ศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวไม่ไวแสง (พันธุ์ปทุมธานี 1) ในสภาวะแล้งโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ORYZA2000

Growth and Development in Non-photosensitive Rice (cv.Pathumtani 1) under Water Deficit compare with ORYZA2000 Model

ปรินดา บุญพร้อม[1] สุรจิต ภูภักดี[2] ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์[1] ทิวาพร ศรีวรกุล[3]
และ สุรวุฒน์ อยู่ยงเวชช์[1]

Parinda Boonprom[1], Surajit Phuphak[2], Yutana Pankamonsilpa[1], Tiwaporn Sriworakul[3]
and Suravoot Yooyongwech[1]

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาภัยแล้งกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างต่อเนื่องและส่งผลถึงความมั่นคงทางอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือข้าว ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวไม่ไวต่อแสง มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น และเป็นพันธุ์หนึ่งที่เกษตรกรนิยมปลูก ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของข้าวกับแบบจำลอง ORYZA2000 ในข้าวพันธุ์นี้ ORYZA2000 เป็นแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวที่พัฒนาโดยสถาบันวิจัยข้าวระหว่างประเทศ (IRRI) และมีการนำไปปรับใช้กันอย่างแพร่หลายในพื้นที่ต่างๆ เช่น ในสาธารณรัฐประชาชนจีน เกาหลีใต้ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ อินเดีย แถบทวีปแอฟริกา และในข้าวพันธุ์หอมมะลิ105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย การวิจัยนี้ได้จำลองสถานการณ์การปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในสภาวะขาดน้ำ โดยแบ่งออกเป็น 1) ชุดให้น้ำในแปลงต้นข้าวตลอดระยะการปลูก 2) ชุดไม่ให้น้ำในแปลงต้นข้าวตลอดระยะการปลูก พบว่าในแปลงที่ให้น้ำ ณ 47 วัน ต้นข้าวมีความสูงอยู่ระหว่าง 43.8-41.5 เซนติเมตร และในแปลงที่ขาดน้ำ พบว่าต้นข้าวมีความสูงมากที่สุด และต่ำที่สุดอยู่ระหว่าง 43.3-39.4 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ORYZA 2000 ในข้าวไม่ไวแสง (IR27) พบว่าในสภาพให้น้ำและไม่ให้น้ำมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ growth parameters ที่แตกต่างกัน โดยสภาพที่ให้น้ำจะให้ผลการเจริญดีกว่าชุดที่ไม่ให้น้ำ จากการทดลองแสดงให้เห็น แนวโน้มการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อาจจะใช้แบบจำลอง ORYZA2000 จำลองสถานการณ์การปลูกข้าว เพื่อเป็นแนวทางแก่เกษตรกรในการวางแผนการปลูกข้าวซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการปลูกข้าวในฤดูต่างๆ ในภาคตะวันตกได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาเพิ่มเติมปัจจัยแวดล้อมเกี่ยวกับการพัฒนาของพืช (Phenological development parameters)

[1] สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร สำนักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี

[2] สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สำนักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี

[3] ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[4] ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติท่ามะขาม จังหวัดกาญจนบุรี

และปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญเติบโตอื่นๆ ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่จากการวิเคราะห์ได้ใช้จากข้าวพันธุ์ IR27 ถึงแม้จะเป็นข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงและปลูกในพื้นที่ชลประทานเช่นเดียวกันแต่ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มักจะความแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ การศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้มาซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ให้มากขึ้นกว่าปัจจุบัน

คำสำคัญ : ORYZA2000 ข้าวเจ้าปทุมธานี 1 ข้าวไม่ไวแสง สภาวะขาดน้ำ

Abstract

In this research, a rice growth simulation model (ORYZA2000) was used to study growth of rice cv. Pathumtani1 in a water stress condition. The Pathumtani1 is off-season rice and non-sensitive photoperiod. So far, there has been no research studied on the model with Pathumthani1. The rice crops were divided into two groups of growing conditions i.e. irrigated and rainfed conditions. The research found that the rice had grown between 43.8-41.5 cm in the irrigated condition. In rainfed case, the rice had less grown between 43.3-39.4 cm. The growth characteristic of both groups was related to the growth parameters of a non-sensitive to photoperiod rice in the ORYZA2000 such as TIME, ZRT (root length), WLVG (dry weight of green leaves), WLVD (dry weight of dead leaves), and WLV (dry weight of leaves). This study was shown that the growth of the Pathumtani1 might be related the model parameters. The first group was quite better than the second one. The results may help farmers to predict for efficient growth in the western paddy area of Thailand in the future.

Key Words : ORYZA2000, rice cv. Pathumtani 1, water stress, non-sensitive to photoperiod

บทนำ

ความแห้งแล้งและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศได้กลายเป็นปัญหาที่รุนแรงในหลายพื้นที่ของโลก ซึ่งความแห้งแล้งนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการประมาณการผลผลิตข้าวโดยรวมของโลกจะลดลง 50 % ในภาวะแล้ง (Mostajeran and Rahimi-Eichi, 2009)

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศมีบทบาทสำคัญอย่างมากที่จะช่วยในการวางแผนเพื่อการจัดการด้านทรัพยากร ซึ่งข้อมูลข่าวสารที่ได้จากการรวบรวม การจัดการ การวิเคราะห์ รวมถึงการนำเสนอข้อมูลที่ได้อย่างเป็นระบบนี้ จะช่วยในการตัดสินใจเพื่อการจัดการอย่างใดอย่างหนึ่งในด้านทรัพยากรรวมถึงพืชเกษตรด้วย แบบจำลองข้าวเป็นแบบจำลองที่มีผู้ให้ความสนใจมากแบบจำลองหนึ่ง เพราะสามารถคาดการณ์การตอบสนองของข้าวต่อ

ปัจจัยการผลิตและความสามารถในการจัดการในระดับที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลองข้าว เช่น ORYZA2000 (Bouman *et al*., 2001a) ซึ่งพัฒนาโดยสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) โดย ORYZA2000 โดยแบบจำลองนี้ได้รับการปรับปรุงจากชุดแบบจำลอง ORYZA ซึ่งสามารถใช้ประเมิน สภาวการณ์ขาดน้ำ และ/หรือ การขาดธาตุไนโตรเจน ได้ (Bouman and van Laar, 2006) ในการใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวนี้ สามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการผลิตพืช เพื่อประโยชน์ในการวางแผน การจัดการพืชในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพ ลดความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ การประเมินศักยภาพการผลิตและวางแผนการปลูกพืชระยะยาว ในแง่ของการให้ผลผลิตและการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารพืช (สมชาย และศักดิ์ดา, 2551)

การผลิตข้าวในหลายพื้นที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนจากภาวะโลกร้อน ส่งผลถึงฤดูกาล ที่มีความแปรปรวนทั้งปริมาณและการกระจายตัวของน้ำฝน เมื่อประกอบกับความหลากหลายของดินและลักษณะสัณฐานของพื้นที่จึงเป็นระบบการผลิตที่ซับซ้อน กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาจึงต้องประมวลข้อมูลหลากหลายมิติ เพื่อสังเคราะห์แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (เกริก และนิมิตร, 2548) เช่น กรณีตัวอย่างการศึกษาโดย สุรจิต และเบาว์แมน (2551) ได้ใช้แบบจำลอง ORYZA2000 วิเคราะห์ความเสี่ยงในการปลูกข้าวหอมมะลิ 105 ในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี โดยคำนึงถึงมิติทั้งเชิงเวลา (Temporal) และ มิติเชิงพื้นที่ (Spatial) ทำให้ได้วันปลูกข้าวที่เหมาะสมเพื่อเป็นคำแนะนำเกษตรกร เพื่อลดความเสี่ยงของการลดลงของผลผลิตที่เกิดจากความแปรปรวนของฝนในแต่ละสภาพพื้นที่ของการปลูก (นาลุ่ม นากลาง นาดอน) ในการทดลองนี้ได้มีการจำลองสถานการณ์การปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 (ข้าวไม่ไวแสง) ในสภาวะขาดน้ำโดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับแบบจำลอง ORYZA2000 ในข้าวไม่ไวแสงโดยใช้พันธุ์ IR27 เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

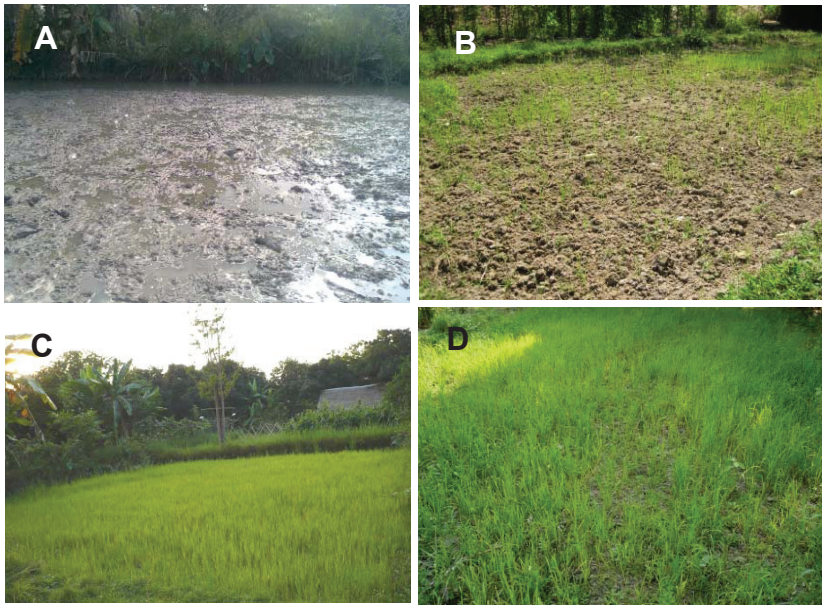
วิธีดำเนินการวิจัย

พืชที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ใช้ข้าว (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ปทุมธานี 1 โดยทำการหว่านเพาะเมล็ด ในแปลงทดลองที่กักน้ำ และแปลงที่ไม่ได้กักน้ำ ณ ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติท่ามะขาม ตำบลท่ามะขาม อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ในวันที่ 26 ธันวาคม 2552 และปลูกจนถึง 47 วัน (เริ่มแตกกอ)

การวัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว

หลังจากทำการหว่านเพาะเมล็ดประมาณ 20 วัน ได้วัดความสูงของต้นข้าวในแปลงทดลองที่กักน้ำและแปลงที่ไม่ได้กักน้ำ ในวันที่ 14, 21, 28 มกราคม และ 5, 11 กุมภาพันธ์ 2553 ตามลำดับ วัดทั้งหมด 4 ซ้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากต้นข้าวจำนวน 20 ต้น



ภาพที่ 1 การเตรียมแปลงนา (A) แปลงทดลองที่กักน้ำ (B) แปลงที่ไม่ได้กักน้ำ และภาพแสดงการเจริญเติบโตของต้นข้าวในแปลงทดลองที่กักน้ำและแปลงที่ไม่ได้กักน้ำ (C, D) ตามลำดับ

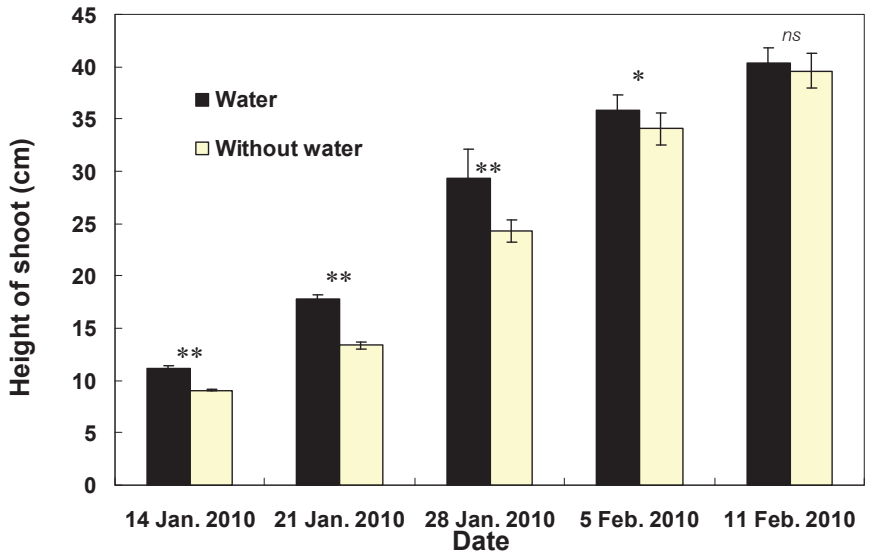
ในช่วงต้นข้าว*เริ่มแตกกอ (47 วัน)* ได้วัดความยาวรากโดยกระจายเก็บตัวอย่าง เฉลี่ย 10 ต้นต่อการวัด 1 ซ้ำ วัดทั้งหมด 4 ซ้ำ จากทั้งสองแปลง แล้วแยกส่วนยอดและรากชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน เพื่อชั่งน้ำหนักแห้งของส่วนยอดและราก โดยใช้ค่าเฉลี่ยจำนวน 10 ต้นต่อการวัด 1 ซ้ำ วัดทั้งหมด 4 ซ้ำเช่นกัน

การศึกษาเปรียบเทียบแนวโน้มการเจริญเติบโตในแบบจำลอง ORYZA2000

ORYZA2000 จะคำนวณการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว ผลของความแห้งแล้ง ต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยทำนายการเจริญเติบโตของราก ปริมาณมวลใบ ในข้าวไม่ไวแสง พันธุ์ IR27 ทั้งในสภาพการปลูกแบบให้น้ำ (น้ำตม; puddle soil) และแบบไม่ให้น้ำ (สุรจิต และเบาว์แมน, 2551)

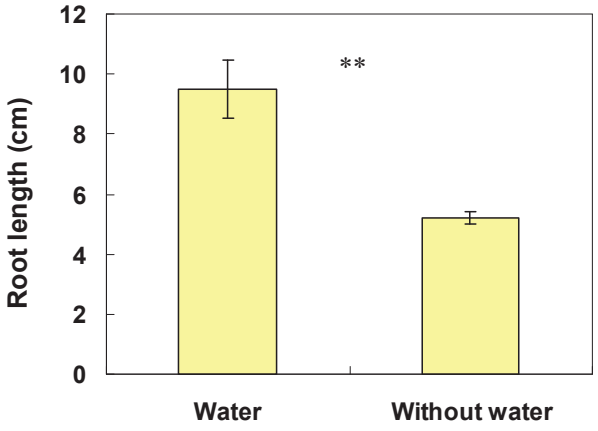
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากภาพที่ 2 ต้นข้าวมีความสามารถในการเติบโตเพิ่มขึ้นตามลำดับทั้งในแปลงที่ให้น้ำและไม่ให้น้ำ ความสูงของต้นข้าวในแปลงที่ให้น้ำในระยะการเจริญเติบโตช่วงต่าง ๆ มีความสูงมากกว่า ในแปลงที่ไม่ให้น้ำตลอดช่วงการเจริญเติบโตในการทดลองนี้ แต่ความสูงของต้นข้าวมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดในระยะเริ่มแตกกอ (วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2553) ดังแสดงในภาพที่ 2



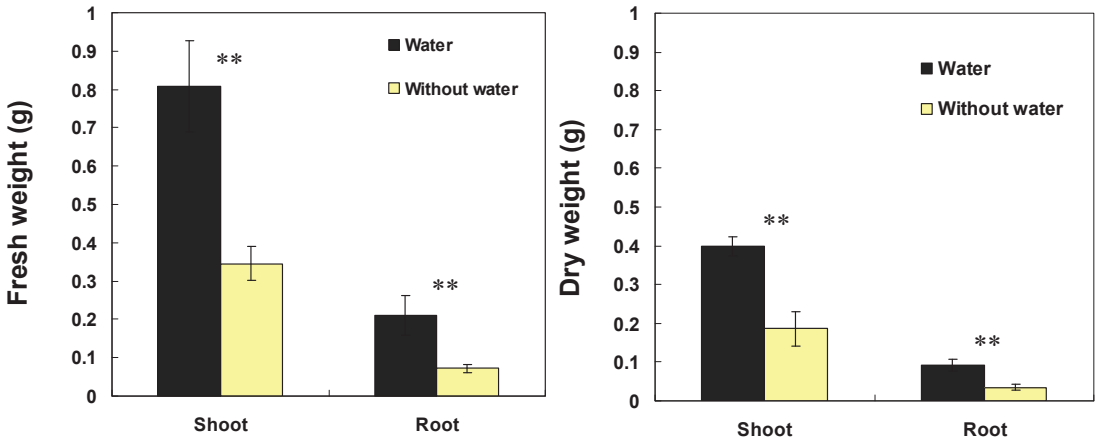
ภาพที่ 2 ความสูงของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในแปลงทดลองที่กักน้ำและแปลงที่ไม่ได้กักน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยจำนวน 20 ต้นต่อการวัด 1 ซ้ำ (บาร์ คือ ± SE, *n= 4*) (Independent sample T-test; ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$), * =แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns = ไม่แตกต่าง)

ขณะที่ความยาวรากในระยะเริ่มแตกกอมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ในแปลงที่ให้น้ำมีความยาวรากเฉลี่ย 9.48 เซนติเมตร และในแปลงที่ไม่ให้น้ำมีความยาวรากเฉลี่ย 5.20 เซนติเมตร (ภาพที่ 3)



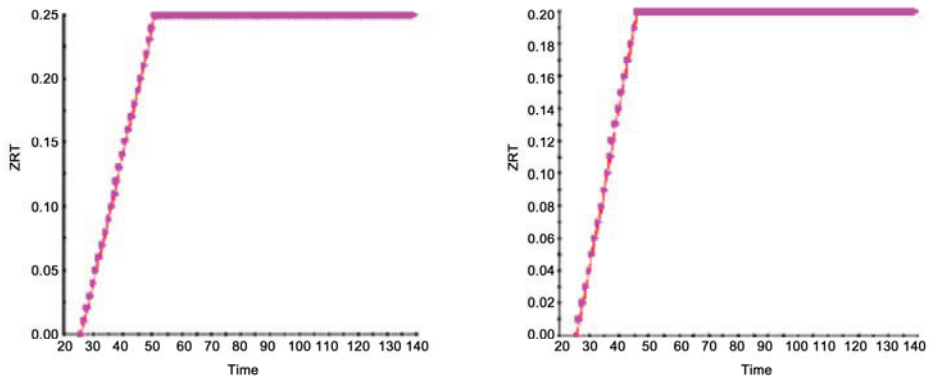
ภาพที่ 3 ความยาวรากของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (ช่วงเจริญเติบโต อายุ 47 วัน) ในแปลงทดลองที่กักน้ำและแปลงที่ไม่ได้กักน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยจำนวน 10 ต้นต่อการวัด 1 ซ้ำ (บาร์ คือ ± SE, *n= 4*) (Independent sample T-test; ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

สำหรับน้ำหนักสดของส่วนยอด และรากมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ในแปลงที่ให้น้ำกับแปลงที่ไม่ให้น้ำโดยที่น้ำหนักสดเฉลี่ยส่วนยอด ในแปลงที่ให้น้ำ มีค่ามากกว่า ในแปลงไม่ให้น้ำอยู่ 0.46 กรัม และน้ำหนักสดเฉลี่ยส่วนรากในแปลงที่ให้น้ำ มีค่ามากกว่า ในแปลงไม่ให้น้ำอยู่ 0.13 กรัม ในทำนองเดียวกัน น้ำหนักแห้งเฉลี่ยส่วนยอด ในแปลงที่ให้น้ำมีค่ามากกว่า ในแปลงไม่ให้น้ำอยู่ 0.21 กรัม และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยส่วนราก ในแปลงที่ให้น้ำมีค่ามากกว่า ในแปลงไม่ให้น้ำอยู่ 0.05 กรัม (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนยอดและรากของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (ช่วงเจริญเติบโต อายุ 47 วัน) ในแปลงทดลองที่กักน้ำและแปลงที่ไม่ได้กักน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยจำนวน 10 ต้นต่อการวัด 1 ซ้ำ (บาร์ คือ $\pm$ SE, n=4) (Independent sample T-test; ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

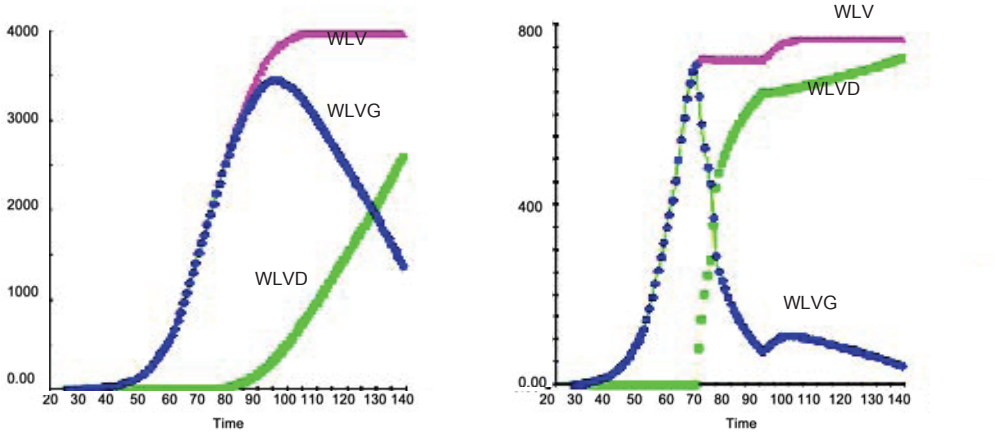
ในแบบจำลอง ORYZA2000 พบว่าในสภาวะการปลูกปกติความยาวรากจะเพิ่มขึ้นจนคงที่ ที่ประมาณ 25 เซนติเมตร ตั้งแต่ช่วง 50 วัน เป็นต้นไป สำหรับในสภาวะขาดน้ำรากมีแนวโน้มการเจริญที่ต่ำกว่ามีความยาวที่คงที่อยู่ที่ 20 เซนติเมตร ในช่วง 40-45 วัน เป็นต้นไป (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวราก (ZRT) กับ ระยะเวลา (days) ของข้าวพันธุ์ IR27 ภายใต้สภาพปกติและสภาพขาดน้ำ โดยโมเดล ORYZA2000

สรุปและข้อเสนอแนะ

สำหรับความสัมพันธ์ของระยะเวลาการเจริญกับสภาพการเติบโตของใบพบว่า น้ำหนักใบ (WLV) โดยรวมในสภาวะการปลูกปกติมีน้ำหนักใบมากกว่าในสภาวะขาดน้ำถึง 5 เท่า ส่วนน้ำหนักใบสด (WLVG) ในสภาวะปลูกปกติ มีน้ำหนักมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 90 วัน แต่ในภาวะขาดน้ำมีน้ำหนักมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 70 วัน หลังจากช่วงเวลาเติบโตมากสุด (น้ำหนักสดสูงสุด) น้ำหนักใบแห้ง (WLVD) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ขณะที่น้ำหนักใบแห้งในสภาวะขาดน้ำมีน้ำหนักใบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดของใบ (WLV), น้ำหนักแห้งของใบสด (WLVG), น้ำหนักแห้งของใบแห้ง (WLVD), กับ ระยะเวลา (days) ของข้าวพันธุ์ IR27 ภายใต้สภาพปกติและสภาพขาดน้ำโดยโมเดล ORYZA2000

ปัญหาการการขาดน้ำเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อการขยายพันธุ์และผลผลิตของข้าว (Nguyen and Sutton, 2009) จากการทดลองระบบปลูกที่ให้น้ำและไม่ให้น้ำ ในการเจริญของข้าวไม่ไวแสง (ปทุมธานี 1) ในช่วงเริ่มแตกกอ แม้ว่าความสูงไม่แตกต่างอย่างชัดเจนแต่ความยาวรากและน้ำหนักยอดและรากมีความแตกต่างอย่างชัดเจนดังแสดงในผลการทดลอง ซึ่งการขาดน้ำมีผลต่อพลังงานของต้นข้าวที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและกระทบถึงการเจริญส่วนยอดและรากในข้าว (Bouman *et al.*, 2001b) เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ORYZA 2000 ในข้าวไม่ไวแสง (IR27) พบว่าในสภาพให้น้ำและไม่ให้น้ำมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ growth parameters ที่แตกต่างกัน โดยสภาพที่ให้น้ำจะให้ผลการเจริญดีกว่าชุดที่ไม่ให้น้ำ จากการทดลองแสดงให้เห็นแนวโน้มการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อาจจะใช้แบบจำลอง ORYZA2000 จำลองสถานการณ์การปลูกข้าว โดยประเมินถึงสภาวะที่มีปริมาณน้ำอย่างจำกัด เพื่อเป็นแนวทางแก่เกษตรกรในการวางแผนการปลูกข้าวซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการปลูกข้าวในฤดูต่างๆ ในภาคตะวันตกได้ ซึ่งในการทดลองก่อนหน้านี้ได้ประเมินการปลูกข้าวในสภาวะควบคุมการให้น้ำ และในสภาวะการเจริญเติบโตที่ไม่เหมาะสม เช่น การขาดธาตุไนโตรเจนโดยแบบจำลอง ORYZA 2000 ซึ่งอาจมีความสอดกันในหลายพื้นที่ (Amiri, 2008) อย่างไรก็ตามการศึกษาเพิ่มเติมปัจจัยแวดล้อมเกี่ยวกับการพัฒนาของพืช (Phenological development parameter) และปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญเติบโตอื่นๆ ของ

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ที่จากการวิเคราะห์ ได้ใช้จากข้าวพันธุ์ IR27 ถึงแม้จะเป็นข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงและปลูกในพื้นที่ชลประทานเช่นเดียวกัน แต่ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มักจะความแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ การศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้มาซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ให้มากขึ้นกว่าปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

เกริก ปั้นเหน่งเพ็ชร และ นิมิต วรสูตร 2548. อัตราการระเหยและการเจริญเติบโต ภายใต้สภาพแปลงนาในระยะเติมเต็มเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105. ***วารสารวิจัย มข.*** 10 : 224-232.

สมชาย โสแก้ว และ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา 2551. การปรับปรุงและประเมินแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ FARMSIM กับพันธุ์ข้าวไทย. *ใน* ***การประชุมสัมมนาวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 4***. ระหว่างวันที่ 27-28 พฤษภาคม 2551. ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส, เชียงใหม่.

สุรจิต ภูภักดิ์ และ บาส เบาว์แมน 2551. การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการปลูกข้าวนาน้ำฝนโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช. ***วารสารวิชาการข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์*** 2 : 13-25.

Amiri, E. 2008. Evaluation of the rice growth model oryza2000 under water management. ***Asian Journal of Plant Science*** 7: 291-297.

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

Bouman, B.A.M., T.P. Tuong, M.J. Kropff, and H.H. van Larr. 2001b. The model oryza2000 to simulate growth and development of lowland rice. *In* ***Proceedings of International Congress on Modelling and Simulation***, Canberra, Australia, 10-13 December 2001, pp. 1793-1798.

Bouman, B.A.M. and H.H. Van Laar 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. ***Agricultural Systems*** 87 : 249-273.

Mostajeran, A. and V. Rahimi-Eichi. 2009. Effects of drought stress on growth and yield of rice (*Oryza sativa L.*) cultivars and accumulation of praline and soluble sugars in sheath and blades of their different ages leaves. ***American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science.*** 5: 264-272.

Nguyen, G.N. and B.G. Sutton. 2009. Water deficit reduced fertility of young microspores resulting in a decline of viable mature pollen and grain set in rice. ***Journal of Agronomy and Crop Science.*** 1957: 11-18.