# การจำลองอิทธิพลของวันปลูกและการจัดการไนโตรเจนต่อข้าวไร่พันธุ์เจาะสะตะโดยแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวก่ำ

# Simulation of the Effect of Planting Date and Nitrogen Management on Upland Rice cv. Ngo-Sata Using Purple Glutinous Rice Model

**สายบัว เข็มเพ็ชร[1] และ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา[2*]**

**Saibua Khempet[1] and Sakda Jongkaewwattana[2*]**

**บทคัดย่อ**: ในเขตภาคเหนือตอนบนซึ่งลักษณะพื้นที่เป็นที่สูง ชุมชนส่วนใหญ่ซึ่งเป็นชนเผ่า อาศัยการเลี้ยงชีพโดยการปลูกพืช และเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้โดยมีข้าวเป็นพืชอาหารหลัก ในช่วงที่ผ่านมาประเทศไทยได้ถูกผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อพืช โดยเฉพาะพัฒนาการที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ทั้งนี้ในปัจจุบันได้มีการศึกษาในส่วนของการศึกษาการตอบสนองของพืชต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยมีการใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่สามารถเชื่อมโยงความซับซ้อนและวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ในระบบของพืชได้ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (PGR Model) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึงการจัดการไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว

จากผลการทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลอง (model validation) พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองพลวัตการสะสมน้ำหนักมวลชีวภาพ (ทั้งใบและต้น) ของข้าวพันธุ์เจาะสะตะ ที่ปลูกในวันที่ 8 พ.ค., 31 พ.ค., 4 ก.ค.และ 7 ส.ค. พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมวลชีวภาพที่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการสังเกต อย่างไรก็ตามผลการจำลองน้ำหนักมวลชีวภาพที่ได้มีค่ามากกว่าข้อมูลที่ได้จากการสังเกต ในส่วนของการจำลองผลผลิตนั้น พบว่าผลผลิตมีแนวโน้มลดลงเมื่อปลูกล่าออกไปจากวันที่ 8 พ.ค. สอดคล้องกับผลที่ได้จากการสังเกต ทั้งนี้การจำลองการสะสมน้ำหนักแห้งข้าวแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการตอบสนองของข้าวในสภาพภูมิอากาศที่ต่างกันได้ อย่างไรก็ตามผลการจำลองการเจริญเติบโตจะได้ค่าการจำลองที่สูงกว่าค่าสังเกต ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการจำลองการเจริญเติบโตเป็นการจำลองค่าศักยภาพของข้าว ในทำนองเดียวกันการจำลองค่าผลผลิตจากแบบจำลองแสดงถึงศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าว

เมื่อทำการจำลองการจัดการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนนั้นพบว่า การใส่ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ทั้งน้ำหนักมวลชีวภาพและผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่การปลูกข้าวล่าออกไปจากวันที่ 8 พ.ค. การใส่ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมวลชีวภาพและผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการจำลองชี้ให้เห็นว่าการปลูกข้าวพันธุ์ไวแสง ที่ปลูกล่าจากต้นฤดูนาปี การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไม่สามารถที่จะเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นหากสภาพภูมิอากาศแปรปรวน ที่อาจส่งผลต่อการปลูกข้าวที่ล่าช้าออกไป ในการจัดการควรคำนึงถึงพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสงและสามารถปรับตัวได้ในสภาพหนาวเย็นช่วงการเจริญเติบโตระยะสืบพันธุ์

**คำสำคัญ**: ข้าว, แบบจำลองการ, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

[1] คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University

[2] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agricultural, Chiang Mai University

* Corresponding author: sakda.j@cmu.ac.th

**ABSTRACT:** The upper northern region part of Thailand consists of hill tribe communities locate their villages in highland. They depend on rice production and animal raising in which rice is their staple food. Thailand was also influenced by global climate change in the past years particularly the variation of amount of rainfall and temperature which are important factors related to crop growth especially development which relate to growth and yield. Nowadays, crop growth models are wildly use to study the response of crops to climate change since crops growth model can investigate and analyze the complex system components of crop quantitatively. The objective of this research is to apply rice growth simulation model (PGR model) as a tool to investigate the effect of climate change and nitrogen management on rice growth and yield.

Model validation results show that the simulation of dynamic biomass accumulation (both leaves and stem) for rice planted on 8 May, 31 May, 4 July and 7 August revealed that there was similar increasing trend of both observed and simulated. However, simulated results of biomass accumulation were greater than those of observed. However, simulate biomass was greater than the observed. Yield simulation show that there was decreasing trend of grain yield when rice were planted after 8 May planting. Simulated dry matter accumulation showed similar trend to observed data in response to climate change. However, simulated results of growth were greater than those of observed. This indicated that growth simulation revealed the potential performance of rice. Similarly, yield simulation was also a potential yield.

Using of the model to simulate nitrogen management show that increasing nitrogen application rate could enhance biomass and yield. However, biomass and yield were not significantly increased when delay planting from 8 May. Simulation results indicated that increasing nitrogen application rate cannot significantly increase rice yield particularly when photoperiod sensitive rice variety was delayed planting. Thus, it is necessary to determine appropriate rice variety i.e. non photoperiod sensitive and adapted to cold climate during reproductive stage for such climate change situation.

**Keywords:** Rice, Simulation Model, Climate change

## บทนำ

ในเขตภาคเหนือตอนบนซึ่งลักษณะพื้นที่เป็นที่สูง ชุมชนส่วนใหญ่ซึ่งเป็นชนเผ่า อาศัยการเลี้ยงชีพโดยการปลูกพืช และเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้โดยมีข้าวไร่เป็นพืชอาหารหลัก ในช่วงที่ผ่านมาประเทศไทยได้ถูกผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อพืช โดยเฉพาะพัฒนาการที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต จากการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในประเทศไทยโดย Felkner et al. (2009) ได้ใช้แบบจำลองเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคมในการศึกษาความซับซ้อนของผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวและความสามารถของเกษตรกรที่จะเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงเชิงมหภาค ซึ่งพบว่าโดยทั่วไปแล้วเกษตรกรไม่สามารถที่จะรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงได้ แต่ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่ไม่รุนแรงมากนักเกษตรกรสามารถได้ผลประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝน ในส่วนของการศึกษาการตอบสนองของพืชต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้น ได้มีการใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภทเมคานิสติกส์ (Mechanistic model) สามารถเชื่อมโยงความสลับซับซ้อนและวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ในระบบ อีกทั้งยังใช้ในการจำลอง (Simulation) ระบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ได้ แบบจำลองประเภทเมคานิสติกส์จัดอยู่ในแบบจำลองทางสัญลักษณ์ แต่อยู่ในรูปแบบที่เป็นเชิงปริมาณที่เรียกว่า qualitative model ทั้งนี้อาศัยความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างองค์ประกอบหรือตัวแปรในระบบโดยการเปลี่ยนแปลงของระบบนี้จะเกิดขึ้นจากตัวแปรที่เรียกว่าตัวแปรขับเคลื่อน (driven variable) ยกตัวอย่างเช่น ในระบบเกษตรนั้นตัวแปรขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดพลวัตของระบบได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศที่ขับเคลื่อนให้เกิดพลวัตของพัฒนาการและการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น แบบจำลองประเภทดังกล่าวสามารถที่จะนำมาช่วยในการวิเคราะห์ระบบการผลิตรวมถึงการใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการจัดการการเพาะปลูกพืช ปัจจุบันแบบจำลอง

การเจริญเติบโตของพืชนับว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญในงานวิจัยทางการเกษตร แบบจำลองสามารถที่จะเปรียบเทียบผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชในพื้นที่ที่ต่างกันได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นแบบจำลองยังใช้ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมซึ่งรวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช รวมถึงการจำลองผลผลิตภายใต้การจัดการที่ต่างกัน (Bouman et al., 1996; Jones et al., 2003) ที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวหลายแบบจำลองเพื่อที่จะประเมินลักษณะการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว เช่น CERES-Rice (Singh et al., 1993), SIMRIW (Horie et al., 1992), ORYZA2000 (Bouman et al., 2001), RiceGrow (Tang et al., 2009) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นมาแล้วนั้นมีเงื่อนไขเฉพาะที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของผู้พัฒนา ดังนั้นการนำแบบจำลองหนึ่งๆ มาใช้ตามวัตถุประสงค์ใหม่ที่ตั้งไว้ จำเป็นจะต้องมีการปรับใช้หรือพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว PGR Model (Khempet, 2012) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึงการจัดการไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว

## วิธีการศึกษา

ทำการปลูกข้าวไร่พื้นเมืองพันธุ์เงาะสะตะ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกในพื้นที่บ้านดง ตำบลห้วยห้อม อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยกำหนดวันปลูก 4 วันปลูก ดังนี้

วันปลูกที่ 1 : วันที่ 8 พฤษภาคม 2556
วันปลูกที่ 2 : วันที่ 31 พฤษภาคม 2556
วันปลูกที่ 3 : วันที่ 4 กรกฎาคม 2556
วันปลูกที่ 4 : วันที่ 7 สิงหาคม 2556

การปลูกข้าวที่มีวันปลูกต่างกันจะเป็นการจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน ต่อระยะพัฒนาการ และการเจริญเติบโตของข้าว ทั้งนี้เพราะ ทั้งอุณหภูมิ ค่าพลังงานแสง และความยาววันของเดือนในรอบปี จะมีความแตกต่างกัน ทำการปลูกข้าวทดลอง ณ ศูนย์วิจัยระบบทรัพยากรเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยในแต่ละวันปลูกทำการปลูกข้าวในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร พันธุ์ละ 10 กระถาง โดยปลูก 2 ต้นต่อกระถาง ทำการบันทึกข้อมูลระยะพัฒนาการ (วันงอก ระยะกล้า ระยะแตกกอ ระยะกำเนิดช่อดอก ระยะตั้งท้อง ระยะออกรวง และระยะสุกแก่) ในแต่ระยะพัฒนาการทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้ง โดยแบ่งออกเป็น ต้น ใบ และรวง เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโต และในระยะสุกแก่ทำการเก็บผลผลิต รวมถึงองค์ประกอบผลผลิต

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวก่ำ (Purple glutinous rice model) (**Figure 1**) ที่พัฒนาขึ้นโดย Khempet (2012) ซึ่งแบบจำลองจะใช้พลังงานแสง อุณหภูมิ ลักษณะพันธุกรรมที่แสดงออกถึงระยะพัฒนาการ ลักษณะทางสัณฐานและกระบวนการทางสรีระ เป็นปัจจัยหลักที่จะประเมินอัตราการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละวัน แบบจำลองจะทำการจำลองการสะสมน้ำหนักแห้ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงระยะพัฒนาการของพืช รวมถึงผลผลิตและพลวัตของปริมาณไนโตรเจนในข้าว ข้อมูลนำเข้าที่จะนำมาขับเคลื่อนแบบจำลองประกอบด้วย วันปลูก (กำหนดเป็น Julian day) ข้อมูลระยะพัฒนาการ (วันออกดอก และวันสุกแก่) และการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน (อัตรา และวันใส่) ข้อมูลอากาศรายวัน (ค่าพลังงานแสง อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และความยาววัน) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้รับข้อมูลอากาศรายวันจากสถานีตรวจวัดอากาศ ศูนย์วิจัยระบบทรัพยากรเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทั้งนี้แบบจำลองพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม STELLA (High Performance Systems, Inc.)

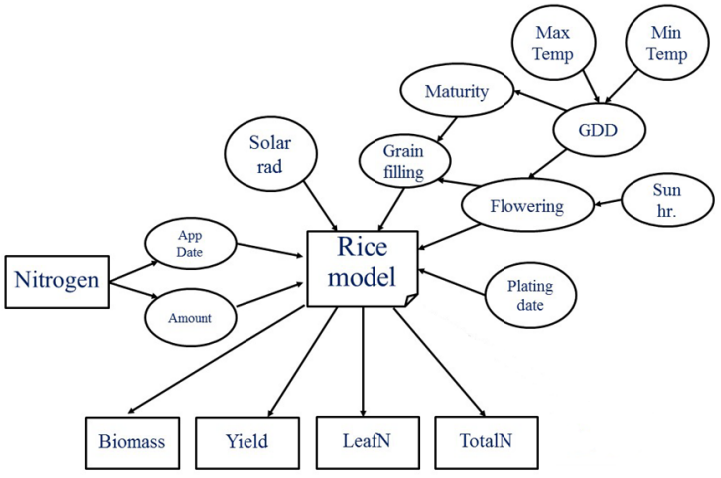


**Figure 1** Structure of PGR model (Khempet, 2012)

จากข้อมูลพัฒนาการ และการสะสมน้ำหนักแห้งที่ได้จากงานทดลองในกระถาง ได้นำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลอง (Model validation) ก่อนที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario analysis) ในการประเมินกลยุทธ์การจัดการการปลูกข้าวไร่ที่ระดับปุ๋ยไนโตรเจนต่างกัน

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการสังเกตข้อมูลระยะพัฒนาการของข้าว (**Table 1**) แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์เจาะสะตะเป็นข้าวไวแสง ทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าระยะกำเนิดช่อดอก (Panicle initiation) มีจำนวนวันลดลงเมื่อปลูกล่าออกไปจากวันปลูกที่ 1 (8 พ.ค.) ซึ่งในวันปลูกนี้ข้าวใช้เวลา 82 วันหลังปลูกในการกำเนิดช่อดอก ส่วนวันปลูกที่ 4 และ 7 ส.ค. ข้าวใช้เวลา 62 วันหลังปลูก ผลการสังเกตดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการออกดอกของข้าวที่เป็นพันธุ์ไวแสงจะขึ้นอยู่กับวันที่มีความยาววันที่เหมาะสม ซึ่งบางครั้งอาจจะไม่ออกดอก หากมีความยาววันมากเกินไป ซึ่งจำรัส (2534) ได้อธิบายถึงพัฒนาการของข้าวที่มีความสัมพันธ์กับช่วงแสงไว้ว่า พันธุ์ข้าวที่ไวต่อแสงเมื่อมีพัฒนาการจนถึงระยะแตกกอสูงสุดแล้วยังไม่สามารถให้กำเนิดช่อดอกได้ นั่นเป็นเพราะช่วงแสงของวันสั้นไม่พอ ในทำนองเดียวกันจากผลการสังเกตพบว่าวันสุกแก่มีจำนวนวันลดลงเมื่อปลูกล่าออกไปสอดคล้องกับวันกำเนิดช่อดอก

**Table 1** Observed phenological development of rice cv. Ngo-Sata planted on 8 May, 31 May, 4 July and 7 August 2013

| Planting date | 8 May | | 31 May | | 4 July | | 7 August | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Phenological development | Date | DAP | Date | DAP | Date | DAP | Date | DAP |
| planting | 8 May | 0 | 31 May | 0 | 4 Jul | 0 | 7 Aug | 0 |
| tillering | 12 Jun | 35 | 24 Jun | 24 | 11 Aug | 38 | 30 Aug | 23 |
| panicle initiation | 29 Jul | 82 | 14 Aug | 75 | 4 Sep | 62 | 8 Oct | 62 |
| Booting | 26 Aug | 110 | 26 Sep | 118 | 25 Sep | 83 | 25 Oct | 79 |
| heading | 9 Sep | 124 | 3 Oct | 125 | 3 Oct | 91 | 3 Nov | 88 |
| maturity | 27 Oct | 172 | 6 Nov | 159 | 13 Nov | 134 | 1 Dec | 116 |

จากข้อมูลการสังเกตระยะพัฒนาการของข้าวพันธุ์เงาะสะตะทั้ง 4 วันปลูก สามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่าอุณหภูมิสะสมเพื่อใช้ในการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิต (Table 2) โดยการคำนวณค่าอุณหภูมิสะสมที่ข้าวใช้เพื่อการพัฒนาในแต่ระยะจะคำนวณโดยใช้สมการตามวิธีการของ Tollenaar (1979) ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$GDD = \frac{(T\max + T\min)}{2} - Tbase$$

โดย Tmax = Daily maximum temperature คือ ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวัน (°C)

Tmin = Daily minimum temperature คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน (°C)

Tbase = The minimum threshold temperature คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่พืชจะเจริญเติบโตได้ สำหรับข้าวมีค่า เท่ากับ 8°C

ค่าที่ได้จากสมการมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และการแทนค่าในสมการใช้วิธี “cut-off method” คือ กำหนดให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันมีค่าไม่เกิน 30°C (Tmax = 30) ถ้าค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันมีค่ามากกว่า 30°C ให้แทนค่าในสมการเท่ากับ 30°C และถ้าค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันน้อยกว่าค่า Tbase คือ 8°C ให้แทนค่าในสมการเท่ากับ 8°C ซึ่งจากการทดลองของ Gao et al. (1992) พบว่า ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเป็นปกติที่อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 8°C และอัตราการเจริญเติบโตของข้าวจะเกิดขึ้นสูงสุดในสภาพของอุณหภูมิที่มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 30°C ดังนั้น ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายวันที่สูงมากกว่า 30°C ไม่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของข้าวเพิ่มมากขึ้นจึงไม่นำมาคิดคำนวณ

**Table 2** Accumulated growing degree day recorded from planting till heading (ObsGDDF) and heading till maturity (GfillGDD)

| Planting date | Accumulated growing degree day (GDD) | |
|---|---|---|
| | ObsGDDF (°C) | GFillGDD (°C) |
| 8 May | 2357 | 875 |
| 31 May | 2365 | 601 |
| 4 July | 1717 | 721 |
| 7 August | 1631 | 479 |

จากผลการจำลองการสะสมน้ำหนักแห้งของข้าวที่ปลูกในวันที่ 8 พ.ค., 31 พ.ค., 4 ก.ค. และ 7 ส.ค. แสดงใน Figure 2 จะเห็นได้ว่าพลวัตของการสะสมน้ำหนักแห้งต้นและใบของข้าวทั้งค่าที่ได้จากการจำลอง (simulated) และค่าที่ได้จากการสังเกต (observed) เพิ่มขึ้นจากวันหลังปลูกไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นธรรมชาติของการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งการสะสมน้ำหนักแห้งเป็นผลลัพธ์จากการสังเคราะห์แสงที่อาศัยพลังงานแสง ในแบบจำลองก็ใช้พลังงานแสงเป็นตัวแปรขับเคลื่อนการสะสมน้ำหนักแห้ง แต่ค่าที่ได้จากการสังเกตนั้น การสะสมน้ำหนักแห้งของข้าวจะลดลงเมื่อถึงระยะสุกแก่ แต่ผลที่ได้การจำลองไม่สอดคล้องกับค่าสังเกต ทั้งนี้เพราะแบบจำลองไม่ได้รวมถึงระบบการเสื่อมสภาพ (senescence) ของต้นและใบเมื่อเข้าสู่ระยะสุกแก่

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่า ข้าวพันธุ์เงาะสะตะทั้ง 4 วันปลูก มีน้ำหนักที่ได้จากการจำลองมากกว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากการสังเกต ทั้งนี้เพราะ ค่าที่ได้จากการจำลองเป็นค่าที่มาจากการคำนวณผลกระทบของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิสูง-ต่ำ ค่าพลังงาน

แสง และความยาววันเท่านั้น มิได้เกี่ยวกับผลกระทบจากตัวแปรอื่นๆ เช่น การระบาดของโรคแมลง หรือการหักล้มของข้าว เป็นต้น แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการสะสมน้ำหนักแห้งต้นและใบ ซึ่งเป็นแหล่งผลิต (source) ที่จะนำไปสู่การสะสมน้ำหนักเมล็ด (sink) ซึ่งตามทฤษฎีแล้ว ถ้าหากการเพาะปลูกในแปลงมีการจัดการที่ดีและเหมาะสม การเจริญเติบโตของข้าวก็สามารถเข้าใกล้ศักยภาพของข้าวแต่ละพันธุ์ได้ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการปลูกในวันปลูกที่ 8 พ.ค. 56 มีแนวโน้มของการสะสมของน้ำหนักแห้งต้นและใบมากกว่าวันปลูกที่ 31 พ.ค. 56 ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะข้าวที่นำมาปลูกเป็นข้าวไวแสง ซึ่งข้าวที่ปลูกเร็วมีโอกาสที่จะเจริญเติบโตทางต้นและใบยาวนานกว่าข้าวที่ปลูกล่า อย่างไรก็ตาม พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งที่ได้จากการสังเกตของข้าวที่ปลูกวันที่ 7 ส.ค. มีการสะสมน้ำหนักแห้งที่น้อยมาก ทั้งนี้จากการสังเกตพบว่าข้าวแคระแกรนจากการระบาดของโรค ทำให้ไม่สามารถเก็บผลผลิตได้ แต่แบบจำลองสามารถจำลองศักยภาพของการสะสมน้ำหนักแห้งของข้าวได้

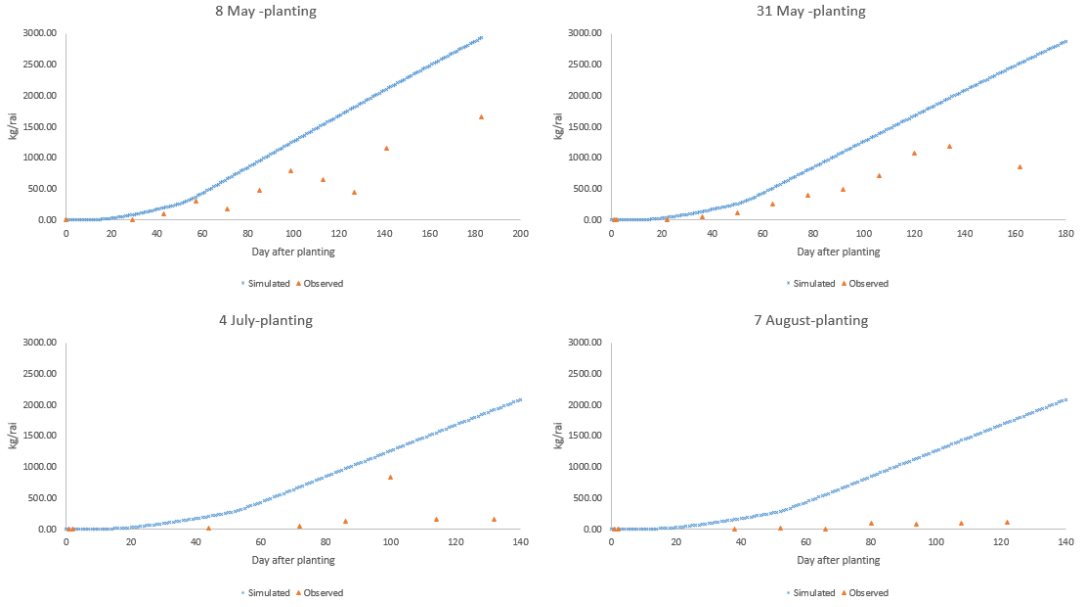


**Figure 2** Comparison of observed and simulated accumulated dry matter of rice cv.Ngo-Sata under difference planting date

เมื่อทำการจำลองผลผลิต (**Figure 3**) พบว่าการจำลองผลผลิตของข้าวพันธุ์เงาะสะตะที่ปลูกในช่วงวันปลูก 8 พ.ค., 31 พ.ค. และ 4 ก.ค. แสดงให้เห็นว่าข้าวมีผลผลิตที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปลูกล่าออกไปจากวันที่ 8 พ.ค. สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการสังเกต ในทำนองเดียวกับการจำลองการสะสมน้ำหนักแห้ง พบว่าผลผลิตที่ได้จากการจำลองมากกว่าผลผลิตที่ได้จากการสังเกต (**Figure 4**) ซึ่งผลการจำลองแสดงถึงศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวที่ตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศที่ต่างกันตามวันปลูก อย่างไรก็ตามแบบจำลอง PGR เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิต อาศัยข้อมูลนำเข้าได้แก่ ข้อมูลสภาพภูมิอาศ และการจัดการไนโตรเจนเท่านั้น ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วในธรรมชาติอาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการปลูกก่อนฤดูปลูกตามระยะเวลาปกติของข้าวไร่ที่ปลูกบนพื้นที่สูง ซึ่งจะอยู่ในช่วงเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคม โดยหวังว่าจะให้ข้าวมี

ระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งที่ยาวนานขึ้น แต่ก็สามารถมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการให้ผลผลิตได้ เช่น การหักล้มของต้นข้าว การเข้าทำลายจากศัตรูข้าว เป็นต้น

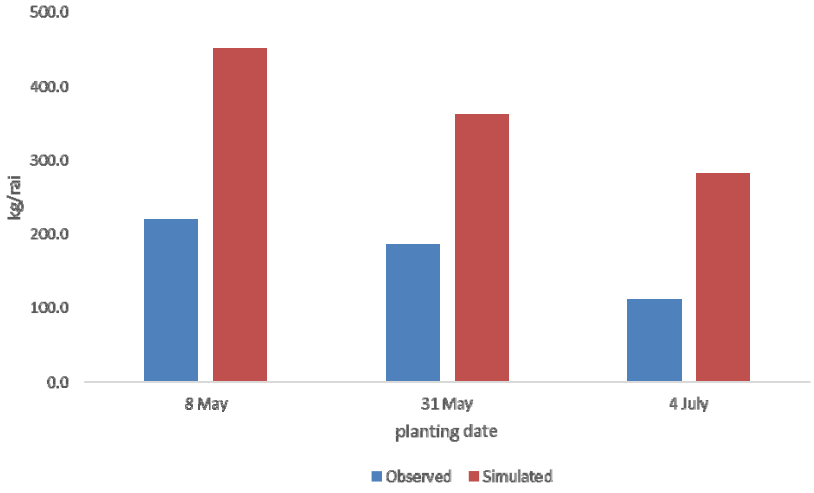


**Figure 3** Observed and simulated yield comparison

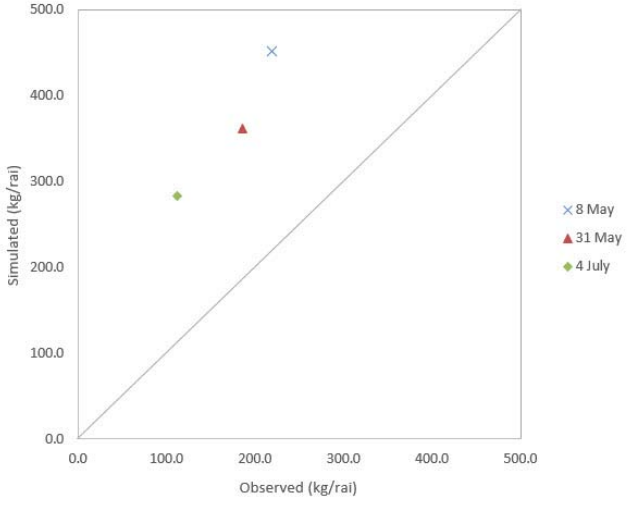


**Figure 4** 1:1 graph shows simulated and observed yield comparison

เมื่อทำการจำลองการจัดการไนโตรเจน 3 รูปแบบ ดังแสดงในตาราง (**Table 3**) ผลการจำลองแสดงใน **Figure 5** จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกวันปลูก ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของข้าวทั้งในระยะ Vegetative และ Reproductive stage ซึ่งมีผลต่อการเจริญของลำต้นและใบ ดัชนีพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และการสะสมน้ำหนักแห้งตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าว (Yoshida, 1981) ดังนั้นปุ๋ยไนโตรเจนจึงมีผลทำให้ข้าวมีการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการปลูกข้าวล่าออกไป การใส่ปุ๋ย

ไนโตรเจนไม่สามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกต้นฤดู ทั้งนี้เพราะข้าวที่ปลูกก่อนมีศักยภาพในการสะสมน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นแหล่งผลิต ที่สามารถส่งไปสร้างผลผลิตมากกว่าข้าวที่ปลูกล่าออกไป โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวที่ไวแสง ที่ระยะการเจริญเติบโตทางต้นและใบถูกกำหนดด้วยช่วงแสง ซึ่งเมื่อข้าวเข้าสู่ระยะสืบพันธุ์ ข้าวจะหยุดการเจริญเติบโตทางต้นและใบ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์เงาะสะตะ ที่ปลูกล่าออกไปถึงแม้จะได้รับไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ไม่สามารถที่จะสร้างแหล่งผลิตที่มีประสิทธิภาพมากพอที่จะทดแทนระยะเวลาการสร้างแหล่งผลิตที่ส่งถ่ายสารสังเคราะห์ไปสู่ผลผลิตได้ในช่วงระยะเวลาสั้น

**Table 3** Simulation of grain yield under difference fertilizer management and planting date

| Scenario | Nitrogen application | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1st application | | 2nd application | |
| | Amount (kgN/ha) | Date (DAP) | Amount (kgN/ha) | Date (DAP) |
| 1 | 25 | 14 | 75 | 45 |
| 2 | 50 | 14 | 75 | 45 |
| 3 | 50 | 14 | 150 | 45 |

โดยสรุปแล้วการจำลองการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวของแบบจำลอง PGR แสดงให้เห็นถึงความสามารถของแบบจำลองที่สามารถจำลองทั้งการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ซึ่งมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึงการจัดการไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวได้ แต่เนื่องจากงานทดลองได้ปลูกในพื้นที่ราบและในสภาพพื้นที่จำกัดในกระถางเพาะปลูก ดังนั้นการที่จะนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ เพื่อการตัดสินใจระบบการผลิตข้าว ในสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน รวมถึงการจัดการธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจนที่ต่างกันบนพื้นที่สูง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปลูกทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลในสภาพปลูกจริงบนที่สูง เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำ (model validation) รวมถึงการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพันธุ์ให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

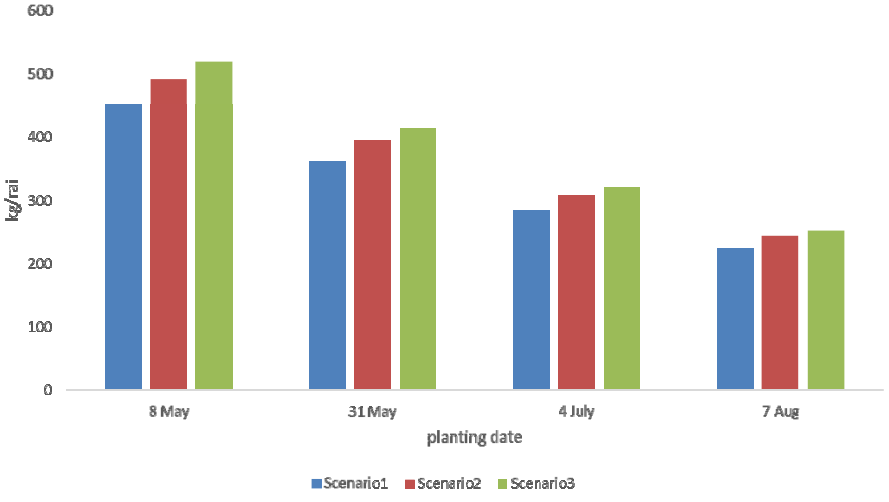


**Figure 5** Simulated yield under difference nitrogen management scenario

## สรุปและข้อเสนอแนะ

แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นแบบจำลองที่เรียบง่าย และออกแบบให้เป็นแบบจำลองที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และการจัดการไนโตรเจนที่เป็นข้อมูลนำเข้าเท่านั้น มิได้รวมถึงการจัดการน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการผลิตข้าวบนที่สูง ดังนั้นแนวทางการพัฒนาต่อยอดแบบจำลองนี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาแบบจำลองย่อยของสมดุลย์น้ำ (water balance sub model) ที่จะทำให้แบบจำลองสามารถนำมาใช้เพื่อการประเมินกลยุทธ์การจัดการการปลูกข้าวไร่บนที่สูงอาศัยน้ำฝน ได้ใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่มากขึ้น

## คำขอบคุณ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

## เอกสารอ้างอิง

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

Bouman, B.A.M., H. van Keulen., H.H. van Laar, and R. Rabbinge. 1996. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: pedigree and historical overview. Agricultural Systems. 52: 171-198.

Bouman, B.A.M., M.J. Kropff, T.P. Tuong, M.C.S. Wopereis, H.F.M. ten Berge, and H.H. van Laar. 2001. ORYZA2000. Modeling Lowland Rice. Manila: International Rice Research Institute.

Felkner, J., K. Tazhibayeva, and R. Townsend. 2009. Impact of Climate Change on Rice Production in Thailand. American Economic Review. 99(2): 205–10.

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. P. 6-16.

Horie, T., M. Yajima and H. Nakagawa. 1992. Yield forecasting. Agric. Syst. 40: 211-236.

Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman, and J.T. Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy. 18: 235-265.

Khempet, S. 2012. Growth and Development of Purple Glutinous Rice and the Construction of Its Growth Model. Ph.D. Dissertation. Chiang Mai University.

Singh, U., J.T. Ritchie, and D.C.Godwin. 1993. A User's Guide to CERES-Rice-V2.10. Int. Fer.Dev.Center, Muscle Shoals, AL.

Tang. L., Y. Zhu., D. Hannaway., Y. Meng., L.Liu., L. Chen, and W. Cao. 2009. RiceGrow: A rice growth and productivity model. Wageningen Journal of Life Sciences. 57: 83-92.

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.

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Crop Science. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.