สัญญาเลขที่ *R2562B036*

สำนักหอสมุด

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาการสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบผิวใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความทนทานน้ำท่วมฉับพลันของข้าวไทยสายพันธุ์ต่างๆ

Investigating the formation of leaf gas film to improve flash-flooding tolerance in Thai rice varieties

คณะผู้วิจัย สังกัด

ดร.เทพสุดา รุ่งรัตน์ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 15 ... 2564
เลขทะเบียน 103943
เลขเรียกหนังสือ อ SB 191 .A5 N633 ร 2562

สนับสนุนโดย

งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

Executive Summary

ชื่อเรื่อง : การศึกษาการสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบผิวใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความทนทานน้ำท่วมฉับพลันของข้าวไทยสายพันธุ์ต่างๆ
ผู้วิจัย : ดร.เทพสุดา รุ่งรัตน์
สักกัด : คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีที่จัดทำ: 2563
แหล่งทุน: งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2562

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาการสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบผิวใบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความทนทานน้ำท่วมฉับพลันของข้าวไทยสายพันธุ์ต่างๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อศึกษาและประเมินความสามารถในการสร้างฟองอากาศ (gas film) ภายใต้สภาวะน้ำท่วมฉับพลันที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในข้าวไทย (2) ศึกษาระยะเวลาที่ gas film สามารถคงอยู่ได้ภายใต้สภาวะน้ำท่วมฉับพลัน และ (3) เพื่อคัดเลือกพันธุ์ข้าวไทยที่สามารถสร้าง gas film และทนน้ำท่วมฉับพลันได้ดีที่สุด

สรุปผลการวิจัยสภาวะน้ำท่วมมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะแตกกอเต็มที่ โดยทำให้ข้าวมีค่าความสูงเพิ่มขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ความสามารถในการสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบผิวใบในข้าวทั้ง 6 พันธุ์นั้น สามารถสำสังเกตได้ภายหลังจากอยู่ในสภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ข้าวพันธุ์ Chonlasit แสดงปริมารณของ gas film มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ ค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) และค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Fv/Fm) ของข้าวทั้ง 6 พันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในข้าวที่มีความทนทานน้ำท่วมในระดับทนทานและปานกลาง เมื่ออยู่ในสภาวะน้ำท่วมฉับพลันเป็นเวลา 10 วัน ในขณะที่ข้าวพันธุ์ทนน้ำท่วม Chonlasit และ RD51 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จากผลการทดลองระดับความทนทานน้ำท่วมในระยะแตกกอเต็มที่ พบว่า ข้าวพันธุ์ Chonlasit และ RD51 มีระดับความทนทานน้ำท่วมฉับพลันสูง ในขณะที่พันธุ์ PL2 PT1 และ RD61 แสดงประสิทธิภาพความทนน้ำท่วมอยู่ในระดับทนทาน และ KDML105 อยู่ในระดับทนทานปานกลาง ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ค่า chlorophyll fluorescence เพื่อประเมินค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในสภาวะน้ำท่วม สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินพันธุ์ข้าวทนน้ำท่วมฉับพลันได้

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบของน้ำท่วมฉับพลันต่อการสร้างฟองอากาศเคลือบผิวใบข้าว เจริญเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวในระยะกล้า และระยะแตกกอเต็มที่ ทำการวางแผนการทดลองแบบ 2 x 6 factorial in Completely Randomize Design (CRD) โดยมีปัจจัยแรกคือรูปแบบการปลูก มีสองระดับ คือ สภาวะปกติ และ สภาวะน้ำท่วม ปัจจัยที่สองคือพันธุ์ข้าว มี 6 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวหอมชลสิทธิ์ (Chonlasit), พิษณุโลก 2 (PSL2) ปทุมธานี 1 (PT1), กข51 (RD51), กข61(RD6) และ ข้าวขาวดอมะลิ 105 (KDML105) ผลการทดลองพบว่า สภาวะน้ำท่วมมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะแตกกอเต็มที่ โดยทำให้ข้าวมีค่าความสูงเพิ่มขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ความสามารถในการสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบผิวใบในข้าวทั้ง 6 พันธุ์นั้น สามารถสังเกตได้ภายหลังจากอยู่ในสภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ข้าวพันธุ์ Chonlasit แสดงปริมาณของ gas film มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ ค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) และค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Fv/Fm) ของข้าวทั้ง 6 พันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในข้าวที่มีความทนทานน้ำท่วมในระดับทนทานและปานกลาง เมื่ออยู่ในสภาวะน้ำท่วมฉับพลันเป็นเวลา 10 วัน ในขณะที่ข้าวพันธุ์ทนน้ำท่วม Chonlasit และ RD51 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากผลการทดลองระดับความทนทานน้ำท่วมในระยะแตกกอเต็มที่ พบว่า ข้าวพันธุ์ Chonlasit และ RD51 มีระดับความทนทานน้ำท่วมฉับพลันสูง ในขณะที่พันธุ์ PSL2 PT1 และ RD61 แสดงประสิทธิภาพความทนน้ำท่วมอยู่ในระดับทนทาน และ KDML105 อยู่ในระดับทนทานปานกลาง ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ค่า chlorophyll fluorescence เพื่อประเมินค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในสภาวะน้ำท่วม สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินพันธุ์ข้าวทนน้ำท่วมฉับพลันได้

คำสำคัญ: ข้าว น้ำท่วมฉับพลัน ฟองอากาศ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง

Abstract

The objective of this study is to investigate the impact of flash flooding to leaf gas films, the growth and some physiological parameters at tilling stage. The experimental design was conducted in 2 x 6 factorial in Completely Randomize Design (CRD). The first factor was growth conditions which was consist of control and submergence. The second factor was rice varieties including Chonlasit, Phitsanulok 2 (PSL2), Pathum Thani 1 (PT1), RD51, RD61 and KDML105. The results showed that flash flood condition had affected on growth and development to all rice varieties by increasing plant height and %elongation which presented differently depending on the variety. Leaf gas films of all six varieties were observed after 6 hrs of submergence. Chonlasit and PSL2 presented much volume of leaf gas films in comparison with other varieties. Leaf greenness (SPAD unit) and maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm) values decreased significantly after submerged for 10 days in the tolerance and moderate tolerance varieties in comparison to the control condition. For the high tolerance varieties such as Chonlasit and RD51, there was non-significant difference in the decreasing of SPAD unit and Fv/Fm values. PSL2, PT1 and RD61 were categories as tolerate variety. Whereas, KDML105 was moderate tolerance variety. The results presented here suggested that chlorophyll fluorescence measurement can be used as a technique to evaluate flash flood tolerance in Thai rice variety.

Keywords: Rice, flash-flooding, leaf gas film, quantum yield efficiency of PSII

สารบัญเรื่อง

Executive Summary i

บทคัดย่อ ii

Abstract iii

สารบัญเรื่อง iv

สารบัญภาพ v

สารบัญตาราง vi

สารบัญภาคผนวก vii

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 6

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารย์ผล 9

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 13

ภาคผนวก 14

เอกสารอ้างอิง 31

สารบัญภาพ

Figure 1 แสดงความแตกต่างของการเกิดชั้นฟองอากาศและไม่มีการสร้างชั้นฟองอากาศในใบพืชในสภาวะใต้น้ำ พืชที่สามารถสร้างชั้นฟองอากาศที่แผ่นใบได้ในขณะปากใบเปิด (a) และในขณะบากใบปิด (b) แสดงใบพืชที่ไม่สามารถสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบในขณะปากใบเปิด (c) และ ในขณะปากใบปิด (d) (Verboven et al., 2014) 5

Figure 2 The average of plant height (cm) of six varieties under control and submergence condition (a). The percentage of plant elongation from original (relative to control) of each varieties (b). Data present mean SE, n=5. **, *** Indicates significant differences at $p \leq 0.05$, and $p \leq 0.01$, respectively 10

สารบัญตาราง

Table 1 The statistical results of SPAD value and Fv/Fm of six rice varieties grown under control and submergence condition. P-value are given for "variety", "condition", and "variety vs condition"; n.s. = not significant; * = p-value ≤ 0.05; ** = p-value ≤ 0.01.....11

Table 2 Submergence tolerance and % death of tiller of six rice varieties after submerged for 10 days. 12

สารบัญภาคผนวก

Figure A 1 ใบตอบรับเพื่อตีพิมพ์บทความในวารสารเกษตรนเรศวร ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2563... 15
Figure A 2 Journal of Advanced Agricultural Technologies (JOAAT) Volume 7, Number 2..... 25

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การปลูกข้าวในประเทศไทยมีการกระจายตัวอยู่ทั่วทุกพื้นที่ ทั้งในเขตพื้นที่ชลประทาน และในเขตพื้นที่อาศัยแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ด้วยปัจจุบันเกษตรกรประสบกับปัญหาภัยธรรมชาติ เนื่องมาจากสภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดปริมาณลงอย่างมีนัยสำคัญ (Toojinda et al., 2005) การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศนี้ยังส่งผลให้การกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน (flash-flood) หรือฝนแล้ง (drought) ในบางพื้นที่ และมีการระบาดของโรคและแมลงเพิ่มมากขึ้น (Toojinda et al., 2005; Wassamann et al., 2009) การเกิดน้ำท่วมฉับพลันในประเทศไทยจัดเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการทำนาของเกษตรกรอย่างมาก ซึ่งสร้างความเสียหายต่อผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญ และอาจเกิดขึ้นได้ในทุกพื้นที่ หนึ่งในวิธีการแก้ปัญหาน้ำท่วมฉับพลันในข้าวที่ได้ผลดีที่สุด และลงทุนน้อย คือการพัฒนาความทนทานต่อน้ำท่วมและทนต่อน้ำท่วมฉับพลันในข้าวไทย โดยวิธีการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งอาจจะใช้ทั้งการปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีมาตรฐาน และการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ นอกจากการพัฒนาพันธุ์ข้าวให้ทนทานต่อน้ำท่วมฉับพลันแล้ว การฟื้นตัวหลังน้ำลดก็ยังเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญเช่นกัน ดังนั้นการพัฒนาพันธุ์ข้าวเพื่อให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมนั้นจึงจัดว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อเกษตรกรไทย เพื่อใช้เป็นพันธุ์ทางเลือกสำหรับเกษตรกรในพื้นที่ๆ มีความเสี่ยงต่อปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน สำหรับการศึกษาวิจัยพัฒนาข้าวทนน้ำท่วมในประเทศไทยและต่างประเทศนั้น ได้มีการศึกษากันอย่างกว่างขวางทั้งโดยวิธีมาตรฐาน และการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่

จากความสำเร็จในการค้นพ้นยีนที่ควบคุมลักษณะการทนน้ำท่วมฉับพลันอย่าง sub1 ที่ทำให้การพัฒนาพันธุ์ข้าวทนน้ำท่วมโดยวิธีการถ่ายทอดยีนมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว และประสบผลสำเร็จแล้วในหลายพื้นที่ (Nandi et al., 1997; Xu et al., 2000; Toojinda et al., 2003) อย่างไรก็ตามยังมียังมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของข้าวเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วม (Pedersen et al., 2013) ซึ่งจัดว่าเป็นแนวทางการศึกษาใหม่ที่ยังไม่ได้ทำการศึกษาในข้าวไทย โดยพบว่าข้าวบางพันธุ์ที่สามารถสร้างชั้นฟองอากาศ (gas film) เคลือบแผ่นใบ มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่ดีกว่า ข้าวพันธุ์ที่ไม่สามารถสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบได้ เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วมขัง (Mommer and Visser 2005; Colmer et al. 2011; Verboven et al., 2014) ดังนั้น เมื่อต้นข้าวสามารถทำการสังเคราะห์แสงแม้ในขณะอยู่ใต้น้ำ จะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ และสามารถให้ผลผลิตได้ในปริมาณเหมาะสม ยิ่งพันธุ์ข้าวที่สามารถรักษาฟองอากาศที่เคลือบแผ่นใบได้นานเท่าไหร่ ความสามารถในการอยู่รอดภายใต้สภาวะน้ำท่วมก็จะนานขึ้นตามไปด้วย ความสามารถในการสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบผ่นใบนั้นจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการศึกษาการเกิดฟองอากาศเคลือบแผ่นใบในข้าวไทยสายพันธุ์ต่างๆ จัดว่าเป็นอีกหนึ่งปัจจัย ที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินความสามารถในการทนทานต่อสภาพน้ำขังของข้าวพันธุ์ต่างๆ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการศึกษาหายีนหรือกลุ่มยีนที่ควบคุมลักษณะดังกล่าวในข้าวไทย เพื่อใช้เป็นแนวทางและเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวทนน้ำท่วมต่อไปในอนาคต

บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าว (Oryza sativa L.) จัดเป็นพืชอาหารหลักของประเทศไทย ทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศและส่งออกยังต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญอันดับต้นๆ ของโลก การปลูกข้าวในประเทศไทยมีการกระจายตัวอยู่ทั่วทุกพื้นที่ ทั้งในเขตพื้นที่ชลประทาน และในเขตพื้นที่อาศัยแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่ง 70% ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด เป็นที่ราบต่ำ แม้ประเทศไทยจะเป็นประเทศหนึ่งที่มีการส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลก แต่ปริมารผลผลิตข้าวต่อไร่ ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ในปีการเพาะปลูก 2558/2559 ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่อยู่ที่ 419 กิโลกรมต่อไร่ (สำนังงานเศรฐกิจการเกษตร, 2560) ทั้งนี้อาจเป็นเพาะเกษตรกรประสบกับปัญหาภัยธรรมชาติเนื่องมาจากสภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดปริมาณลงอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศนี้ยังส่งผลให้การกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน (flash-flood) หรือฝนแล้ง (drought) ในบางพื้นที่ และมีการระบาดของโรคและแมลงเพิ่มมากขึ้น (Toojinda et al., 2005; Wassamann et al., 2009) ปัจจุบันการเกิดปัญหาน้ำท่วมฉับพลันในประเทศไทยจัดเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญของพื้นที่ปลูกข้าวที่อาศัยน้ำฝน ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำนาของเกษตรกรอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีที่มีปริมาณน้ำฝนมากเกินความต้องการ ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมแบบฉับพลัน และสามารถสร้างความเสียหายต่อข้าวได้ในทุกระยะการเจริญเติบโต ตั้งแต่ต้นกล้าจนถึงระยะการให้ผลผลิต โดยสามารถส่งผลให้ผลิตข้าวลดลงสูงถึงร้อยละ 50% (Devender and Mittra, 1985; Jenjira et al., 2017) สำหรับประเทศไทย พบว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 70% ที่มีโอกาสประสบปัญหาน้ำท่วม เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบต่ำ และไม่มีระบบการระบายน้ำที่ดีพอ ประกอบกับมีปริมาณฝนตกที่หนักถึงหนักมากในบางปี ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งสร้างความเสียหายต่อผลผลิคข้าวเป็นอย่างมาก

การเจริญเติบโตของต้นข้าว

ต้นข้าวเจริญเติบโตทางต้นและทางการสืบพันธุ์ โดยมีระยะเวลาของการเจริญเติบโตทั้งสองทางแยกออกจากกันชัดเจน คือ

1. การเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth phase) เริ่มตั้งแต่ต้นข้าวงอกออกจากเมล็ดข้าวไปจนถึงวันที่สร้างรวงอ่อนหรือช่อดอก ใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ระยะนี้อาจประกอบด้วยระยะย่อย 2 ระยะ คือ

1.1 Basic vegetative phase หรือ Active vegetative phase หมายถึง ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ข้าวต้องการเพื่อการเจริญเติบโตทางลำต้นก่อนที่ข้าวจะเริ่มสร้างรวงอ่อน (initiate a panicle primodium)

1.2 Photoperiod – sensitive phase หรือ Lag vegetative phase หมายถึง ช่วงเวลาที่ข้าวต้องการจำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงต่อวันเพื่อการออกดอก ระยะนี้จะไม่พบในข้าวทุกพันธุ์

สำหรับระยะ Basic vegetative phase ของข้าวส่วนมากจะมีระยะ 25-26 วัน ส่วนระยะ Lag vegetative phase มักจะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของช่วงแสง โดยเฉพาะข้าวพันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสง (Vergara, 1970) ในการเจริญเติบโตทางลำต้น โดยต้นข้าวจะสร้างราก ลำต้น ใบ และการแตกกอ ทำการสะสมอาหารไว้สำหรับการเจริญเติบโตในระยะสืบพันธุ์ในส่วนต่างๆ

2. การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (Reproductive growth phase) เริ่มตั้งแต่วันที่ต้นข้าวสร้างดอกอ่อนจนถึงวันที่รวงเริ่มโผล่ออกจากใบธง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30–40 วัน หรือประมาณ 35 วัน (Vergara, 1970) ระยะแรกเรียกข้าวแต่งตัว ต่อมารวงมีขนาดใหญ่พอสมควรทำให้ต้นข้าวอ้วนกลม ป่องออก เรียกว่าข้าวตั้งท้อง ระยะที่รวงข้าวเริ่มโผล่ออกจากลำต้น เรียกว่าข้าวโพล่ง ต้นข้าวจะสร้างส่วนต่างๆ ของช่อดอก หรือรวงข้าว (panicle) และดอกข้าว (spikelet)

ผลกระทบจากสภาวะน้ำท่วมต่อการให้ผลผลิตข้าว

ปัจจุบัน โลกกำลังประสบกับภาวะโลกร้อน (Global warming) ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของทั่วโลกเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ประเทศไทยถูกจัดอยู่ในกลุ่มประเทศที่จะได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยโลก (Laborte et al., 2012) และได้มีการคาดการณ์ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณภูมิโลกจะส่งผลให้ผลผลิตพืชอาหารส่วนใหญ่ลดลง (Asseng et al., 2015; Peng, et al., 2004) โดยทุกๆ 1 °C ของอุณหภูมิเฉลี่ยโลกที่เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ผลผลิตข้าวลดลง 10% (Peng, et al., 2004) เป็นผลให้ฤดูการมีการเปลี่ยนแปลงไป ฝนไม่ตกต้องตามฤดูการหรือปัญหาปริมาณน้ำฝนมีมากเกินความต้องการ สิ่งต่างๆ เหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่อภาคการเกษตรของไทยเป็นอย่างยิ่ง การเกิดน้ำท่วมฉับพลันนั้นสามารถเกิดได้ในทุกสถานที่ที่เป็นที่ราบต่ำ หรือทางผ่านของน้ำ และการระบายออกของน้ำไม่ดีพอ และสามารถเกิดได้ทุกช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าว ได้มีการศึกษาพบว่าหากเกิดน้ำท่วมฉับพลันในระยะที่ข้าวกำลังแทงช่อดอก หรือระยะดอกบานเป็นระยะที่ส่งผลกระทบรุนแรงที่สุดต่อการให้ผลผลิต เนื่องจากข้าวจะไม่เกิดการผสมเกสร ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดลดต่ำลงจนถึงไม่ติดเมล็ดเลย หากน้ำท่วมฉับพลันเกิดในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ก็จะส่งผลให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักไปชั่วขณะหนึ่ง ทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงได้ เนื่องจากต้นข้าวไม่มีความสมบูรณ์เพียงพอ

ยีนทนน้ำท่วมฉับพลัน sub1

ลักษณะน้ำท่วมฉับพลันของข้าวถูกควบคุมด้วย major QTL sub1 บนโครโมโซมคู่ที่ 9 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรอดชีวิตของข้าวภายใต้สภาวะน้ำท่วมสูงถึง 69% (Xu and Mackill, 1996) และได้รับอิทธิพลจาก minor QTL บนโครโมโซม 1, 2, 5, 7, 10 และ 11 (Siangliw et al., 2003) ปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านจีโนมิกส์ทำให้สารมารถโคลนยีน sub1 ได้สำเร็จ ยีนทนน้ำท่วมฉับพลัน sub1 ทำหน้าที่ลดการเจริญเติบโตของต้นข้าวในสภาพน้ำขัง เพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้หลังน้ำลด และยังลดการเกิด chlorosis ของเนื้อเยื่อต่างๆ จากการค้นพบยีนดังกล่าว ทำให้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ทนต่อน้ำท่วมฉับพลันในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวของสภาบันต่างๆ สำหรับประเทศไทย หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ได้นำยีนดังกล่าวจากพันธุ์ FR13A IR49830 และ IR57514 มาปรับปรุงพันธุ์ข้าวของไทย ทั้งข้าวนาฝน

และนาชลประทานโดยใช้เทคโนโลยีเคลื่องหมายโลเลกุล ทำให้ปัจจุบันประเทศไทยมีพันธุ์ข้าวทนน้ำท่วมหลายสายพันธุ์ เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทนน้ำท่วม (หอมมะลิ 80), หอมชลสิทธิ์ และ กข 51 เป็นต้น

Leaf gas films

เมื่อพืชต้องอยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วม พืชบางชนิดสามารสร้าง leaf gas film หรือ ชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบได้ การมี gas film เคลือบแผ่นใบเมื่อพืชอยู่ใต้น้ำนั้นสามารถช่วยให้พืชเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการหายใจของพืช การศึกษาการเกิด leaf gas film ในข้าวแสดงให้เห็นถึงกระบวนการหายใจในที่มืดโดยใช้ ออกซิเจน ที่มีอยู่ในฟองอากาศเคลือบที่แผ่นใบในสภาวะน้ำท่วม และกระบวนการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวัน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในฟองอากาศ ได้อย่างปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ข้าวที่ไม่สามารถสร้าง leaf gas film ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทำการเอาฟองอากาศที่เคลือบแผ่นใบออก มีผลให้สัดส่วนของการสังเคราะห์แสงลดลงถึง 20% อีกทั้งการเจริญเติบโตยังลดลงอีกด้วย (Pedersen et al., 2009) ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าการเกิดลักษณะ leaf gas film ภายใต้สภาวะน้ำท่วมนั้น เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพความทนทานต่อน้ำท่วม การมีลักษณะแบบ hydrophobic ในใบข้าวบางพันธุ์ ส่งผลให้เมื่อข้าวอยู่ใต้น้ำจะมีชั้นฟองอากาศบางๆ กั้นระหว่างใบข้าว และน้ำ ดังแสดงใน Figure 1 การเกิดขึ้นของชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สายพันธุ์ และสภาพแวดล้อม

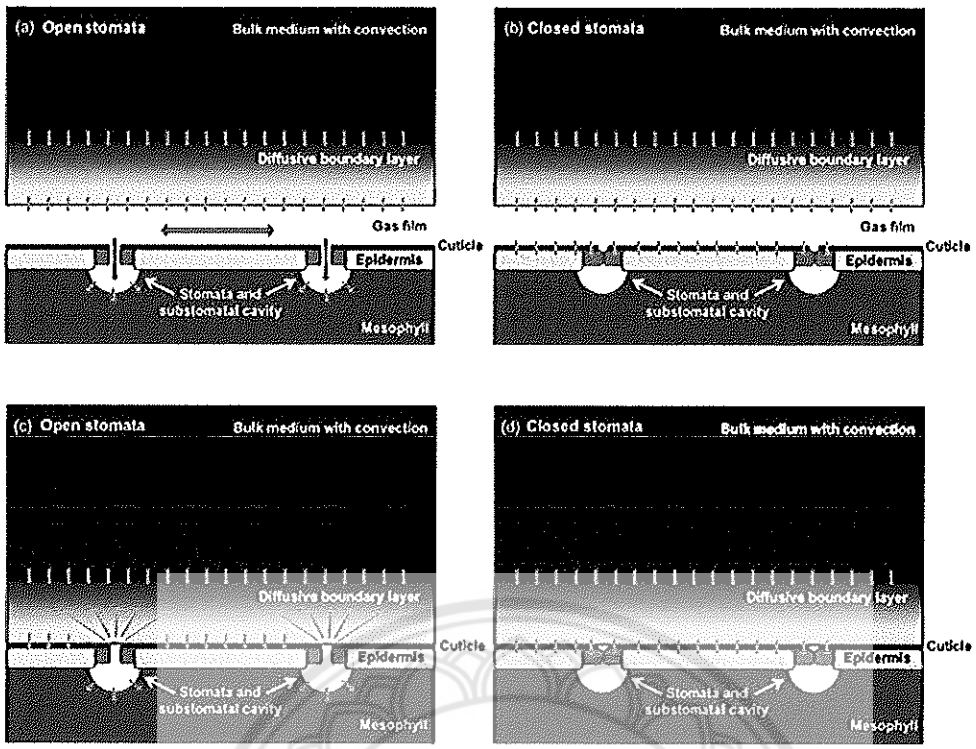

Figure 1 แสดงความแตกต่างของการเกิดชั้นฟองอากาศและไม่มีการสร้างชั้นฟองอากาศในใบพืชในสภาวะใต้น้ำ พืชที่สามารถสร้างชั้นฟองอากาศที่แผ่นใบได้ในขณะปากใบเปิด (a) และในขณะปากใบปิด (b) แสดงใบพืชที่ไม่สามารถสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบในขณะปากใบเปิด (c) และ ในขณะปากใบปิด (d) (Verboven et al., 2014)

โดยปกติแล้วเมื่อพืชบกจมอยู่ใต้น้ำ ปากใบพืชมักจะปิด มีผลให้การเจริญเติบโตอยุดชะงัก การที่พืชสามารถสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบสามารถช่วยให้พืชมีการเปิด-ปิดปากใบได้ปกติ ส่งผลให้กระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ สามารถดำเนินการได้อย่างปกติ ดังนั้นการเจริญเติบโตของพืชจะไม่หยุดชะงัก และเมื่อน้ำลดพืชยังคงความสามารถในการให้ผลผลิตได้อย่างปกตด การแลกเปลี่ยนก๊าซ และปริมาณก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ ในชั้นฟองอากาศขณะอยู่ใต้น้ำนั้น ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำ และอุณหภูมิของน้ำ พืชที่เป็น super-hydrophobic อย่างเช่นข้าว สามารถรักษาชั้นฟองอากาศใต้น้ำได้ยาวนานกว่าพืชที่มีลักษณะ hydrophobic ต่ำ การที่พืชสามารถสังเคราะห์แสง และหายใจได้แม้อยู่ใต้น้ำ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความทนน้ำท่วมได้ (Colmer and Pedersen, 2008; Winkel et al., 2013)

มีรายงานว่าพันธุ์ข้าวที่มีความทนทานต่อน้ำท่วมฉับพลันได้มากที่สุด สามารถรักษาระดับน้ำตาลในเซลล์เนื้อเยื่อพืชไว้ได้ในปริมาณที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่ไม่มีความทนทานต่อน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เกี่ยวข้องกับการรักษาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในต้นพืชไว้ในปริมาณที่สูง แต่ในขณะเดียวกันมีการใช้คาร์โบไฮเดรตเพื่อกิจกรรมต่างๆ ของพืชอย่างๆ ช้าๆ ในสภาวะน้ำท่วม (Ram et al., 2002; Jackson and Ram, 2003) การใช้สารอาหารคาร์โบไฮเดรตอย่างช่างๆ นี้เองเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเจริญทางลำต้นที่ลดลง นอกจากนี้ ความแตกต่างของอัตราการใช้สารอาหารคาร์โบไฮเดรตสำหรับการสังเคราะห์แสงภายใต้สภาวะน้ำท่วมนี้ ยังสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการอยู่รอดของข้าวในสภาวะน้ำท่วมได้อีกด้วย

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 สายพันธุ์ข้าวและการวางแผนการทดลอง

สายพันธุ์ข้าวไทยที่จะนำมาทำการทดลองมีดังนี้ พันธุ์กข6 พันธุ์ข้าวหอมชลสิทธิ์ พันธุ์กข51 พันธุ์พิษณุโลก2 และพันธุ์ปทุมธานี1 ซึ่งคัดเลือกจากลักษณะคุณภาพข้าว ความสามารถในการทนน้ำท่วม และความนิยมของเกษตรกร โดยวางแผนการทดลองแบบ complete randomized design (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ

ทำการเพาะต้นกล้าข้าวในถาดหลุมพลาสติกที่ใส่ดินนา จากนั้นปล่อยให้ต้นกล้าเจริญเติบโตในโรงเรือนที่มีแสงแดดเพื่อให้ต้นกล้าแข็งแรง เมื่อต้นกล้าอายุได้ 20-25 วัน ทำการย้ายต้นกล้าลงไปปลูกในกระถางก้นปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว จำนวน 2 ต้นต่อกระถาง ทำการปลูกพันธุ์ละ 15 กระถาง โดยกระถางที่ 1-5, 6-10, และ 11-15 จะใช้สำหรับประมาณค่าการสังเคราะห์แสงใต้น้ำและระยะเวลาของการคงอยู่ของชั้นฟองอากาศที่อายุ 30 วัน 60 วัน และชุดควมบคุม ตามลำดับ ทำการให้น้ำแบบน้ำขังสมบูรณ์ตลอดระยะเวลาการทดลอง มีการวัดปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการปลูกและให้ธาตุอาหารเพิ่มตามความเหมาะสม จะทำการกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช ตามความเหมาะสม

3.2 การประเมินลักษณะความสามารถในการสร้างชั้นฟองอากาศ

เมื่อข้าวอายุได้ 30 และ 60 วัน ทำการตัดใบข้าวจากใบที่อ่อนที่สุดที่พัฒนาเต็มที่ โดยตัดจากส่วนกลางของใบข้าวไปหาส่วนปลายยอดให้มีขนาดความยาว 10 เซนติเมตร นำไปใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่น วัดการเกิดชั้นฟองอากาศ ด้วยสายตา และใช้กล่องถ่ายรูปเพื่อบันทึกผล ให้คะแนนการเกิดชั้นฟองอากาศ โดย (+) = สามารถสร้างชั้นฟองอากาศได้ และ (-) = ไม่สามารถสร้างชั้นฟองอากาศได้

3.3 การประเมินปริมาณการสังเคราะห์แสงสุทธิแสงใต้น้ำ

นำตัวอย่างใบข้าวขนาดความยาว 2.5 เซนติเมตร โดยตัดจากใบอ่อนที่สุดที่มีการพัฒนาเต็มที่ มาประเมินความสามารถในการสังเคราะห์แสงใต้น้ำ โดยใช้ใบมีดโกนตัดครึ่งตามแนวยาว จะได้ใบข้าว 2 ส่วน (ส่วนแกนกลางไม่นำมาวิเคราะห์) โดยครึ่งใบแรกจะใช้เป็นตัวควบคุม ส่วนอีกครึ่งใบจะนำมาศึกษาโดยขจัดชั้นฟองอากาศออก ทำการขจัดชั้นฟองอากาศออกจากใบข้าวโดยใช้แปรงขนอ่อนขนาดเล็กจุ่ม 0.05 % Triton X (Colmer and Pedersen, 2008) แปรงที่ใบข้าว 2-3 ครั้ง จากนั้นล้างออกด้วยน้ำกลั่น 5 วินาที วิธีการนี้จะเป็นการป้องกันไม่ให้ใบข้าวสร้างชั้นฟองอากาศได้เมื่ออยู่ใต้น้ำ การวัดการสังเคราะห์แสงสุทธิใต้น้ำ จะใช้วิธีดัดแปลงจาก Sand-Jensen et al. (1992) โดยต้องทำการวัดภายใน 15 นาทีหลังจากทำการตัดใบข้าวออกมาจากต้น โดยนำใบข้าวที่เตรียมไว้ใส่ในขวดแก้ว ขนาด 25 ml ที่มีเมล็ดบีส (สำหรับกวนน้ำให้เข้ากันเมื่ออยู่บนเครื่องเขย่า) โดยใส่ตัวอย่าง

ละ 1 ขวด นำขวดที่บรรจุตัวอย่างปิดฝาให้สนิท แล้วนำไปไว้ในอ่างปรับอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มแสง 600 PAR ความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ก่อนการทดลองจะถูกตั้งไว้ที่ 50% ของจุดอิ่มตัวของชั้นบรรยากาศ เพื่อป้องกันไม่ให้ปริมาณความเข้นข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำเกินจุดอิ่มตัวของชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงได้ หลังจากนั้นทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำที่ความเข้มข้น 500 mmol m-3 โดยเติม KHCO3 ที่ความเข้มข้น 5.2 และ K2SO4 ที่ความเข้มข้น 0.25 เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ ทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องวัดปริมาณออกซินในน้ำแบบพกพา การวัดปริมาณการสังเคราะห์แสงใต้นำจะทำการวัดเมื่อข้าวอายุได้ 30 วัน และ 60 วัน

3.4 ศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของชั้นฟองอากาศและความสามารถในการทนน้ำท่วมฉับพลัน

เมื่อข้าวอายุได้ 30 วัน และ 60 วัน นำกระถางต้นข้าวพันธุ์ละ 5 กระถาง (5 ซ้ำ) ไปใส่ในอ่างที่เติมน้ำประปา โดยระดับน้ำต้องอยู่เหนือต้นข้าว สังเกตการสร้างชั้นฟองอากาศด้วยสายตา ทุกวันเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ บันทึกวันที่ชั้นฟองอากาศได้สลายตัวไป หลังจาก 2 สัปดาห์ นำกระถางข้าวขึ้นจากน้ำ และสังเกตการฟื้นตัวของข้าวแต่ละสายพันธุ์ รวมทั้งบันทึกลักษณะเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าว และความเขียวของใบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (Percentage of plant survival) การประเมินจะให้คะแนนเป็นเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของจำนวนต้นข้าวที่อยู่รอดต่อจำนวนต้นทั้งหมด หลังจากการปล่อยน้ำออกประมาณ 7วัน โดยการให้คะแนนอยู่ระหว่าง 0-100% โดย 0% หมายถึง ต้นข้าวตายหมดทุกต้น และ 100% หมายถึง ต้นข้าวรอดชีวิตทุกต้น (Siangliw et al., 2003)

3.4.2 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของข้าว (Percentage of plant elongation) การประเมินจะทำก่อนนำข้าวไปไว้ในอ่างน้ำ และทันทีที่ปล่อยน้ำออก โดยวัดความสูงตั้งแต่ระดับพื้นดินจนถึงระดับสูงสุดของต้นข้าวที่ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Toojinda et al., 2003)

3.4.3 ความเขียวของใบ (Leaf senescence) การประเมินจะใช้เครื่องมือวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ (hand-held SPAD-502 chlorophyll meter) โดยสุ่มวัดใบข้าวจำนวน 3 ใบ ในแต่ละต้น วัดตรงบริเวณโคนใบ กลางใบ และปลายใบ แล้วหาค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลในแต่ละสายพันธุ์ โดยทำการประเมินทันทีที่ปล่อยน้ำออก (Toojinda et al., 2003)

3.4.4 วัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซน (Chlorophyll fluorescence) ด้วยเครื่อง PAR fluoro meter โดยทำการประเมินก่อนนำข้าวลงในอ่างและหลังจากปล่อยน้ำออก การทดลองในแต่ละระยะการเจริญเติบโต เพื่อประเมินความแข็งแรงของต้นข้าว และความสามารถในการสังเคราะห์แสงในสภาพปกติของก่อนและหลังการทดลอง

3.4.5 บันทึกผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

บันทึกจำนวนหน่อต่อกอ ความสูง จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักผลผลิตรวม

3.5 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการประเมินมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้โปรแกรม R ตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารย์ผล

การเจริญเติบโตและอัตราการยืดตัว

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำต้นข้าวที่อยู่ในระยะแตกกอเต็มที่ ไปทดสอบในนสภาพจำลองน้ำท่วมเป็นเวลา 10 วัน ความสูงของต้นข้าวทั้ง 6 พันธุ์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พันธุ์ข้าวที่มีการยืดตัวสูงมากที่สุดในสภาวะน้ำท่วมมากที่สุดคือ KDML105 ความสูงอยู่ที่ 91.65 cm พันธุ์ข้าวที่มีความสูงต้นน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะน้ำท่วมคือ PT1 มีความสูงเฉลี่ย 77.38 cm (Figure 1a) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเปอร์เซนต์การยืดตัวของลำต้น (% elongation) พบว่าพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ Chonlasit และ PSL2 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของลำต้นเท่ากับ 23.12 % และ 22.18 % ตามลำดับ พันธุ์ KDML105 และ PT1 มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุดคือ 43.01 % และ 43.92% ตามลำดับ (Figure 1b) เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้ของการปรับตัวของข้าวเพื่อให้อยู่รอดภายใต้สภาวะน้ำท่วม เนื่องจากต้นข้าวได้ใช้คาร์โบไฮเดรตที่สะสมไว้ เพื่อสร้างพลังงานสำหรับการยืดตัวทางลำต้น เพื่อให้ต้นข้าวได้มีกระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีขึ้น (Pedersen et al., 2009) เปอร์เซ็นต์การยืดตัวดังกล่าวจะมีผลทำให้ต้นข้าวมีความทนทานต่อสถาวะน้ำท่วมได้น้อยลงตามไปด้วย เนื่องจากต้นข้าวได้ใช้พลังงานที่สะสมไว้สำหรับการยืดตัว มีผลทำให้เมื่อน้ำลด ต้นข้าวพันธุ์ดังกล่าวมีอัตราการฟื้นตัวที่ต่ำ ซึ่งตรงกันข้ามกับพันธุ์ข้าวที่ไม่มีการยืดตัวหรือมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อย ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ของลักษณะการทนทานต่อน้ำท่วมแบบฉับพลัน โดยพืชจะมีการสะสมพลังงานไว้ใช้เมื่อน้ำลด และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้สำหรับการฟื้นตัว (Ram et al., 2002; Jackson and Ram, 2003)

ผลของสภาวะน้ำท่วมต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์และประสิทธิภาพการใช้แสง (Fv/Fm)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวในชุดควบคุม และชุดจำลองสภาพน้ำท่วม ในข้าวทั้ง 6 พันธุ์ (Table 2) โดยใช้เครื่อง Chlorophyll meter ซึ่งให้หน่วยการวัดเป็น SPAD Unit นั้นพบว่า ค่าความเขียวใบข้าวในชุดควบคุม ในข้าวทั้ง 6 พันธุ์มีค่าระหว่าง 34.16 – 38.30 SPAD Unit มีค่ามากกว่าในชุดจำลองสภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้น KDML105 โดยมีค่าระหว่าง 32.51 – 37.03 SPAD Unit แสดงว่าเมื่อต้นข้าวอยู่ในสภาวะน้ำท่วมนั้น ปริมาณแสงที่ส่งผ่านมายังใบข้าวลดลง ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวลดลง ส่งผลให้ค่าความเขียวใบข้าวลดลงตามไปด้วย และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า มีความแปรปรวนในลักษณะค่าความเขียวใบภายใต้สภาวะน้ำท่วมที่พบในแต่ละพันธุ์

ผลการศึกษาลักษณะประสิทธิภาพการใช้แสง (Fv/Fm) (Table 2) ซึ่งเป็นการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนต์ โดยการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชที่เกิดจากสภาวะเครียดเนื่องจากสภาวะแวดล้อม (environmental stress) ซึ่งแสดงถึงความสามารถของ photosystem II (PSII) (Baker, 2008; Maxwell and Johnson ม 2000) พบว่า ค่าเฉลี่ย Fv/Fm มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ระหว่างทรีตเมนต์ และมีความแตกต่างระหว่างปฏิสัมพันธ์ของพันธุ์ข้าวและทรีตเมนต์ ($p < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 6 พันธุ์ ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย Fv/Fm ระหว่าง 0.70 – 0.73 ซึ่งบ่งบอกว่าต้นข้าวมีความอุดมสมบูรณ์ เมื่อต้นข้าวอยู่ในสภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่า Fv/Fm ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.58 – 0.70 ทั้งนี้ พันธุ์ที่มีค่า Fv/Fm ลดลงมากที่สุดคือพันธุ์ PT1 รองลงมาคือ PSL2 และ RD61 ตามลำดับ ค่า Fv/Fm ที่ลดลงในแต่ละพันธุ์แสดงถึงสภาวะเครียดที่ต้นข้าวได้รับเนื่องจากอยู่ภายใต้น้ำท่วมเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์ chonlasit และ RD51 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีความทนน้ำท่วม ซึ่งสอดคล้องกับค่า Fv/Fm ที่ลดลงซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ดังกล่าวมีความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุม ส่วน

พันธุ์ KDML105 ที่แสดงค่า Fv/Fm ลดลงแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะมีการปรับตัวโดยการยืดทางลำต้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้ใกล้เคียงกับสภาพปกติมากที่สุด

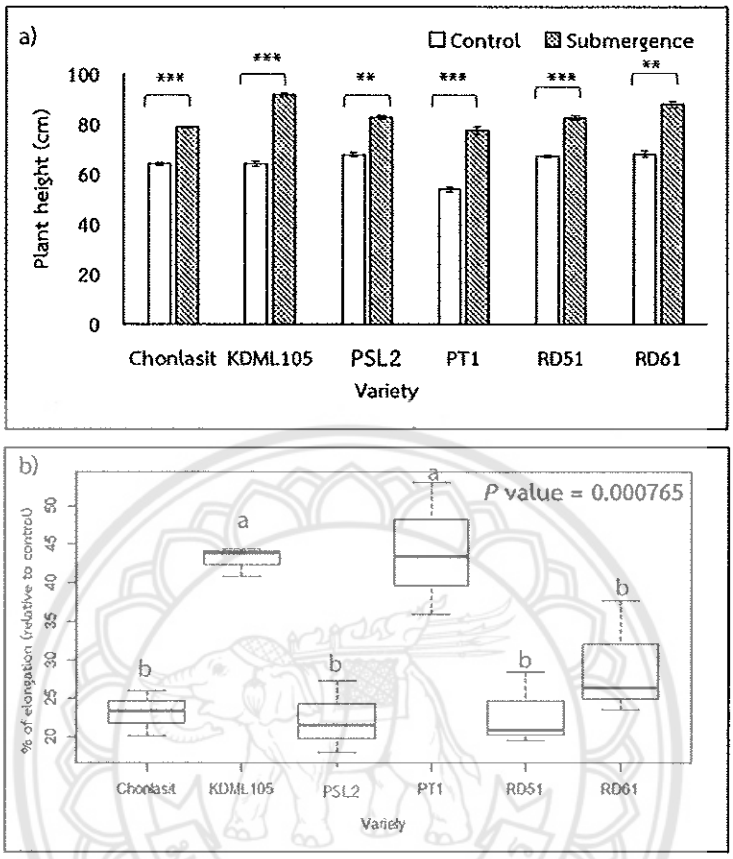

Figure 2 The average of plant height (cm) of six varieties under control and submergence condition (a). The percentage of plant elongation from original (relative to control) of each varieties (b). Data present mean SE, n=5. **, * indicates significant differences at $p \leq 0.05$, and $p \leq 0.01$, respectively**

Table 1 The statistical results of SPAD value and Fv/Fm of six rice varieties grown under control and submergence condition. P-value are given for "variety", "condition", and "variety vs condition"; n.s. = not significant; * = p-value ≤ 0.05; ** = p-value ≤ 0.01.

Variety	SPAD		F-test	Fv/Fm		F-test
	Control	Submergence		Control	Submergence	
Chonlasit	38.30±0.76	37.03±2.19	n.s.	0.72±0.02	0.68±0.04	n.s.
PSL2	36.96±2.26	36.03±0.69	n.s.	0.73±0.01	0.58±0.04	*
PT1	36.53±2.49	33.72±2.36	n.s.	0.73±0.04	0.56±0.08	*
RD51	37.63±1.92	34.54±0.35	n.s.	0.70±0.02	0.64±0.07	n.s.
RD61	34.16±1.12	32.51±1.75	n.s.	0.71±0.06	0.62±0.02	*
KDML105	38.17±1.50	33.92±2.6	*	0.70±0.05	0.70±0.01	n.s.
F-test						
Variety	*			n.s.		
Condition	**			**		
Variety x Condition	n.s.			*		
CV%	4.82			4.86		

ความทนทานน้ำท่วมฉับพลัน

การประเมินความทนทานน้ำท่วมฉับพลันในระยะแตกกอเต็มที่พบว่า ข้าวทั้ง 6 พันธุ์มีเปอร์เซ็นต์หน่อตายแตกต่างกัน โดยมีต้นหน่อตายเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา 10 วัน อยู่ระหว่าง 6.38% – 32.0% (แสดงดัง Table 3) โดยพบว่าพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ต้นหน่อตายน้อยที่สุด ซึ่งจัดอยู่ในระดับความทนทานมากที่สุด (HT) คือ พันธุ์ Chonlasit และ RD51 เช่นเดียวกับรายงานการวิจัยของ Siangliw et al (2003) และ Toojinda et al (2003) ที่ได้นำยีนทนน้ำท่วมจากข้าวพันธุ์ FR13A, IR49830 และ IR57514 มาผสมกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้เป็นข้าวหอมชลสิทธิ์ (Chonlasit) และ RD51 ซึ่งมีความสามารถในการทนน้ำท่วมฉับพลัน ส่วนพันธุ์ที่จัดอยู่ในระดับทนทาน (T) ได้แก่พันธุ์ PSL2 PT1 และ RD61 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์หน่อตายระหว่าง 14.03% – 20.95% ส่วนพันธุ์ KDML105 มีระดับความทนทานปานกลาง (MT) มีค่าเปอร์เซ็นต์หน่อตายเท่ากับ 32 %

Table 2 Submergence tolerance and % death of tiller of six rice varieties after submerged for 10 days.

Variety	% death of tiller	Scale	Tolerant level
Chonlasit	6.38	2	HT
PSL2	14.03	2	T
PT1	20.95	3	T
RD51	3.36	1	HT
RD61	14.49	2	T
KDML105	32.0	4	MT

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

สภาวะน้ำท่วมแบบฉับพลันส่งผลให้ต้นข้าวมีการยืดตัวทางลำต้นที่สูงขึ้น มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง และมีผลต่อค่าความเขียวใบลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ในข้าวทั้ง 6 พันธุ์ ข้าวพันธุ์ Chonlasit และ RD51 มีระดับความทนทานน้ำท่วมฉับพลันสูง ในขณะที่พันธุ์ PSL2 PT1 และ RD61 แสดงประสิทธิภาพความทนน้ำท่วมอยู่ในระดับทนทาน และ KDML105 อยู่ในระดับทนทานปานกลาง ความทนทานน้ำท่วมฉับพลัน เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และค่าความเขียวใบในข้าวแต่ละพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของแต่ละพันธุ์

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีประโยชน์มากขึ้น ควรมีการศึกษาในหลากหลายพันธุ์ให้มากกว่านี้ เพื่อที่จะสามารถประเมินความสามารถในการสร้างชั้นอากาศเคลือบผิวใบ และประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้ดียิ่งขึ้น

ภาคผนวก

วารสารเกษตรนเรศวร
Naresuan Agriculture Journal (NAJ)
คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก
65000 โทรศัพท์ 055 962701 โทรสาร 055 962709

วันที่ 14 พฤษภาคม 2563

เรื่อง แจ้งผลตอบรับ/การพิจารณาการตีพิมพ์บทความ

เรียน ดร.เทพสุดา รุ่งรัตน์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารเกษตรนเรศวร เรื่องของท่านคือ "ผลของน้ำท่วมฉับพลันต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวไทย ในระยะแตกกอ" บัดนี้ เรื่องของท่านได้ถูกพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ และกองบรรณาธิการเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการมีความยินดีที่จะแจ้งให้ทราบว่า เรื่องของท่านมีความเหมาะสมที่จะตีพิมพ์ได้ โดยวารสารเกษตรนเรศวร จะตีพิมพ์บทความของท่านใน ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ.2563

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพร อินเจริญ)
บรรณาธิการวารสารเกษตรนเรศวร

Figure A 1 ใบตอบรับเพื่อตีพิมพ์บทความในวารสารเกษตรนเรศวร ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2563

1039438

ผลของน้ำท่วมฉับพลันต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวไทยในระยะแตกกอ

Effects of Flash Flood on Growth and Some Physiological Changes in Thai Rice at Tillering Stage

วรรัตน์ ชมชาติ [1] เทพสุดา รุ่งรัตน์[1*]
Worrarat Chomchat [1], Tepsuda Rungrat[1*]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
[1]Department of Agricultural science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, 65000, Thailand
*Corresponding author: tepsudar@nu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำท่วมฉับพลันต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวในระยะแตกกอเต็มที่ โดยทำการวางแผนการทดลองแบบ 2 x 6 factorial in Completely Randomize Design (CRD) โดยมีปัจจัยแรกคือรูปแบบการปลูก มีสองระดับคือ สภาวะปกติ และ สภาวะน้ำท่วม ปัจจัยที่สองคือพันธุ์ข้าว มี 6 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวหอมชลสิทธิ์ (Chonlasit), พิษณุโลก 2 (PSL2) ปทุมธานี 1 (PT1), กข51 (RD51), กข61 (RD6) และ ข้าวขาวดอมะลิ 105 (KDML105) ผลการทดลองพบว่า สภาวะน้ำท่วมมีผลต่อเพิ่มความสูงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวในข้าวทุกพันธุ์ แต่ลดค่าความเขียวใบในข้าวทุกพันธุ์ และลดค่าสัมประสิทธิการสังเคราะห์แสง (Fv/Fm) ของข้าวพันธุ์ Chonlasit RD51 และ KDML105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออยู่ในสภาวะน้ำท่วมฉับพลันเป็นเวลา 10 วัน จากผลการทดลองระดับความทนทานน้ำท่วมในระยะแตกกอเต็มที่ พบว่า ข้าวพันธุ์ Chonlasit และ RD51 มีระดับความทนทานน้ำท่วมฉับพลันสูง ในขณะที่พันธุ์ PSL2 PT1 และ RD61 แสดงประสิทธิภาพความทนน้ำท่วมอยู่ในระดับทนทาน และ KDML105 อยู่ในระดับทนทานปานกลาง ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (chlorophyll fluorescence) เพื่อประเมินค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในสภาวะน้ำท่วม สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินพันธุ์ข้าวทนน้ำท่วมฉับพลันได้

คำสำคัญ: ข้าว, ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง, ทนน้ำท่วมฉับพลัน

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the impact of flash flooding to the growth and some physiological parameters at tilling stage. The experimental design was conducted in 2 x 6 factorial in Completely Randomize Design (CRD). The first factor was growth conditions which was consist of control and submergence. The second factor was rice varieties including Chonlasit, Phitsanulok 2 (PSL2), Pathum Thani 1 (PT1), RD51, RD61 and KDML105. The results showed that flash flood condition had affected on growth and

development to all rice varieties by increasing plant height and elongation, whereas decreased in leaf greenness (SPAD unit) in all varieties, and decrease in maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm) in Chonlasit, RD15 and KDML105 significantly after submerged for 10 days. Chonlasit and RD51 are grouped as high tolerance varieties, while PSL2, PT1 and RD61 were categories as tolerate variety. The KDML105 was moderate tolerance variety. The results presented here suggested that chlorophyll fluorescence measurement can be used as a technique to evaluate flash flood tolerance in Thai rice variety.

Keywords: rice, quantum efficiency of PSII, flash flood tolerance

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) จัดเป็นพืชอาหารหลักของประเทศไทย ทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ และส่งออกยังต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญอันดับต้นๆ ของโลก การปลูกข้าวในประเทศไทยมีการกระจายตัวอยู่ทั่วทุกพื้นที่ ทั้งในเขตพื้นที่ชลประทาน และในเขตพื้นที่อาศัยแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่ง 70% ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด เป็นที่ราบต่ำ แม้ประเทศไทยจะเป็นประเทศหนึ่งที่มีการส่งออกข้าวเป็นอันดับต้นๆ ของโลก แต่ปริมาณผลผลิตข้าวต่อไร่ ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ในปีการเพาะปลูก 2561/2562 ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่อยู่ที่ 475 กิโลกรมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกษตรกรประสบกับปัญหาภัยธรรมชาติ เนื่องมาจากสภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดปริมาณลงอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศนี้ยังส่งผลให้การกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน (flash-flood) ในบางพื้นที่ และมีการระบาดของโรคและแมลงเพิ่มมากขึ้น (Toojinda et al., 2005; Wassamann et al., 2009)

ปัจจุบันการเกิดปัญหาน้ำท่วมฉับพลันในประเทศไทยจัดเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญของพื้นที่ปลูกข้าวในเขตพื้นที่ราบลุ่ม ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำนาของเกษตรกรอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีที่มีปริมาณน้ำฝนมากเกินความต้องการ ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมแบบฉับพลัน และสามารถสร้างความเสียหายต่อข้าวได้ในทุกระยะการเจริญเติบโต ตั้งแต่ต้นกล้าจนถึงระยะการให้ผลผลิต โดยสามารถส่งผลให้ผลิตข้าวลดลงสูงถึง 50% (Devender and Mittra, 1985; Mongon et al., 2017) สำหรับประเทศไทย พบว่ามีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 70% ที่มีโอกาสประสบปัญหาน้ำท่วม เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบต่ำ และไม่มีระบบการระบายน้ำที่ดีพอ ประกอบกับมีปริมาณฝนตกที่หนักถึงหนักมากในบางปี ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งสร้างความเสียหายต่อผลผลิตข้าวเป็นอย่างมาก

เมื่อพืชต้องอยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วม พืชบางชนิดสามารถสร้างชั้นฟองอากาศ (leaf gas film) หรือ ชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบได้ การมีชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบเมื่อพืชอยู่ใต้น้ำนั้นสามารถช่วยให้พืชเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจของพืช การศึกษาการเกิดชั้นฟองอากาศในข้าวแสดงให้เห็นถึงกระบวนการหายใจในที่มืดโดยใช้ ออกซิเจน ที่มีอยู่ในฟองอากาศเคลือบที่แผ่นใบในสภาวะน้ำท่วม และกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในเวลากลางวัน โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในฟองอากาศ ได้อย่างปกติ เมื่อ

เปรียบเทียบกับพันธุ์ข้าวที่ไม่สามารถสร้างชั้นฟองอากาศได้ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทำการเอาฟองอากาศที่เคลือบแผ่นใบออก มีผลให้สัดส่วนของการสังเคราะห์แสงลดลงถึง 20% อีกทั้งการเจริญเติบโตยังลดลงอีกด้วย (Pedersen et al., 2009) ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าการเกิดลักษณะชั้นฟองอากาศภายใต้สภาวะน้ำท่วมนั้น เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพความทนทานต่อน้ำท่วม การมีลักษณะแบบ hydrophobic ในใบข้าวบางพันธุ์ ส่งผลให้เมื่อข้าวอยู่ใต้น้ำจะมีชั้นฟองอากาศบางๆ กั้นระหว่างใบข้าวและน้ำ การเกิดขึ้นของชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สายพันธุ์ และสภาพแวดล้อม

การศึกษาปฏิกิริยากคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (chlorophyll fluorescence) เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาแสงของพืช (light reaction) ในระบบแสง 2 (photosystem II, PSII) และสามารถใช้อธิบายการส่งผ่านอิเล็กตรอนของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Misra et al., 2012; นงลักษณ์ พยัคฆศิรินาวิน และคณะ, 2014) ในพืชสีเขียวนั้นสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิการสังเคราะห์ด้วยแสง และการทำงานของ PS II ความสมบูรณ์ของพืชนั้นๆ และสภาวะเครียดจากปัจจัยต่างๆ ในพืชได้ (Krause and Weis, 1991; Pedrós et al., 2008; Baker, 2008; Rungrat et al., 2016) การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่า chlorophyll fluorescence เพื่อการประเมินศักยภาพของต้นพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภายใต้สภาวะเครียดแบบต่างๆ นอกจากนี้การวัดค่า chlorophyll fluorescence สามารถทำได้โดยไม่ทำลายตัวอย่างในระหว่างการเก็บข้อมูล

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างชั้นฟองอากาศเคลือบแผ่นใบข้าว ในข้าวไทยจำนวน 5 พันธุ์เปรียบเทียบกับพันธุ์ทนน้ำท่วม โดยจำลองสภาวะน้ำท่วมในระยะแตกกอเต็มที่เป็นเวลา 10 วัน รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพการใช้แสงของข้าว (Fv/Fm) และค่าความเขียวใบภายหลังจากน้ำลด เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาลักษณะการทนน้ำท่วม เพื่อนำไปใช้การปรับปรุงพันธุ์ข้าวทนน้ำท่วมต่อไป

วิธีการดำเนินงาน

การเตรียมตัวอย่างพืช

นำเมล็ดข้าวทั้ง 6 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 หอมชลสิทธิ์ พิษณุโลก2 ปทุมธานี1 กข51 และ กข61 โดยใช้พันธุ์ Chonlasit เป็นพันธุ์เปรียบเทียบทนน้ำท่วม และพันธุ์ KDML105 เป็นพันธุ์อ่อนแอเปรียบเทียบ แช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำมาเพาะในถาดหลุม เมื่อข้าวมีอายุได้ 25 วัน ทำการย้ายปลูกลงกระถางพลาสติกก้นปิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกปากกระถาง 30 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกก้นกระถาง 17.5 cm ความสูง 22 cm ที่บรรจุดินจากแปลงวิจัย คณะเกษตรศาสตร์ ฯ ม.นเรศวร ปริมาณ 5 kg/กระถาง ทำการปลูกจำนวน 1 ต้น/กระถาง ใส่ธาตุอาหารเพิ่มเติมเพื่อให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ใน อัตราส่วนดังนี้ 100 mg N, 50 mg P และ 50 mg K ต่อดิน 1 kg โดยใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ในอัตรา 176mg/ดิน 1 kg ปุ๋ยสูตร 18-46-0 ในอัตรา 108 mg/ดิน 1 kg และปุ๋ยสูตร 0-0-60 ในอัตรา 83 mg/ดิน 1 kg แบ่งใส่จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละเท่าๆกัน โดยใส่เมื่อข้าวมีอายุได้ 30 วัน และ 60 วันหลังย้ายปลูก

การวัดประสิทธิภาพของการใช้แสง (Fv/Fm) การวัดค่าความเขียวใบพืช (SPAD)

การวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงในใบข้าว (maximum quantum efficiency of PSII photochemistry, Fv/Fm) และค่าความเขียวใบพืช (SPAD) โดยทำการวัดค่าที่ใบอ่อนที่แผ่เต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ที่ระยะกลางใบ ในชุดควบคุม และชุดทอสอบ (ต้นข้าวขึ้นจากน้ำ) มาวัดค่าประสิทธาภาพการสังเคราะห์แสงด้วยเครื่อง ด้วยเครื่อง PAR fluoro meter (PAR-FluorPen; FP 100-Max-LM-D/USB, PSI®, Gzece Republic) โดยก่อนทำการวัดค่า chlorophyll fluorescence ต้นพืชจะถูกนำไปไว้ในที่มืด (dark-adapted) เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสง (Fv/Fm) ในช่วงเวลา 13:00 – 15:00 น. จากนั้นวัดค่าความเขียวใบ (leaf greenness) ด้วยเครื่องมือวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ (hand-held SPAD-502 chlorophyll meter, Konica minolta®, Japan การวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงและค่าความเขียวใบพืชจำนวน 5 ซ้ำในแต่ละต้น

การประเมินความทนทานต่อน้ำท่วมในระยะแตกกอเต็มที่

เมื่อต้นข้าวอยู่ในระยะแตกกอเต็มที่ ดำเนินการจำลองสภาวะน้ำท่วม โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) โดยมีปัจจัยแรกคือสภาพการปลูก มี 2 ระดับคือต้นข้าวในชุดควบคุมที่ปลูกในสภาวะปกติ และต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะจำลองสภาพน้ำท่วม และปัจจัยที่ 2 คือ พันธุ์ข้าว จำนวน 6 พันธุ์ ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ทำการย้ายต้นข้าวชุดทดสอบลงในอ่างพลาสติกโดยรักษาระดับน้ำให้ท่วมต้นข้าว 10 cm เป็นเวลา 10 วัน วัดความสูงของต้นข้าว เปอร์เซ็นการยืดตัว ประเมินความทนทานโดยนับจำนวนหน่อทั้งหมดก่อนน้ำท่วม และหลังนำขึ้นจากน้ำทันที ดัง Table 1

Table 1 Standard evaluation system of rice for submergence tolerance

Scale	Submergence tolerance	
	% death of tiller	Tolerance level
1	death of tiller < 10 %	high tolerance (HT)
2-3	death of tiller 10-30 %	tolerance (T)
4-5	death of tiller 30 -50 %	moderate tolerance (MT)
6	death of tiller 50 – 60 %	moderate susceptible (MS)
7-8	death of tiller 60 – 80 %	susceptible (S)
9	death of tiller > 80 %	high susceptible (HS)

Adapted from STANDARD Evaluation System of Rice, SES (IRRI, 2002)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม R และ R Studio (RStudio Team, 2019)

2 SB
191
.R5
ท๑๗๗๕
2562

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การเจริญเติบโตและอัตราการยืดตัว

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำต้นข้าวที่อยู่ในระยะแตกกอเต็มที่ ไปทดสอบในนสภาพจำลองน้ำท่วมเป็นเวลา 10 วัน ความสูงของต้นข้าวทั้ง 6 พันธุ์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พันธุ์ข้าวที่มีการยืดตัวสูงมากที่สุดในสภาวะน้ำท่วมมากที่สุดคือ KDML105 ความสูงอยู่ที่ 91.65 cm พันธุ์ข้าวที่มีความสูงต้นน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะน้ำท่วมคือ PT1 มีความสูงเฉลี่ย 77.38 cm (Figure 1a) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเปอร์เซนต์การยืดตัวของลำต้น (% elongation) พบว่าพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ Chonlasit และ PSL2 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของลำต้นเท่ากับ 23.12 % และ 22.18 % ตามลำดับ พันธุ์ KDML105 และ PT1 มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุดคือ 43.01 % และ 43.92% ตามลำดับ (Figure 1b) เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้ของการปรับตัวของข้าวเพื่อให้อยู่รอดภายใต้สภาวะน้ำท่วม เนื่องจากต้นข้าวได้ใช้คาร์โบไฮเดรตที่สะสมไว้ เพื่อสร้างพลังงานสำหรับการยืดตัวทางลำต้น เพื่อให้ต้นข้าวได้มีกระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีขึ้น (Pedersen et al., 2009) เปอร์เซ็นต์การยืดตัวดังกล่าวจะมีผลทำให้ต้นข้าวมีความทนทานต่อสถาวะน้ำท่วมได้น้อยลงตามไปด้วย เนื่องจากต้นข้าวได้ใช้พลังงานที่สะสมไว้สำหรับการยืดตัว มีผลทำให้เมื่อน้ำลดต้นข้าวพันธุ์ดังกล่าวมีอัตราการฟื้นตัวที่ต่ำ ซึ่งตรงกันข้ามกับพันธุ์ข้าวที่ไม่มีการยืดตัวหรือมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อย ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ของลักษณะการทนทานต่อน้ำท่วมแบบฉับพลัน โดยพืชจะมีการสะสมพลังงานไว้ใช้เมื่อน้ำลด และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้สำหรับการฟื้นตัว (Ram et al., 2002; Jackson and Ram, 2003)

ผลของสภาวะน้ำท่วมต่อการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์และประสิทธิภาพการใช้แสง (Fv/Fm)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบข้าวในชุดควบคุม และชุดจำลองสภาพน้ำท่วม ในข้าวทั้ง 6 พันธุ์ (Table 2) โดยใช้เครื่อง Chlorophyll meter ซึ่งให้หน่วยการวัดเป็น SPAD Unit นั้นพบว่าค่าความเขียวใบข้าวในชุดควบคุม ในข้าวทั้ง 6 พันธุ์มีค่าระหว่าง 34.16 – 38.30 SPAD Unit มีค่ามากกว่าในชุดจำลองสภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้น KDML105 โดยมีค่าระหว่าง 32.51 – 37.03 SPAD Unit แสดงว่าเมื่อต้นข้าวอยู่ในสภาวะน้ำท่วมนั้น ปริมาณแสงที่ส่งผ่านมายังใบข้าวลดลง ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวลดลง ส่งผลให้ค่าความเขียวใบข้าวลดลงตามไปด้วย และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า มีความแปรปรวนในลักษณะค่าความเขียวใบภายใต้สภาวะน้ำท่วมที่พบในแต่ละพันธุ์

ผลการศึกษาลักษณะประสิทธิภาพการใช้แสง (Fv/Fm) (Table 2) ซึ่งเป็นการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนต์ โดยการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชที่เกิดจากสภาวะเครียดเนื่องจากสภาวะแวดล้อม (environmental stress) ซึ่งแสดงถึงความสามารถของ photosystem II (PSII) (Baker, 2008; Maxwell and Johnsonม 2000) พบว่า ค่าเฉลี่ย Fv/Fm มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ระหว่างทรีตเมนต์ และมีความแตกต่างระหว่างปฏิสัมพันธ์ของพันธุ์ข้าวและทรีตเมนต์ ($p < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 6 พันธุ์ ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะปกติมีค่าเฉลี่ย Fv/Fm

ระหว่าง 0.70 – 0.73 ซึ่งบ่งบอกว่าต้นข้าวมีความอุดมสมบูรณ์ เมื่อต้นข้าวอยู่ในสภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่า Fv/Fm ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.58 – 0.70 ทั้งนี้ พันธุ์ที่มีค่า Fv/Fm ลดลงมากที่สุดคือพันธุ์ PT1 รองลงมาคือ PSL2 และ RD61 ตามลำดับ ค่า Fv/Fm ที่ลดลงในแต่ละพันธุ์แสดงถึงสภาวะเครียดที่ต้นข้าวได้รับเนื่องจากอยู่ภายใต้น้ำท่วมเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์ chonlasit และ RD51 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีความทนน้ำท่วม ซึ่งสอดคล้องกับค่า Fv/Fm ที่ลดลงซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ดังกล่าวมีความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุม ส่วนพันธุ์ KDML105 ที่แสดงค่า Fv/Fm ลดลงแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะมีการปรับตัวโดยการยืดทางลำต้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้ใกล้เคียงกับสภาพปกติมากที่สุด

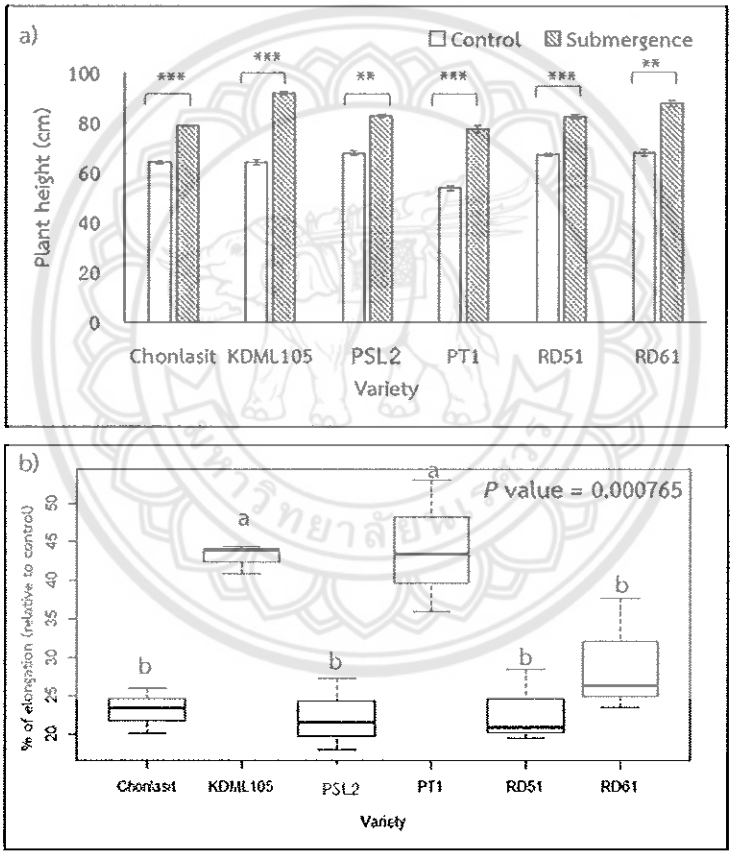

Figure 1 The average of plant height (cm) of six varieties under control and submergence condition (a). The percentage of plant elongation from original (relative to control) of each varieties (b). Data present mean SE, n=5. **, *** indicates significant differences at $p \leq 0.05$, and $p \leq 0.01$, respectively

Table 2 The statistical results of SPAD value and Fv/Fm of six rice varieties grown under control and submergence condition. P-value are given for "variety", "condition", and "variety x condition"; n.s. = not significant; * = p-value ≤ 0.05; ** = p-value ≤ 0.01.

Variety	SPAD		F-test	Fv/Fm		F-test
	Control	Submergence		Control	Submergence	
Chonlasit	38.30±0.76	37.03±2.19	n.s.	0.72±0.02	0.68±0.04	n.s.
PSL2	36.96±2.26	36.03±0.69	n.s.	0.73±0.01	0.58±0.04	*
PT1	36.53±2.49	33.72±2.36	n.s.	0.73±0.04	0.56±0.08	*
RD51	37.63±1.92	34.54±0.35	n.s.	0.70±0.02	0.64±0.07	n.s.
RD61	34.16±1.12	32.51±1.75	n.s.	0.71±0.06	0.62±0.02	*
KDML105	38.17±1.50	33.92±2.6	*	0.70±0.05	0.70±0.01	n.s.
F-test						
Variety	*			n.s.		
Condition	**			**		
Variety x Condition	n.s.			*		
CV%	4.82			4.86		

ความทนทานน้ำท่วมฉับพลัน

การประเมินความทนทานน้ำท่วมฉับพลันในระยะแตกกอเต็มที่พบว่า ข้าวทั้ง 6 พันธุ์มีเปอร์เซ็นต์หน่อตายแตกต่างกัน โดยมีต้นหน่อตายเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วมเป็นเวลา 10 วัน อยู่ระหว่าง 6.38% – 32.0% (แสดงดัง Table 3) โดยพบว่าพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ต้นหน่อตายน้อยที่สุด ซึ่งจัดอยู่ในระดับความทนทานมากที่สุด (HT) คือ พันธุ์ Chonlasit และ RD51 เช่นเดียวกับรายงานการวิจัยของ Siangliw et al (2003) และ Toojinda et al (2003) ที่ได้นำยีนทนน้ำท่วมจากข้าวพันธุ์ FR13A, IR49830 และ IR57514 มาผสมกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้เป็นข้าวหอมชลสิทธิ์ (Chonlasit) และ RD51 ซึ่งมีความสามารถในการทนน้ำท่วมฉับพลัน ส่วนพันธุ์ที่จัดอยู่ในระดับทนทาน (T) ได้แก่พันธุ์ PSL2 PT1 และ RD61 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์หน่อตายระหว่าง 14.03% – 20.95% ส่วนพันธุ์ KDML105 มีระดับความทนทานปานกลาง (MT) มีค่าเปอร์เซ็นต์หน่อตายเท่ากับ 32 %

Table 3 Submergence tolerance and % death of tiller of six rice varieties after submerged for 10 days.

Variety	% death of tiller	Scale	Tolerant level
Chonlasit	6.38	2	HT
PSL2	14.03	2	T
PT1	20.95	3	T
RD51	3.36	1	HT
RD61	14.49	2	T
KDML105	32.0	4	MT

สรุป

สภาวะน้ำท่วมแบบฉับพลันส่งผลให้ต้นข้าวมีการยืดตัวทางลำต้นที่สูงขึ้น มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง และมีผลต่อค่าความเขียวใบลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ในข้าวทั้ง 6 พันธุ์ ข้าวพันธุ์ Chonlasit และ RD51 มีระดับความทนทานน้ำท่วมฉับพลันสูง ในขณะที่พันธุ์ PSL2 PT1 และ RD61 แสดงประสิทธิภาพความทนน้ำท่วมอยู่ในระดับทนทาน และ KDML105 อยู่ในระดับทนทานปานกลาง ความทนทานน้ำท่วมฉับพลัน เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และค่าความเขียวใบในข้าวแต่ละพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของแต่ละพันธุ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดพิษณุโลกที่อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวสำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

นงลักษณ์ พยัคฆศิรินาวิน, อุบล ชินวัง, และสุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร. 2014. การประยุกต์ใช้เทคนิคคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์กับพืชสวน. การเกษตรราชภัฏ 13(2), 37-46

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2560. กรุงเทพมหานคร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Baker, N.R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. Annual Review of Plant Biology, 59, .89–113

Devender, R.M. and B. Mittra. 1985. Effects of complete plant submergence on vegetative growth, grain yield and some biochemical changes in rice plant. Plant and Soil. 87 (3): 365-374.

IRRI. 2002. Standard Evaluation System for rice (SES). International Rice Research Institute P.O. Box 933, Manila, Philippines.

Jackson, M.B., and P.C. Ram, 2003. Physiological and molecular basis of susceptibility and tolerance of rice plants to complete submergence. Annals of Botany, 91, .227–241

Krause, G., and E., Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. Plant Physiology and Plant Molecular Biology 42, 313–49

Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. J. Exp. Bot, 51, .659–668

Mongon, J., Jantasorn, A., Oupkaew, P., Prom-u-Thai, C., Rouached, H. 2017. The time of flooding occurrence is critical for yield production in rice and vary in a genotype-dependent manner. OnLine Journal of Biological Sciences. 17 (2), 58.65.

Misra, A. N., M. Misra, and R., Singh. 2012. "Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology." Biophysics 220

Pedrós, R., Moya, I., Goulas, Y., and S., Jacquemoud. 2008. Chlorophyll fluorescence emission spectrum inside a leaf. Photochemical & Photobiological Sciences 7(4), 498–502

Pedersen, O., S.M. Rich and T.D. Colmer. 2009. Surviving floods: gas films improve O_2 and CO_2 exchange, root aeration, and growth of completely submerged rice. The plant Journal, 58, .147–156

Ram, P.C., B.B. Singh, A.K. Singh, P. Ram, P.N. Singh, H.P. Singh, L. Boamfa, F. Harren, E. Santosa, M.B. Jackson, T.L. Setter, J. Reuss, L.J. Wade, V.P. Singh and R.K. Singh. 2002. Submergence tolerance in rainfed lowland rice: physiological basis and prospects for cultivar improvement through marker-aided breeding. Field Crops Research, 76, .131–152

Rungrat, T., M. Awlia, T. Brown, R. Cheng, X. Sirault, J. Fajkus, M. Trtilek, M., et al. 2016. Using Phenomic Analysis of Photosynthetic Function for Abiotic Stress Response Gene Discovery. The Arabidopsis Book 14, e0185.

Siangliw, M., T. Toojinda, S. Tragoonrung and A. Vanavichit. 2003. Thai jasmine rice carrying QTLch9 (SubQTL) is submergence tolerant. Annals of Botany, 91, .255-261

Toojinda, T., M. Siangliw, S. Tragoonrung and A. Vanavichit. 2003. Molecular genetics of submergence tolerance in rice: QTL analysis of key traits, Annals of Botany, 91, .243-253

Toojinda, T., S. Tragoonrung, A. Vanavichit, J.L. Siangliw, N. Pa-In, J. Jantaboon, M. Siangliw and S. Fukai. 2005. Molecular Breeding for Rainfed Lowland Rice in the Mekong Region. Plant Production Science, 8, .330-333

Wassmann, R., S.V.K. Jagadish, K. Sumfleth, H. Pathak, G. Howell, A. Ismail, R. Serraj, E. Redona, R.K. Singh and S. Heuer. 2009. Chapter 3 Regional Vulnerability of Climate Change Impacts on Asian Rice Production and Scope for Adaptation, Advances in Agronomy, 102, .91-133.

ISSN 2301-3737
JOAAT
Journal of Advanced Agricultural Technologies
HTTP://WWW.JOAAT.COM; EMAIL: JOAAT@EJOURNAL.NET

Certificate Letter

Tepsuda Rungrat,
Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

To Whom It May Concern,

Journal of Advanced Agricultural Technologies (JOAAT) is an international academic journal which gains a foothold in USA and opens to the world. The focus is to publish papers on Advanced Agricultural Technologies. Submitted papers will be reviewed by technical committees of the Journal and Association. The audience includes researchers, managers and operators for advanced agricultural technologies as well as designers and developers.

Herewith, JOAAT is pleased to inform that the peer-reviewed & refereed paper "Effect of Submergence at the Tillering Stage on the Maximum Quantum Yield Efficiency and Leaf Gas Films of Thai Rice" written by *Tepsuda Rungrat* will be published in Volume 7, Number 2 of JOAAT.

Sincerely Yours,

Journal of Advanced Agricultural Technologies (JOAAT)
http://www.joaat.com

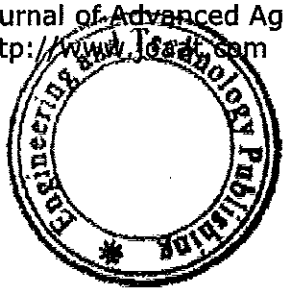

Figure A 2 Journal of Advanced Agricultural Technologies (JOAAT) Volume 7, Number 2.

Effect of Submergence at the Tillering Stage on the Maximum Quantum Yield Efficiency and Leaf Gas Films of Thai Rice

Tepsuda Rungrat [1*]
Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand
Email: tepsudar@nu.ac.th

Abstract— **The maximum quantum yield efficiency of PSII and leaf gas film production after 10 days of complete submergence at the tillering stage was compared among six Thai rice varieties. The treatments included two growth conditions (normal growing condition as control and complete submergence). The control group was treated with the conventional growing method in plastic pots, while the complete submergence was artificially simulated and transferred into plastic tubs at 15 days after transplanting with 1-meter depth of water. Compared with the control group, the submerged group showed significant increases in plant height. The flood tolerance variety, Chonlasit, presented a small increase, but there was a non-significant difference in plant elongation after submergence compared with susceptible varieties, PSL2, PTT, RD51, RD61, and KDML105. Chonlasit showed the greatest percentage of plant survival with 91.67%, while RD61 showed the lowest with 72.55%. Leaf gas films of all six varieties were observed after 6 hrs of submergence. Chonlasit and PSL2 presented much volume of leaf gas films in comparison with other varieties. There was little change in the maximum quantum yield efficiency of PSII (Fv/Fm) of the flood tolerance variety, Chonlasit. In contrast, the Fv/Fm value of susceptible varieties decreased significantly.**

Index Terms— **near-isogenic line, physical property, chemical property, bacterial blight**

I. Introduction

Rice is the main staple and economic food crop in Thailand for national consumption and exportation. According to the FAO, global food production will need to increase by 70% by the year 2050 due to the rise in the world population [1]. Abiotic stresses, such as drought and flood are the major challenges which impact plants in many ecosystems worldwide, resulting in rice yield reduction [2, 3]. Submergence is a severe abiotic stress for rain-fed lowland rice. Rain-fed lowland rice often becomes submerged depending on the season. Different genotypes vary in submergence tolerance [4, 5]. Research has demonstrated that leaf gas film can promote submergence tolerance of rice [6, 7].

Leaves of submerged plants greatly restrict O_2 uptake from the surrounding environment, 10,000 times slower in water than in the air [8]. Photosynthetic activity occurs during the day using dissolved CO_2 and produces O_2 by submerged leaves; whereas at night, the dissolved O_2 in water is the only source for photosynthesis [9, 10]. The term 'leaf gas film' has been used to describe the hydrophobic body surface trait that retains a thin layer of gas [7, 11]. Leaf gas film (LGF1) was identified as the responsive gene for leaf wax composition, epicuticular wax platelet abundance, surface hydrophobicity, and, therefore, leaf gas film retention in rice [12]. This trait is considered a mechanism to enhance tissue gas exchange with water [12]. In addition, leaf gas films have been demonstrated to improve underwater photosynthesis of rice, dark respiration, root pO_2 and growth by greatly enhancing gas exchange of leaves under submerged conditions [7, 10]. Moreover, leaves with gas films might be able to keep stomata open when a plant is submerged, which would promote gas exchange [13].

Photosynthesis is the process that generates chemical energy from sunlight to support plant growth and development. Photosynthetic efficiency can be used as a key factor for determining plant resistance to various stresses. In recent years, chlorophyll fluorescence measurement has been wildly used to reveal photosynthetic efficiency without damaging plant tissue [14, 15, 16, 17]. Generally, light energy captured by chlorophyll molecules is used in photochemical reactions to drive photosynthesis or, in the case of excess energy, it will dissipate as heat (non-photochemical quenching, NPQ) or emit chlorophyll fluorescence [18]. These three processes compete with each other; thus, by measuring the yield of chlorophyll fluorescence, the photosynthetic efficiency (photochemical reaction) and the degree of heat dissipation could also be estimated. Therefore, the current study aimed to investigate the ability of five Thai rice varieties to produce leaf gas film and compare the maximum photosynthetic efficiency among rice varieties under submergence conditions.

Manuscript received ; revised ; accepted .
Corresponding author; TR, Email: tepsudat@nu.ac.th

II. METERIAL AND METHODS

A. *Plant meterials and growth condition*

Five rice accessions, including four Thai commercial accessions (RD61, PSL2, PTT1, KDML105 and RD51) and one flood tolerance accession (Chonlasit) were used in this study. Sterilized seeds were soaked in water at 37 °C overnight to synchronize the germination. Germinated seedlings were transferred to a seedling tray with the soil water content maintained at 100%. The 21-day-old seedlings were transferred into plastic pots 25.4 cm in diameter and 30 cm high containing 4 kg of clay soil with one plant per pot. The experiment was conducted in the greenhouse at Naresuan University, Thailand, from December 2018 to April 2019.

B. *Characterization of surface gas films, flood tolerance and maximum quantum yield efficiency*

Flooding was simulated artificially in a plastic tub during the tillering stage (15 days after transplanting) with 1-meter depth of tap water. Three pots per accession were transferred into the submergence condition for 10 days. After flooding treatment, plant height and survival rate were recorded.

The two youngest fully expanded leaves of an individual plant were used to observe the formation of leaf gas film. Surface gas film can be observed by the naked eye as a silvery covering of the leaf. The observations were taken on three leaf segments of 50 mm length of the first leaf. The second leaf was used as a control by eliminating the leaf gas film formation by brushing with a dilution of Triton X (0.01% v/v of Triton X-100 in sterilized water). Measurements were taken at 0, 12 and 24 hours.

The youngest fully expanded leaves were measured for the maximum quantum yield efficiency before and after the flooding treatment. The maximum quantum yield efficiency was measured using PAR-FluoPen (Photon Systems Instruments, Czech Republic). The leaf sample was dark adapted for 30 min prior to measuring. The maximum quantum yield efficiency of PSII photochemistry F_v/F_m was calculated as $(F_m-F_0)/F_m$ [16, 18], where the minimum fluorescence (F_0) at open PSII centers was obtained by measuring light, while the maximum fluorescence (F_m) at closed PSII centers was determined after an application of a 0.8 s saturating light pulse (3,000 μmol $m^{-2}s^{-1}$) after being dark adapted for 30 min.

C. *Statistical Analysis*

Results were expressed as the mean of five replications ±SE. Data were analyzed using one-way analysis of variance. Duncan's multiple range test at the 95% confidence level ($p < 0.05$) was used to compare the difference between genotypes. Statistical analysis was performed using the R software [19].

III. RESULTS

A. *Plant height, elongation and %survival under submergence*

Rice genotypes used in this study exhibited distinctively variable responses to the submergence for 10 days (Fig.1a). Genotype KDML105 showed greater elongation with a highly significant difference in comparison to before being submerged. The other genotypes: PSL2, PTT1, RD51, and RD61; however, exhibited medium elongation. Plant height did not increase much in the Chonlasit cultivar, resulting in a non-significant difference compared with before submergence. Survival percentage decreased in all the cultivars due to the imposition of 10 days of submergence treatment (Fig. 1b). Survival percentage of Chonlasit was 91.76% which was the highest among all cultivars. Survival percentage was significantly greater in Chonlasit in comparison to all cultivars. Among commercial cultivars, survival percentage was the least in RD61 (72.55%).

B. *Leaf gas films under submergence*

Six Thai commercial rice varieties were investigated for leaf gas film retention upon submergence (Fig. 2). The hydrophobic leaf blade surface presented immediately after submergence was seen as a silvery sheen on the leaf. Gas films on leaf blades of all six varieties could be observed during the first 6 hrs of submergence and lasted for 24 hrs. Chonlasit, RD51 and PSL2 genotypes presented greater volumes of gas films compared to other genotypes. Leaf gas films have been reported to be associated with leaf pubescence [12, 20]. Genotypes that produced much volume of gas films initially showed high values of F_v/F_m under submerged conditions. This result was similar to the study of Ref. [21]. They reported that leaves with gas films could potentially increase the carbohydrate status and increase underwater net photosynthesis, which contributes to submergence tolerance in rice. Leaf hydrophobicity and gas films on submerged leaves which related to the LGF1 gene have been confirmed to contribute to underwater photosynthesis, leading to flood tolerance in rice [12].

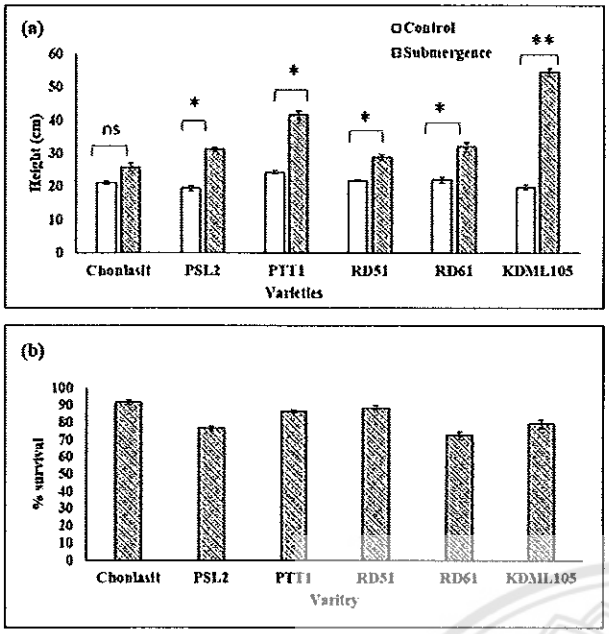

Figure 1. Plant height of 36 days-old rice plant of control and submergence condition for 10 days (a). Percentage of survival of six varieties after submergence for 10 days. The data represent average value ±SE from five replications.

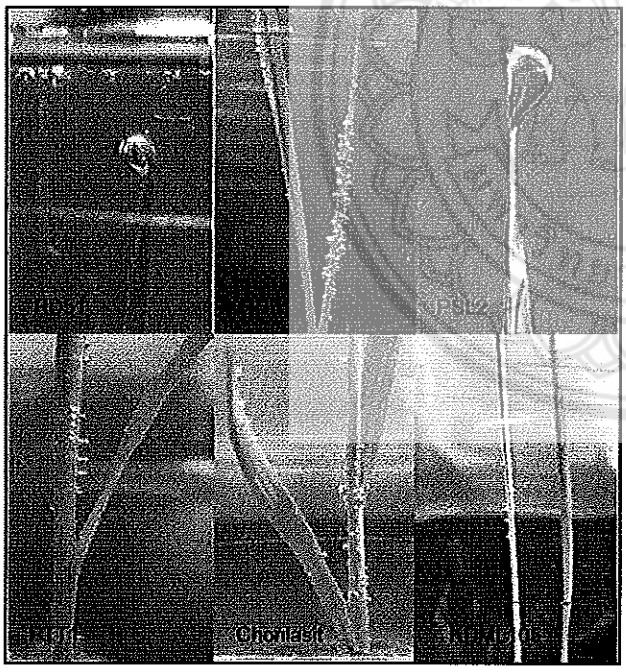

Figure 3. Leaves of six rice varies which present gas film formation at 24 hrs after complete submergence.

C. *Changes in chlorophyll fluorescence under submergence conditions*

The maximum quantum yield efficiency of PSII, as measured by chlorophyll fluorescence, was quantified for both before and after flooding treatment to determine how the submerged condition affected photosynthetic

Table 1. The maximum quantum yield efficiency of PSII (Fv/Fm) of control plants and submerged plants of six varieties

Variety/Treatment	Control	Submergence
	Fv/Fm	Fv/Fm
Chonlasit	0.73±0.02[a]	0.68±0.04
PSL2	0.73±0.01[a]	0.58±0.11
PTT1	0.73±0.04[a]	0.59±0.08
RD51	0.70±0.02[ab]	0.64±0.07
RD61	0.71±0.06[a]	0.68±0.02
KDML105	0.69±0.05[b]	0.68±0.01
Mean	0.71	0.65
F-test		
Variety	*	ns
CV%	4.86	9.77

Means in the same column flowed by ±SD

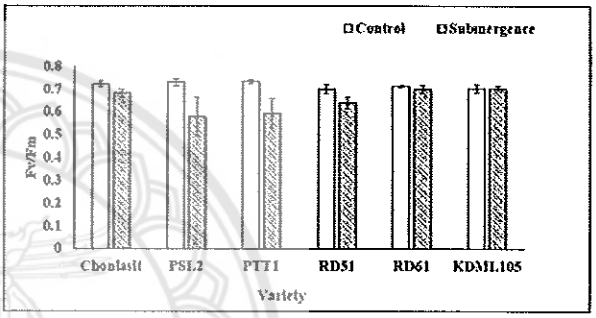

Figure 2. Comparison of the maximum quantum yield efficiency of PSII (F_v/F_m) between the control plants and submerged plants

capacity in each variety. After 10 days of submergence, the overall performance of photosystem II (PSII) was comparatively lower compared to the control condition. As shown in Table 1, the changes in the maximum quantum yield efficiency of PSII were greater in the control group compared to the submergence group. A varietal difference was observed in F_v/F_m under the control condition which suggested that the photosynthetic potential varies in nature by genotype and could be genetically regulated. The F_v/F_m values of all varieties declined at significantly different rates under the submergence condition except for Chonlasit, RD61 and KDML105 (Fig. 3). F_v/F_m values of the three varieties: PSL2, PTT1, and RD51 decreased significantly under the submergence condition. Submergence at the tillering stage which resulted in a decrease in the maximum quantum yield efficiency of PSII can cause a reduction in yield and yield components of rice [22].

IV. Discussion

To better understand the potential genetic resources for submergence tolerance in Thai commercial rice varieties, chlorophyll fluorescence parameters were measured together with the ability of the rice leaves to maintain gas films on leaf blades. Rice leaves retained a visible gas film layer upon submergence. The occurrence of

hydrophobic leaves with gas film retention in different rice varieties is an important trait for rice to survive during submergence by continuing underwater photosynthesis [12]. There was a slight but non-significant decreased in the F_v/F_m value of Chonlasit, which has been reported to have flash flooding tolerance and non-photoperiod sensitivity [23]. This suggests that the tolerance mechanism in this variety might support the underwater photosynthesis which is linked to the high percentage of survival in comparison to other varieties. Unlike the high value of F_v/F_m after the submergence of RD61 and KDML105, this was because of the adaptation mechanism in these two varieties as seen in the high rate of plant elongation. The decrease of F_v/F_m in susceptible varieties, such as PSL2, PTT1, and RD51 suggests that using the chlorophyll fluorescence analysis to measure the maximum quantum yield efficiency of PSII is a promising method to determine plant tolerance in flood conditions.

V. Conclusions

Although submergence condition leads to plant elongation, the maximum quantum yield efficiency of PSII and leaf gas films were presented different responses to the period of submergence in rice at the tillering stage. Our results demonstrate that rice varieties responded differently in both control and submergence conditions. Tolerate and adapted varieties showed a small reduction of F_v/F_m and the greater amount of leaf gas film formation which help plants to cope with submergence. These results should accelerate our understanding of parameters involved in tolerance and adaptation of Thai rice varieties to excess water stress.

Conflict of Interest

All authors declare that they have no conflict of interest and all ideas reflected in this manuscript have been agreed upon.

Author Contributions

TR conducted the research, analyzed the data and wrote the paper.

Acknowledgment

We would like to thank the Bureau of Rice Research and Development, Phitsanulok, Thailand, for kindly providing the seed of rice varieties RD47, PSL2 and IRBB21.

References

[1] FAO. (2013). How to feed the world in 2050. *High level expert forum, issues brief.* [Online]. Available: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf Accessed October 2013.

[2] M.H. Dar, A. de Janvry, K. Emerick, D. Raitzer, and E. Sadoulet, "Flood-tolerant rice reduces yield variability and raises expected yield, differentially benefitting socially disadvantaged groups" *Scientific reports*, vol. 3, 3315, November 2013. doi:10.1038/srep03315

[3] Y. Gao, T. Hu, Q. Wang, H. Yuan, and J. Yang. "Effect of Drought–Flood Abrupt Alternation on Rice Yield and Yield Components", *Crop Sci.* vol.59(1), pp280-292, January 2019. doi:10.2135/cropsci2018.05.0319.

[4] T.D. Colmer, W. Armstrong, H. Greenway, A.M. Ismail, G.J.D. Kirk, and B.J. Atwell, "*Physiological Mechanisms of Flooding Tolerance in Rice: Transient Complete Submergence and Prolonged Standing Water,* In: Lüttge U., Beyschlag W., Cushman J. (eds) Progress in Botany. Progress in Botany (Genetics - Physiology - Systematics - Ecology), vol 75. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 255-307.

[5] P.C. Ram, A.K. Singh, B.B. Singh, V.K. Singh, H.P. Singh, T.L. Setter, V.P. Singh, and R.K.Singh, "Environmental characterization of floodwater in eastern India: relevance to submergence tolerance of lowland rice", *Experimental Agriculture,* vol. 35, pp.141–152. April 1999. doi:10.1017/S0014479799002057.

[6] J. Bailey-Serres, and L.A.C.J. Voesenek, "Flooding stress: acclimations and genetic diversity", *Annu. Rev. Plant Biol*, Vol. 59, pp. 313–319, June 2008. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092752.

[7] O. Pedersen, S.M. Rich, and T.D. Colmer, "Surviving floods: leaf gas films improve O_2 and CO_2 exchange, root aeration, and growth of completely submerged rice", *Plant J*, vol. 58, no. 1, pp. 147-56, March 2009. doi: 10.1111/j.1365-313X.2008.03769.

[8] W. Armstrong, "Aeration in higher plants". *Advances in Botanical Research,* vol. 7, pp. 225–332. 1979. doi:10.1016/S0065-2296(08)60089-0

[9] K. Sand-Jensen, O. Pedersen, T. Binzer, and J. Borum, "Contrasting oxygen dynamics in the freshwater isoetid *Lobelia dortmanna* and the marine seagrass *Zostera marina*", *Annals of Botany*, vol. 96, pp. 613–623, September 2005. doi: 10.1093/aob/mci214.

[10] A. Winkel, T.D. Colmer, A.M. Ismail, and O. Pedersen, "Internal aeration of paddy field rice (*Oryza sativa* L.) during complete submergence – importance of light and floodwater O2", *New Phytologist,* vol. 197, pp. 1193–1203, March 2013. doi: 10.1111/nph.12048.

[11] O. Pedersen, and T.D. Colmer, "Physical gills prevent drowning of many wetland insects, spiders and plants", *Journal of Experimental Biology*, vol. 215, pp. 705–709, 2012. doi: 10.1242/jeb.065128.

[12] Y. Kurokawa, K. Nagai, P.D. Hung, K. Shimazaki, H. Qu, Y. Mori, et al, "Rice Leaf Hydrophobicity and Gas Films Are Conferred by a Wax Synthesis Gene (LGF1) and Contribute to Flood Tolerance", *New Phytologist,* vol. 218, no. 4, pp. 1558–15569, June 2018. doi:10.1111/nph.15070.

[13] T.D. Colmer, and O. Pedersen, "Underwater photosynthesis and respiration in leaves of submerged wetland plants: gas films improve CO_2 and O_2 exchange", *New Phytol*, vol. 177, pp. 918-926. 2008. doi:10.1111/j.1469-8137.2007.02318.x.

[14] G. Krause, and E. Weis, "Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics", *Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, vol. 42, pp. 313–349, June 1999. doi./10.1146/annurev.pp.42.060191.001525.

[15] R. Pedrós, I. Moya, Y. Goulas, and S. Jacquemoud, "Chlorophyll fluorescence emission spectrum inside a leaf", *Photochemical & Photobiological Sciences,* vol.7, no. 4, pp. 498–502, April 2008. doi: 10.1039/b719506k.

[16] N.R. Baker, "Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo", *Annual Review of Plant Biology,* vol. 59, pp. 89–113, 2008. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759.

[17] T. Rungrat, M. Awlia, T. Brown, R. Cheng, X. Sirault, J. Fajkus, et al. (2016). Using Phenomic Analysis of Photosynthetic Function for Abiotic Stress Response Gene Discovery. *The Arabidopsis Book.* [Online]. 14: e0185. Available: https://doi.org/10.1199/tab.0185.

[18] K. Maxwell, and G.N. Johnson, "Chlorophyll fluorescence - a practical guide", *J. Exp. Bot*, vol.51, pp. 659–668, April 2000. doi: 10.1093/jexbot/51.345.659.

[19] RStudio Team. "RStudio: Integrated Development for R. RStudio", Inc. Massachusetts, USA. http://www.rstudio.com/, 1 March 2016.

[20] W. Konrad, J. Burkhardt, M. Ebner, and A. Roth-Nebelsick, "Leaf pubescence as a possibility to increase water use efficiency by promoting condensation", Ecohydrology, vol. 8, pp. 480-492, 2015. doi: /10.1002/eco.1518.

[21] A. Winkel, O. Pedersen, E. Ella, A.M. Ismail, and T.D. Colmer, "Gas film retention and underwater photosynthesis during field submergence of four contrasting rice genotypes", *J Exp Bot,* vol. 65, no. 12, pp. 3225–3233, July 2014. doi: 10.1093/jxb/eru166.

[22] A. Kotera, E. Nawata, L.V. Thao, N.V. Vuong, and T. Sakuratani, "Effect of Submergence on Rice Yield in the Red River Delta, Vietnam", *Jpn. J. Trop. Agr*, vol. 49, no. 3, pp. 197-206, September 2005. doi: 10.11248/jsta1957.49.197.

[23] L. Tuntee, S. Kongsila, T. Toojinda, U. Kotchasatit, and S. Kate-ngam, "Preliminary validation of submergence tolerance of elite BC2F3 rice lines carrying Sub1 gene", *KHON KAEN AGR. J,* vol. 45, suppl. 1, pp. 1105-1111, 2017.

Copyright © 2020 by the authors. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY-NC-ND 4.0), which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

Tepsuda. Rungrat is lecturer and researcher at Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, Thailandand. She received a bachelor's degree in agricultural science from Naresuan University, Thailand, a master's degree in Agricultural Science from Chiang-Mai University, Thailand, and a doctor's degree in plant biology from the Australian National University, Australia. Her expertise is on conventional plant breeding, abiotic stresses response, plant adaptation and acclimation. Her interested in how agricultural and natural environments are impacted by climate change. My particular focus is on physiological traits associated with plant responses to environmental stresses, such as drought, heat, flood, and high light intensity. Investigating gene: environment interactions in a range of systems, including agricultural practice and stress tolerance.

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2560. กรุงเทพมหานคร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

Asseng, S., Ewert, F., Marrtre, P., et al., 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. Nature Climate Change 5, 143-147

Colmer, T.D. and O. Pedersen. 2008. Underwater photosynthesis and respiration in leaves of submerged wetland plants: gas films improve CO_2 and O_2 exchange. New Phytol. 177, 918–926.

Devender, R.M. and B. Mittra. 1985. Effects of complete plant submergence on vegetative growth, grain yield and some biochemical changes in rice plant. Plant and Soil. 87 (3): 365-374.

Jackson, M.B., and P.C., Ram. 2003. Physiological and molecular basis of susceptibility and tolerance of rice plants to complete submergence. Ann. Bot. 91, 227–241.

Jenjira, M., A. Jantasorn, P. Oupkaew, C. Prom-u-Thai, and H. Rouached. 2017. The time of flooding occurrence is critical for yield production in tice and vary in a genotype-dependent maner. Online Journal of Biological Science. 17 (2):58-65

Laborte, A., Nelson, A., Jagadish, K., Aunario, J., Sparks, A., Ye, C., and Redona, E. (2012). Rice fells the heat. Rice today. 11(3)

Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C, Visperas, R.M., Zhong, X., Centeno, G.S., Khush, G.S., and Cassman, K.G. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. PNAS. 101(27):9971-9975

Ram, P.C., Singh, B.B., Singh, A.K. et al. (2002) Submergence tolerance in rainfed lowland rice: physiological basis and prospects for cultivar improvement through marker-aided breeding. Field Crops Res. 76, 131–152.

Toojinda, T., S. Tragoonrung, A. Vanavichit, J.L. Siangliw, N. Pa-In, J. Jantaboon, M. Siangliw, and S. Fukai. 2005. Molecular Breeding for Rainfed Lowland Rice in the Mekong Region. Plant Production Science. 8: 330-333.

Verboven, P., O. Pedersen, Q. Tri Ho, B.M. Nicolai, and T.D. Colmer. 2014. The mechanism of improved aeration due to gas films on leaves of submerged rice. Plant, Cell & Environment. 37 (10):2433-52

Vergara, B.S. (1970). Plant growth and development, pp.17-37 .In Rice Production Manual. UPLB.

Winkel A, T.D. Colmer, A.M. Ismail, and O. Pedersen. 2013. Internal aeration of paddy field rice (Oryza sativa L.) during complete submergence—importance of light and floodwater O2. New Phytologist 197, 1193–1203.

Wassmann, R. and et al. 2009. Regional vulnerability of climate change impacts on Asian rice production and scope for adaptation. Adv Agron. 102:91-133.

Xu, K. and D.J. Mackill. 1996. A major locus for submergence tolerance mapped on rice chromosome 9. Molecular Breeding. 2(3): 219-224.