (13 Feb 2010)	202.81	152.13	25.61	0.50
	2 (15 Aug 2010)	242.73	148.03	33.81	0.77
	3 (16 Jan 2011)	294.62	148.77	50.90	0.44
Pathum Thani 1	1 (13 Feb 2010)	221.61	144.03	37.66	0.21
	2 (15 Aug 2010)	286.05	140.17	39.62	0.78
	3 (16 Jan 2011)	301.61	141.17	54.33	0.46
Pathum Thani 80	1 (13 Feb 2010)	201.13	147.93	26.61	0.61
	2 (15 Aug 2010)	233.76	145.70	33.87	0.77
	3 (16 Jan 2011)	296.48	146.53	54.73	0.54
Phitsanulok 2	1 (13 Feb 2010)	236.30	147.20	37.76	0.40
	2 (15 Aug 2010)	313.63	144.60	42.21	0.62
	3 (16 Jan 2011)	296.30	146.77	51.86	0.48

[1/] Average over all three growth stages

RMSEn = Normalized root mean square error

Table 6 Means for observation (Obs.) and simulation (Sim.) for specific leaf area (SLA) at each growth stage of 7 rice cultivars

Cultivar	Growth stage	SLA ($cm^2\ g^{-1}$)		RMSEn (%)	*d*
		Mean Obs.[1/]	Mean Sim.[1/]		
Chainat 1	30 DAT	333.51	163.10	55.67	0.40
	45 DAT	344.43	169.20	52.94	0.33
	harvest	242.65	108.47	59.38	0.35
Suphan Buri 1	30 DAT	291.57	163.43	49.72	0.42
	45 DAT	307.02	170.27	48.62	0.40
	harvest	185.05	103.33	44.68	0.25
Suphan Buri 2	30 DAT	285.55	165.80	49.82	0.43
	45 DAT	308.52	171.07	47.18	0.37
	harvest	198.05	122.50	45.41	0.42
Suphan Buri 3	30 DAT	284.36	162.57	48.60	0.42
	45 DAT	275.64	171.13	39.83	0.34
	harvest	180.16	115.23	40.21	0.42
Pathum Thani 1	30 DAT	287.02	160.93	48.63	0.41
	45 DAT	324.17	170.10	50.95	0.38
	harvest	198.08	94.33	54.01	0.34
Pathum Thani 80	30 DAT	288.32	159.30	49.14	0.39
	45 DAT	288.36	169.43	45.29	0.40
	harvest	154.69	111.43	29.95	0.42
Phitsanulok 2	30 DAT	305.61	160.13	49.21	0.32
	45 DAT	319.73	171.13	48.73	0.35
	harvest	220.89	107.30	52.58	0.24

[1/] Average over all three planting dates

DAT = Days after transplanting, RMSEn = Normalized root mean square error

วิจารณ์

จากการประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าวไม่ไวแสง 7 พันธุ์ ใน 3 วันปลูก ได้แก่ วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice พบว่า แบบจำลองสามารถประเมิน CGR ของข้าวทุกพันธุ์ได้ค่อนข้างดี โดยเฉพาะวันปลูกที่ 2 เนื่องจากค่าที่ได้จากการสังเกตและการจำลองมีความแตกต่างกันน้อยกว่าวันปลูกอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากวันปลูกจะมีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตของข้าว (พรเพ็ญ และ นิตยา, 2555) ซึ่งการวัดอัตราการเจริญเติบโตจะวัดเป็นน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา และส่วนมากค่าน้ำหนักแห้งที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการสังเกต เนื่องจากในสภาพความเป็นจริงอาจมีอิทธิพลของปัจจัยอื่น เช่น การเข้าทำลายของโรคและแมลงที่จะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของแต่ละวันปลูก แต่สำหรับแบบจำลองนั้น ผลการประเมินที่ได้ไม่มีผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการทำลายของโรคและแมลง (ชิษณุชา และคณะ, 2554) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความแตกต่างของค่าที่ได้จากการจำลองและค่าที่ได้จากการสังเกต นอกจากนี้ยังพบว่า แบบจำลองสามารถประเมิน CGR ที่ระยะ 45 วัน หลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวได้ดี ระยะดังกล่าวนี้ คือช่วงปลายของระยะสืบพันธุ์ซึ่งเป็นระยะที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงมากที่สุด (พรเพ็ญ และ นิตยา, 2554) เพราะการให้ผลผลิตของข้าวขึ้นอยู่กับการสะสมน้ำหนักแห้ง โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของอายุการเจริญเติบโต (crop growth duration; CGD) หรืออัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR) หรือทั้งสองอย่าง (Yoshida, 1983) และข้าวจะให้ผลผลิตสูงหากข้าวมี CGR ในช่วงปลายของระยะสืบพันธุ์สูง (Horie et al., 2003) สำหรับการประเมิน LAI และ SLA พบว่า แบบจำลองสามารถประเมินได้ค่อนข้างดีในทั้ง 3 วันปลูก สอดคล้องกับการศึกษาของ Mall and Aggarwal (2002) ที่พบว่าแบบจำลองสามารถทำนาย LAI ของข้าวได้ดี ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CSM-CERES-Rice สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวได้ โดยเฉพาะ CGR ที่ระยะ 45 วัน หลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นช่วงที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าว ความรู้ดังกล่าวนี้น่าจะเป็นประโยชน์ที่จะเปิดโอกาสให้สามารถนำเอาแบบจำลองไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยสำหรับการดำเนินการวิจัยได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

สรุป

แบบจำลอง CSM-CERES-Rice สามารถนำมาใช้ประเมิน CGR, LAI และ SLA ซึ่งเป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความเกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว ได้ค่อนข้างดีในทั้ง 3 วันปลูก โดยเฉพาะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ซึ่งมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวไม่ไวแสงมากที่สุด พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินค่าได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงมาก ดังนั้นแบบจำลอง CSM-CERES-Rice จึงเปิดโอกาสให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยทางการเกษตร เช่น เน้นการสร้างความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะทางสรีรวิทยาและกระบวนการเจริญเติบโตที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว เพื่อหาแนวทางในการวางแผนการผลิตหรือยกระดับผลผลิตข้าว ซึ่งข้อมูลดังกล่าวน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับนักปรับปรุงพันธุ์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงได้ หากจะใช้ลักษณะดังกล่าวเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ทางอ้อม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนงบประมาณที่ใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าว และขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศสำหรับใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชิษณุชา บุดดาบุญ, อรรถชัย จินตะเวช และ เกอร์ริต ฮูเกนบูม. 2554. การปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโดยใช้ GENCALC และ GLUE. น. 219-226. ใน : การประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7. วันที่ 8-10 สิงหาคม 2554. คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

พรเพ็ญ สมจิตร์. 2555. ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตของข้าวและการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวเพื่อใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

พรเพ็ญ สมจิตร์ และนิตยา ผกามาศ. 2554. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะต่างๆ และผลผลิตในข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 29:51-57.

พรเพ็ญ สมจิตร์ และนิตยา ผกามาศ. 2555. ผลของวันปลูกต่ออัตราการเจริญเติบโตในระยะการสืบพันธุ์และผลผลิตของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 30:62-70.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2552. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Alam, M.M., M. Hasanuzzaman, and K. Nahar. 2009. Growth pattern of three high yielding rice varieties under different phosphorus levels. Advan. Biol. Res. 3:110-116.

Dingkuhn, M., F. Tivet, P. Siband, F. Asch, A. Audebert, and A. Sow. 2001. Varietal differences in specific leaf area: a common physiological determinant of tillering ability and early growth vigor. P. 95–108. In: S. Peng, and B. Hardy (Eds.). Rice research for food security and poverty alleviation. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Hoogenboom, G., P.W. Wilkens, and G.Y. Tsuji, (Eds.). 1999. DSSAT version 3, Volume 4. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Horie, T., I. Lubis, T. Takai, A. Ohsumi, K. Kuwasaki, K. Katsura and A. Nii. 2003. Physiological traits associated with high yield potential in rice. P. 117-145. In: T.W. Mew, D.S. Brar, S. Peng, D. Dawe and B. Hardy (Eds.). Rice science: Innovations and impact for livelihood. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Mall, R.K., and P.K. Aggarwal. 2002. Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. I. Evaluation of impact assessment models. Ecol. Model. 106:201-212.

Raju, C.H.S., M.V.B. Rao, and A. Sudarshanam. 2003. Associations in physiological growth parameters of rice hybrids. Madras Agric. J. 90:621-624.

Rinaldi, M., N. Losavio, and Z. Flagella. 2003. Evaluation and application of the OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. Agric. Syst. 78:17-30.

Willmott, C.J., S.G. Ackleson, R.E. Davis, J.J. Feddema, K.M. Klink, D.R. Legates, J. O'Donnell, and C.M. Rowe. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. J. Geophys. Res. 90: 8995-9005.

Yoshida, S. 1983. Rice. P. 103-127. In: W.H. Smith, and S.J. Banta. (Eds.). Potential productivity of field crops under different environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.