วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

อิทธิพลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อการเพิ่มความทนอุณหภูมิสูงในข้าว

The influence of brassinosteriod increased heat tolerance in rice

สุรชัย ชัยสิทธิ์[1,4], วีรศิลป์ สอนจรูญ[2,3] และ อโนมา ดงแสนสุข[1,4]*

Surachai Chaiyasid[1,4], Weerasin Sonjaroon[2,3] and Anoma Dongsansuk[1,4]*

[1] *สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 40000*
[1] *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, 40000*
[2] *วิทยาลัยบูรณาการศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 10900*
[2] *School of Integrated Science, Kasetsart University, 10900*
[3] *หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและเทคโนโลยี (นานาชาติ) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 10900*
[3] *International Undergraduate Program in Bioscience and Technology, Faculty of Science, Kasetsart University, 10900*
[4] *กลุ่มวิจัยข้าวทนเค็ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40000*
[4] *Salt tolerant Rice Research Group, Khon Kaen University, 40000*

บทคัดย่อ: สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาวะโลกร้อนส่งผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ส่งผลต่อการผลิตข้าวในฤดูนาปรังในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 40 °C จะทำให้ข้าวเป็นหมัน ผลผลิตของข้าวลดลง และส่งผลต่อการลดลงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ ทั้งยังทำให้เยื่อหุ้มภายในเซลล์และรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกทำลาย ดังนั้นจึงมีการศึกษาการใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ (Br) ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มสเตียรอยด์ ในข้าวที่ปลูกในสภาพเรือนทดลอง ใช้แผนการทดลอง completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ตั้งแต่เดือนมกราคม-มิถุนายน 2564 โดยใช้ข้าวพันธุ์ N22 ที่ระยะดอกบาน 50% ทำการพ่นสารบราสสิโนสเตียรอยด์ ที่ระดับความเข้มข้นดังนี้คือ 0 (น้ำเปล่า; DW), 0.05, 0.1 และ 0.5 nM มีการให้อุณหภูมิสูงในเวลากลางวัน/กลางคืน (42/32 °C) เป็นเวลา 7 วัน (H) และให้อุณหภูมิปกติในสภาพเรือนทดลอง (UH) จากการศึกษาพบว่า การให้ Br มีผลช่วยให้ข้าวเพิ่มความต้านทานต่อความร้อนโดยมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ และปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น และรักษาความเสถียรภาพของเยื่อหุ้ม แสดงให้เห็นว่าสาร Br อาจส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระเพื่อกำจัดสารอนุมูลอิสระจึงรักษาสภาพของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์และเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลทำให้คลอโรฟิลล์ที่ฝังตัวในเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ไม่ถูกทำลายและกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น และชักนำให้มีการสะสมอาหารในเมล็ดเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น และมีความทนต่อสภาพอุณหภูมิสูง
คำสำคัญ: สารควบคุมการเจริญเติบโต; ความร้อน; สรีรวิทยา; การสังเคราะห์ด้วยแสง; ข้าว

ABSTRACT: Climate change due to global warming results in rising global temperatures and also affects rice yield in off-season in Northeast Thailand. The increasing temperature at 40°C leads to rice sterile, rice yield reduction, net photosynthetic rate reduction and intracellular membrane and photosynthetic pigments damage. Thus, the application of brassinosteroid (Br), which is a plant growth regulator in the steroid group, was studied in rice grown in greenhouse. This experiment used completely randomized design (CRD) with 4 replications. Rice namely N22 at 50% flowering was sprayed by brassinosteroid at 0 (distilled water; DW), 0.05, 0.1 and 0.5 nM and exposed to high temperature at day/night (42/32 °C) for 7 days (H) and temperature in greenhouse (UH). The study showed Br application increased high temperature tolerance by increased in net photosynthetic rate and chlorophyll contents and maintained membrane stability. This suggested that Br stimulated antioxidant enzyme for scavenging free radicals and maintaining thylakoid membrane and cellular membrane resulted in undamaged in chlorophyll

* Corresponding author: Danoma@kku.ac.th

Received: date; November 22, 2022 Accepted: date; February 10, 2023 Published: date;

embedded in thylakoid membrane and increased in photosynthesis. It also induced increased the accumulation of assimilates in rice seeds resulted in increased in rice yield and tolerated to high temperature condition.
Keywords: growth regulators; heat; physiology; photosynthesis; rice

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเนื่องจากภาวะโลกร้อนส่งผลให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้นและเพิ่มมากขึ้นทุกปี เนื่องจากกิจกรรมส่วนใหญ่ของมนุษย์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมากต่อการผลิตพืชในภาคการเกษตรทำให้มีผลผลิตลดลงอันเนื่องมาจากสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมโดยเฉพาะอุณหภูมิสูง โดยธัญพืชเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะทำให้ดอกเป็นหมันส่งผลเสียต่อการติดเมล็ดและทำให้เมล็ดลีบ (Xu et al., 2021) สำหรับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อเกษตรกรที่ทำนาปรังทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง โดยเฉพาะแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ทำให้เกษตรกรได้ผลผลิตข้าวน้อยกว่าภาคอื่น ๆ การที่อุณหภูมิในช่วงการทำนาปรังเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 40 °C ในช่วงที่ข้าวออกดอก ส่งผลทำให้การมีชีวิตของละอองเกสรเพศผู้ลดลง ข้าวผสมไม่ติดหรือเป็นหมัน ผลผลิตข้าวต่ำกว่ามาตรฐาน อุณหภูมิสูงส่งผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลง อุณหภูมิสูงส่งผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ระบบแสงสองลดลง (*PSII*) เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกทำลาย และการเจริญเติบโตลดลง (Chen et al., 2021) ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นในข้าวที่ปลูกในฤดูนาปรังที่ได้รับอุณหภูมิสูงโดยมีการใช้สารต่าง ๆ เพื่อบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้นในข้าว เช่น การฉีดพ่นสารไคโตซาน (chitosan) ให้กับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่ระยะแตกกอทำให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มสูงขึ้น (สุชาดา และคณะ, 2561) การใช้สารไกลซีนเบตาอีน (glycine betaine) แช่เมล็ดเพื่อเพิ่มความทนต่ออุณหภูมิสูงในข้าวบาร์เลย์ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นและลดการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลค์ (Wahid and Shabbir, 2005) นอกจากนี้มีการใช้สารบราสิโนสเตียรอยด์เพื่อช่วยให้พืชทนต่อความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิสูงได้ จะทำให้พืชสร้างโปรตีนที่เรียกว่า heat shock protein (HSPs) ซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โปรตีนเสียสภาพ หรือซ่อมแซมโปรตีนที่เกิดการเสียสภาพ และยังกระตุ้นให้เกิดการสร้างโปรตีนที่เยื่อหุ้มต่าง ๆ ภายในเซลล์จึงลดการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลท์ได้ (Li et al., 2021) ซึ่งมีการศึกษาการใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ในข้าวระยะสืบพันธุ์เพื่อเพิ่มความทนต่ออุณหภูมิสูง และยังมีการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการฉีดพ่นสารบราสสิโนสเตียรอยด์ โดยหากมีการฉีดพ่นในระดับความเข้มข้นต่ำ จะสามารถช่วยเพิ่มความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้มากขึ้น (Thussagunpanit et al., 2015) จากการศึกษาการพ่นสารบราสสิโนสเตียรอยด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.001 µM ในข้าวพบว่ามีการสร้างรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายทอดอิเลคตรอนในปฏิกิริยาแสงเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลทำให้มีการสร้างน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้น (Sonjaroon et al., 2018) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารบราสิโนสเตียรอยด์ยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเครียดออกซิเดชัน เพิ่มความมีชีวิตของเกสรเพศผู้ทำให้ลดความเป็นหมันของดอกข้าวเมื่อกระทบกับอุณหภูมิสูง (ณัฐชยา และคณะ, 2561) ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาสรีรวิทยาของข้าวในระยะดอกบาน 50% เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง และการใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์เพื่อเพิ่มความทนต่ออุณหภูมิสูงในข้าว ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดผลกระทบจากอุณหภูมิสูงต่อข้าวที่เกษตรกรปลูกในฤดูนาปรัง ซึ่งเผชิญกับอุณหภูมิสูงในช่วงการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์เพื่อเป็นทางเลือกให้เกษตรกรในการเพิ่มผลผลิตข้าวในการปลูกข้าวฤดูนาปรังได้ในอนาคต

วิธีการศึกษา

การทดลองนี้ใช้ข้าวพันธุ์ Nagina 22 (N22) เป็นพันธุ์ทนทานต่อความร้อนจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International rice research institute, IRRI) อายุการเก็บเกี่ยว 90-95 วัน (Poli et al., 2013) ปลูกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม 2564 ในสภาพกระถาง ที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทำการนำเมล็ดข้าวมาฆ่าเชื้อด้วยการแช่เอทานอล 70% เป็นเวลา 1 นาทีจากนั้นล้างออกด้วยน้ำสะอาด แล้วแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Clorox) ความเข้มข้น 10% 15 นาที ล้างออกด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง นำเมล็ดที่ทำการฆ่าเชื้อมาแช่น้ำเปล่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำเมล็ดมาเพาะในกระดาษเพาะที่ชุ่มน้ำเป็นเวลา 7 วัน หรือจนกระทั่งรากงอกและมีส่วนลำต้นเจริญเป็นต้นกล้า

จึงทำการย้ายต้นกล้าปลูกลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ที่บรรจุด้วยดินนา โดยใช้ข้าวจำนวน 3 ต้น/กระถาง เมื่อข้าวอายุครบ 14 วัน จึงทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/กระถาง และเมื่อข้าวเข้าสู่ระยะดอกบาน 50% จึงแบ่งกระถางข้าวออกเป็น 2 กลุ่มการทดลองคือ (1) กลุ่มควบคุม (UH) เป็นกลุ่มข้าวที่ปลูกและเจริญเติบโตในสภาพเรือนทดลอง และ (2) กลุ่มให้อุณหภูมิสูง (H) เป็นกลุ่มข้าวที่ให้อุณหภูมิที่ 42 °C ในเวลา 12.00-15.00 น. เป็นเวลา 7 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (VRV.Corp.,Ltd, Thailand) (Prasertthai et al., 2022) โดยก่อนนำข้าวที่ระยะดอกบาน 50% เข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้อุณหภูมิสูงและปลูกในสภาพโรงเรือนเพื่อให้อุณหภูมิตามสภาพเรือนทดลอง โดยทำการพ่นด้วยสารละลายบราสสิโนสเตียรอยด์ที่ความเข้มข้น 0 (DW), 0.05, 0.1 และ 0.5 nM ปริมาตร 20 มล./กระถาง ในช่วงเวลา 17.00-18.00 น. ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 8 ทรีตเมนต์ ได้แก่ UH+DW, UH+0.05 nM Br, UH+0.1 nM Br, UH+0.5 nM Br, H+DW, H+0.05 nM Br, H+0.1 nM Br และ H+0.5 nM Br จำนวน 4 ซ้ำ รวมทั้งหมด 32 กระถาง โดยพ่นสารให้ทั่วทั้งต้นแต่ไม่มีการใช้สารจับใบ หลังจากพ่นสารละลายบราสสิโนสเตียรอยด์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงทำการย้ายข้าวเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิตามสภาพกลุ่มการทดลองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และเมื่อให้อุณหภูมิในสภาพดังกล่าวครบ 7 วัน จึงทำการวัดค่าทางสรีรวิทยาและทำการย้ายกระถางไว้ในสภาพเรือนทดลองจนกระทั่งข้าวในกลุ่มที่ให้อุณหภูมิปกติในสภาพเรือนทดลองและสภาพอุณหภูมิสูงเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาจึงเก็บข้อมูล องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิต

การวัดค่าทางสรีรวิทยา

การวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ

การวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิวัดด้วยเครื่องการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รุ่น LI-6400xt; Li-Cor, Inc., Lincoln, NE, USA) ค่าสำหรับการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้แก่ ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthetic rate; *A*), ค่าการชักนำการเปิดปิดปากใบ (stomatal conductance; g_s), และค่าอัตราการคายน้ำ (transpiration rate; *E*) โดยใช้หัว Sun sky และตั้งค่าต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่ 400 µmol /m^2/s และค่า Flow = 500 ในการวัดจะวัดที่ใบธงของข้าวที่ระยะดอกบาน 50%

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และปริมาณแคโรทีนอยด์

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ดัดแปลงตามวิธีของ Arnon (1949) โดยทำการตัดใบข้าวชิ้นขนาดเล็ก 0.1 กรัม ทำการบดให้ละเอียด และเติมสารละลาย 80% acetone เพื่อสกัดคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์จนเนื้อเยื่อเปลี่ยนเป็นสีขาว จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และทำการปรับปริมาตรของสารละลายด้วยสารละลาย 80% acetone ปริมาตร 10 มล. ปิดภาชนะบรรจุ สารละลายคลอโรฟิลล์ด้วยกระดาษฟรอยด์เพื่อป้องกันคลอโรฟิลล์ถูกทำลาย จากการโดนแสง และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440, 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV – Vis Spectrophotometer (Model i3, Hanon, China) โดยใช้สารละลาย 80% acetone เป็น blank สำหรับการคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll; *TC*) คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a; *Chl a*), คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b; *Chl b*) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid; *Car*) จะคำนวณปริมาณสารดังกล่าวตามวิธีของ Bajracharya (1999)

การวัดความเสถียรภาพของเยื่อหุ้มด้วยการวัดค่าการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์

วัดค่าการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์ โดยนำใบข้าวที่ระยะดอกบาน 50% ชั่งน้ำหนัก 0.1 กรัม โดยใช้ใบธง และใบรองใบธงตัดเป็นชิ้นเล็ก นำตัวอย่างใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มล. เติมน้ำปราศจากไอออน (DI; Deionized water) ปริมาตร 10 มล. แล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าครั้งที่ 1 (EC1) ด้วยเครื่อง EC meter หลังจากนั้นนำตัวอย่างเดิมไปใส่หม้อนึ่งความดัน 15 ปอนด์ อุณหภูมิ 121 °C และวัดค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าครั้งที่ 2 (EC2) ค่าการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์ดัดแปลงวิธีและคำนวณตามสมการของ Bajji et al. (2002)

การวัดองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิต

เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาทำการเก็บข้อมูลด้านองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าว ได้แก่ จำนวนต้นต่อกอ, จำนวนรวงต่อกอ, จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวง, จำนวนเมล็ดดีต่อรวง, น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม), ผลผลิตต่อพื้นที่ (กก./ไร่)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ของข้อมูลตามแผนการทดลอง CRD จำนวน 4 ซ้ำ 2 ปัจจัย (อุณหภูมิสูงและกลุ่มควบคุม และความเข้มข้นของสารบราสสิโนสเตียรอยด์) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยโปรแกรม SPSS for windows version 16.0

ผลการศึกษา

สภาพภูมิอากาศขณะทำการทดลอง

สภาพภูมิอากาศภายใต้สภาพเรือนทดลองของข้าวพันธุ์ N22 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม ดังแสดงใน **Figure 1** สภาพภูมิอากาศภายใต้สภาพเรือนทดลองระหว่างการทดลองพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ย (Tavr) อยู่ในช่วง 20.8-32.5 °C, อุณหภูมิสูงสุด (Tmax) ในช่วง 25.3-42.4 °C, อุณหภูมิต่ำสุด (Tmin) อยู่ในช่วง 15.6-27.2 °C และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในช่วง 40.0-89.4% **(Figure 1)** ภายใต้อุณหภูมิสูงในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (H) และให้อุณหภูมิปกติภายใต้สภาพเรือนทดลอง (UH) เป็นเวลา 7 วัน พบว่า Tavr, Tmax, Tmin และ RH ในสภาพ H มีค่าเท่ากับ 31.7, 42.4, 24.3 °C และ 65% ตามลำดับ และ Tavr, Tmax, Tmin และ RH ในสภาพ UH มีค่าเท่ากับ 28.6, 37.4, 22.5 °C และ 74% ตามลำดับ

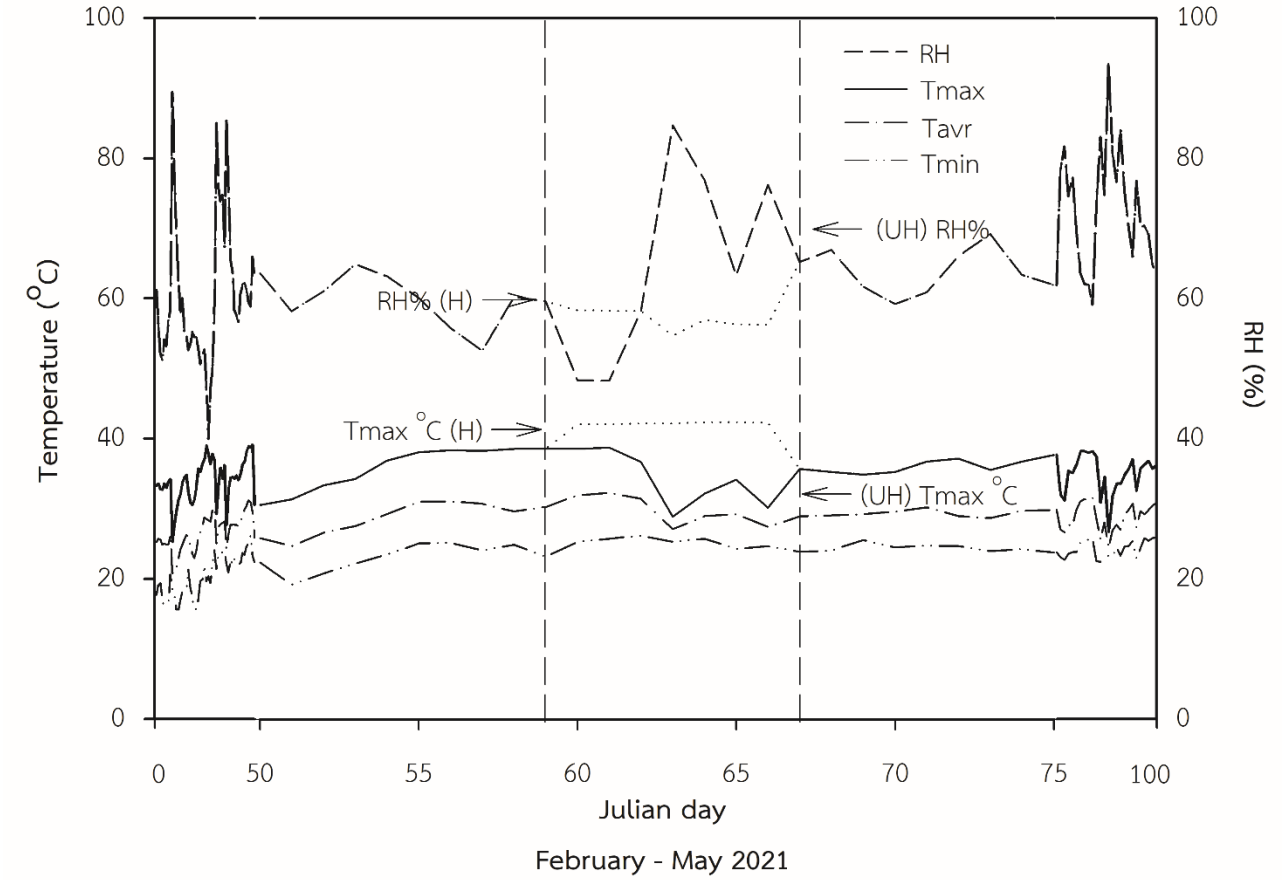

Figure 1 Climate data during growing rice cv. N22 such as maximum temperature (Tmax), average temperature (Tavr), minimum temperature (Tmin) and relative humidity (RH) under greenhouse from February - May 2021. Data was supplied by weather station at Agronomy field crop station, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University.

ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในข้าวภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง

ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ (Br) ต่อค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ, ค่าการชักนำการเปิดปิดปากใบ และอัตราการคายน้ำในข้าวพันธุ์ N22 ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงดังแสดงใน **Figure 2** ในสภาพเรือนทดลองพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของข้าวพันธุ์ N22 ที่ระยะดอกบาน 50% ในทรีตเมนต์ UH ที่พ่นด้วยสารบราสสิโนสเตียรอยด์ มีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์ H และมีความแตกต่างกันทางสถิติ **(Figure 2A)** และพบว่าการให้สารสารบราสสิโนสเตียรอยด์ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวเพิ่มขึ้นโดยทรีตเมนต์ UH+0.05 nM Br มีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.68 µmol CO_2 /m^2/s และกลุ่มที่ให้อุณหภูมิสูง H+0.1 nM Br มีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.06 µmol CO_2 /m^2/s และใกล้เคียงกันกับทรีตเมนต์ที่ได้รับอุณหภูมิสูง H+DW ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.28 µmol CO_2 /m^2/s ส่วนค่าการชักนำการเปิดปิดปากใบของข้าวพันธุ์ N22 ในสภาพเรือนทดลองที่ระยะดอกบาน 50% พบว่าค่าการชักนำการเปิดปิดปากใบของข้าวพันธุ์ N22 ในสภาพ UH และ H ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ **(Figure 2B)** สำหรับอัตราการคายน้ำในทรีตเมนต์ UH+0.05 nM Br มีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์ H+DW ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ **(Figure 2C)** และพบว่าในทรีตเมนต์ H+0.5 nM Br มีอัตราการคายน้ำต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 10.83 mmol H_2O /m^2/s และเมื่อให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ในทรีตเมนต์ H+0.05 nM Br ส่งผลทำให้มีอัตราการคายน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.37 mmol H_2O /m^2/s และมีค่าใกล้เคียงกับทรีตเมนต์ UH+0.05 nM Br มีค่าเท่ากับ 12.63 mmol H_2O /m^2/s เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่น

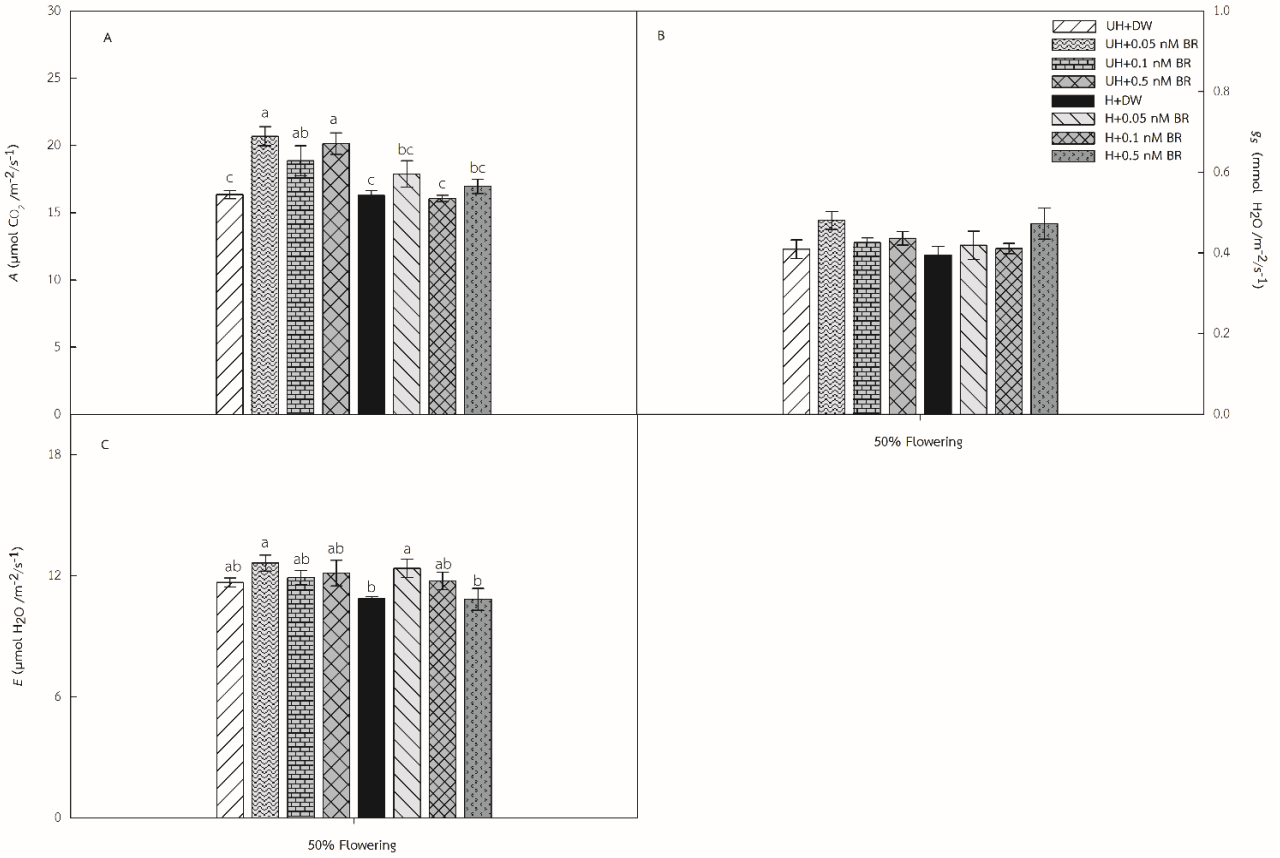

Figure 2 Effect of brassinosteroid on net photosynthetic rate (*A*; A), stomatal conductance (g_s; B) and transpiration rate (*E*; C) in rice cv. N22 at 50% flowering under greenhouse (mean±SE, n=3-4). Small letters indicate significant difference of N22 exposed to high temperature (H) compared to normal temperature (UH) by Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) at 95%.

ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง

ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ (Br) ต่อรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงดังแสดงใน **Figure 3** โดยผลการทดลองพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของข้าวพันธุ์ N22 ที่ระยะดอกบาน 50% พบว่าการให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์มีผลทำให้ข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงมีความแตกต่างกันทางสถิติ **(Figure 3A)** ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมต่ำที่สุดในกลุ่มทรีตเมนต์ H+DW มีค่าเท่ากับ 1.62 มก./ก.เนื้อเยื่อสด ซึ่งการให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ในสภาพอุณหภูมิสูงทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้นโดยเพิ่มมากที่สุดในกลุ่ม H+0.1 nM Br ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.54 มก./ก.เนื้อเยื่อสด เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่นในกลุ่มที่ได้รับอุณหภูมิสูง และในสภาพอุณหภูมิปกติการให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในทรีตเมนต์ UH+0.05 nM Br มีปริมาณสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.55 มก./ก.เนื้อเยื่อสด เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่นในระยะดอกบาน 50% ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอในข้าวพันธุ์ N22 ที่ระยะดอกบาน 50% พบว่าทรีตเมนต์ H+DW มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.16 มก./ก.เนื้อเยื่อสด เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่น ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ **(Figure 3B)** โดยข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงและให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์เป็นการช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์เอและมากที่สุดในทรีตเมนต์ H+0.1 nM Br มีปริมาณสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.74 มก./ก.เนื้อเยื่อสด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับทรีตเมนต์ที่มีอุณหภูมิปกติ (UH) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีในข้าวพันธุ์ N22 ที่ระยะดอกบาน 50% พบว่าทรีตเมนต์ UH+0.05 nM Br มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.89 มก./ก.เนื้อเยื่อสด และทรีตเมนต์ H+DW มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.46 มก./ก.เนื้อเยื่อสด เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่นในระยะดอกบาน 50% **(Figure 3C)** ในสภาพ H เมื่อพ่นสาร Br ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันส่งผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากที่สุดใน ทรีตเมนต์ H+0.1 nM Br ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 มก./ก.เนื้อเยื่อสด แต่ถึงอย่างไรพบว่าในทรีตเมนต์ H+0.5 nM Br มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.69 มก./ก.เนื้อเยื่อสด เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่นในสภาพ (H) และสำหรับปริมาณแคโรทีนอยด์ **(Figure 3D)** ในข้าวพันธุ์ N22 ที่ระยะดอกบาน 50% พบว่าการให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ในสภาพอุณหภูมิสูงทำให้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

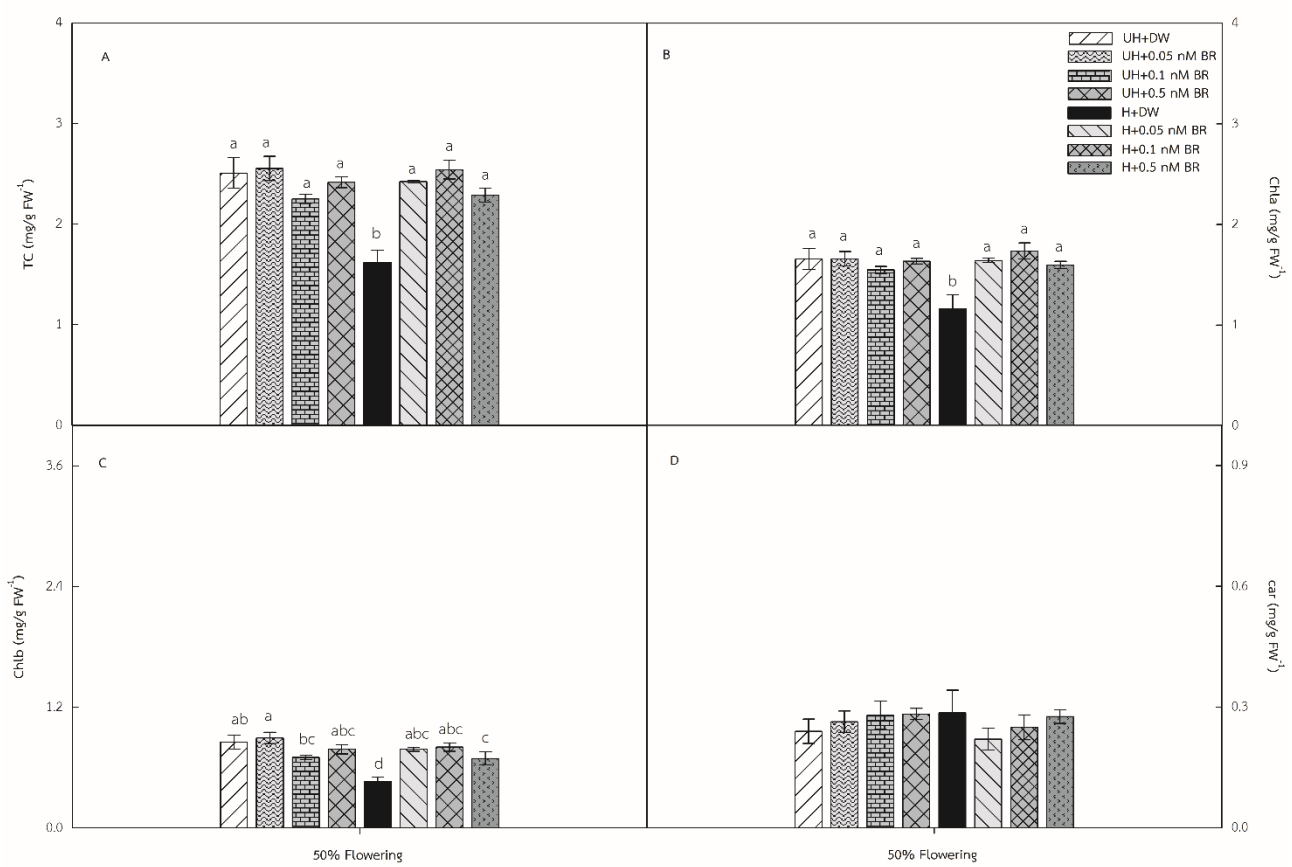

Figure 3 Effect of brassinosteroid on contents of total chlorophyll (TC; A), chlorophyll a (Chl a; B), chlorophyll b (Chl b; C) and carotenoid (Car; D) in rice cv. N22 at 50% flowering under greenhouse (mean±SE, n=3-4). Small letters indicate significant difference of N22 exposed to high temperature (H) compared to normal temperature (UH) by Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) at 95%.

ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อความเสถียรภาพของเยื่อหุ้มในข้าวภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง

ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ (Br) ต่อค่าความเสถียรภาพของเยื่อหุ้มซึ่งใช้ค่าการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์เป็นตัวบ่งชี้ พบว่าค่าการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์ที่ระยะดอกบาน 50% มีความแตกต่างกันทางสถติ **(Figure 4)** ซึ่งในทรีตเมนต์ H+DW มีการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.35% ซึ่งมีความแตกต่างกับทรีตเมนต์ UH+0.5 nM Br ที่มีการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์ต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.62% และใกล้เคียงกับทรีตเมนต์ UH+0.1 nM Br โดยมีค่าเท่ากับ 7.90% นอกจากนี้พบว่าเมื่อพ่นสาร Br ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันส่งผลทำให้การรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์ลดลงในสภาพ (UH) และลดลงมากที่สุดในทรีตเมนต์ UH+0.5 nM Br ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.62% เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่นในสภาพ UH และ H

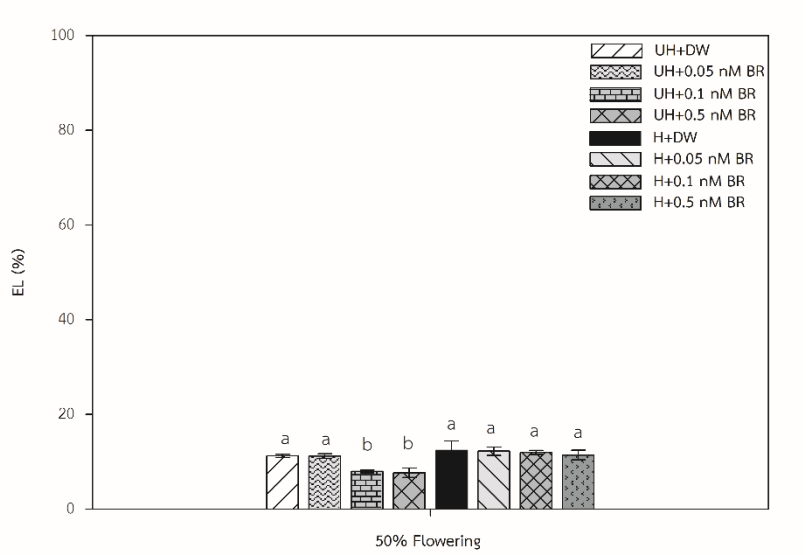

Figure 4 Effect of brassinosteroid on membrane stability indicated by electrolyte leakage in rice at 50% flowering under greenhouse (mean±SE, n=3-4). Small letters indicate significant difference of N22 exposed to high temperature (H) compared to normal temperature (UH) by Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) at 95%.

ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ต่อองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตในข้าวภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง

ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ (Br) ต่อองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตได้แก่ จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตต่อไร่ ของข้าวพันธุ์ N22 ที่ระยะดอกบาน 50% ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงดังแสดงใน **Table 1** พบว่าการให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ทำให้ จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อข้าวที่ได้รับสารบราสสิโนสเตียรอยด์ส่งผลต่อ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และผลผลิตต่อไร่ ทำให้มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูง (H) ส่งผลอย่างมากต่อจำนวนเมล็ดดีต่อรวงโดยในทรีตเมนต์ H+DW มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงน้อยที่สุดเท่ากับ 53.33 เมล็ดต่อรวงโดยเมื่อเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิปกติจำนวนเมล็ดดีต่อรวงลดลง 8.05% แต่เมื่อให้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ในทรีตเมนต์ H+0.5 nM Br ช่วยเพิ่มการติดเมล็ดของข้าวเพิ่มขึ้นมากถึง 20.40% โดยมีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงมากที่สุดเท่ากับ 67 เมล็ดต่อรวง และพบว่าในสภาพอุณหภูมิปกติ (UH) ของทรีตเมนต์ UH+0.5 nM Br พบว่ามีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงมากที่สุดเท่ากับ 73 เมล็ดต่อรวง เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่น สำหรับผลผลิตต่อไร่โดยสารบราสสิโนสเตียรอยด์ ทำให้ข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงมีผลิตที่เพิ่มขึ้น 45.51% พบในทรีตเมนต์ H+0.5 nM Br โดยมีผลผลิตเท่ากับ 464.25 กก./ไร่ เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้รับสราบราสสิโนสเตียรอยด์และให้อุณหภูมิสูง H+DW มีผลผลิตเท่ากับ 319.04 กก./ไร่ ซึ่งเป็นทรีตเมนต์ที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุด สำหรับทรีตเมนต์ UH+0.5 nM Br มีผลผลิตเท่ากับ 469.77 กก./ไร่ ซึ่งให้ผลผลิตมากที่สุดเมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่นทั้งในสภาพอุณหภูมิปกติ (UH) และสภาพให้อุณหภูมิสูง (H) **(Table 1)**

Table 1 Effect of brassinosteroid on yield component and yield such as number of tiller per hill, number of panicle per hill, total seed per panicle, number of filled seed per panicle, 1000-seed weight and yield per rai in rice cv. N22 at 50% flowering stage under high temperature (H) and normal temperature (UH) in greenhouse condition

	Number of tiller per hill	Number of panicle per hill	Total seed per panicle	Number of filled seed per panicle	1000-seed weight (g)	Yield (kg/rai)
UH+DW	15.25±0.25	14.00±0.41	89.75±3.07	58.00±1.87bc	19.54±0.61	365.28±9.85cd
UH+0.05 nM Br	15.00±0.41	13.50±0.50	93.00±1.87	62.25±1.49bc	20.25±1.13	382.74±7.21bc
UH+0.01 nM Br	15.75±0.48	14.50±0.29	95.00±2.61	64.50±2.06ab	20.15±0.44	439.06±9.81ab
UH+0.5 nM Br	16.50±0.87	14.75±0.48	99.50±4.95	73.00±3.56a	20.25±0.58	469.77±28.89a
H+DW	14.75±1.03	13.50±0.65	89.50±5.14	53.33±4.50bc	19.32±0.35	319.04±23.43d
H+0.05 nM Br	16.75±1.55	15.00±1.22	95.75±2.14	65.75±1.80ab	19.61±0.64	435.70±30.50ab
H+0.01 nM Br	16.50.±0.65	14.25±0.63	94.50±2.72	65.00±2.55ab	19.42±0.26	428.18±5.88ab
H+0.5 nM Br	17.50±1.32	15.50±0.96	97.00±5.60	67.00±5.72ab	19.76±0.33	464.25±7.80ab
Mean	16	14.38	94.25	63.6	19.79	413
F-test	ns	ns	ns	*	ns	**

** indicates significant difference at $p \leq 0.01$, * indicates significant difference at $p \leq 0.05$, the different small letters at the same column indicates significant difference of rice exposed to high temperature (H) compared to normal temperature (UH) by Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) at 95% and 99%, respectively. ns indicates non-significant difference.

วิจารณ์

การใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ในข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์จะช่วยรักษาประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสง รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง และความเสถียรของเยื่อหุ้มในสภาพอุณหภูมิสูง เนื่องจากอุณหภูมิสูงส่งผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชโดยเฉพาะความเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งทำให้เกิดการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลค์ เป็นผลทำให้สูญเสียความเสถียรภาพเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนสถานะจากของไหลเป็นของไหลมากขึ้น ส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Dongsansuk et al., 2021) ความเครียดจากอุณหภูมิสูงส่งผลทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนโครงสร้างชั้นไขมันที่เป็นองค์ประกอบเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ ส่งผลทำให้เกิดความเสียหาย (Higashi and Saito, 2019) ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ดังนั้นการพ่นด้วยสารบราสสิโนสเตียรอยด์ในข้าวที่สภาพอุณหภูมิสูง ทำให้มีการกระตุ้นการสังเคราะห์เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างคลอโรฟิลล์ (Siddiqui et al., 2019) จึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การพ่นด้วยสารบราสสิโนสเตียรอยด์ส่งผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายทอดอิเลคตรอน รวมถึงเพิ่มการผลิตพลังงานในรูป ATP ซึ่งสัมพันธ์กับการถ่ายทอดอิเลคตรอน (Zhang et al., 2014) เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูงทำให้การเปิดปากใบลดลง ลดการผ่านของก๊าซ CO_2 ในใบส่งผลต่อปฏิกิริยาการตรึง CO_2 ในวัฏจักร calvin ลดลง โดย CO_2 เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสร้างสาร glyceraldehyde 3-phosphate (Higashi and Saito, 2019) ซึ่งการพ่นด้วยสารบราสสิโนสเตียรอยด์ในข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ การชักนำการเปิดปิดปากใบ และอัตราการคายน้ำ จากการรายงานของ Sonjaroon et al. (2018) การใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ในข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงพบว่าสามารถเพิ่มค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 ได้แก่ ค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (*A*), ค่าการชักนำการ

เปิด-ปิดของปากใบ (g_s) และอัตราการคายน้ำ (E) การพ่นด้วยสารบราสสิโนสเตียรอยด์ส่งผลกระตุ้นต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์รวมที่มีอยู่ในพืช ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ (Siddiqui et al., 2018) ทั้งยังเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง การดูดก๊าซ CO_2 เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการตรึงก๊าซ CO_2 ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มสูงขึ้น (Zhang et al., 2014)

นอกจากนี้สารบราสสิโนสเตียรอยด์สามารถกระตุ้นให้พืชทนต่ออุณหภูมิสูงโดยป้องกันการเสื่อมสภาพของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ ซึ่งสารบราสสิโนสเตียรอยด์มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยการใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์จึงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต (Siddiqui et al., 2019) และเพิ่มผลผลิต รวมถึงการควบคุมกิจกรรมการตรึงก๊าซ CO_2 ของเอมไซม์ rubisco ให้เร่งปฏิกิริยา carboxylation ของ RuBP (Siddiqui et al., 2018) ด้วยเหตุนี้ในข้าวจึงพบว่ามีการสร้างและสะสมน้ำตาลกลูโคสในใบธงเพิ่มขึ้น มีผลต่อการขนส่งน้ำตาลกลูโคสและเปลี่ยนเป็นแป้งสะสมในเมล็ด ส่งผลทำให้ผลผลิตข้าวสูง (Zhang et al., 2014) ความเครียดจากอุณหภูมิสูงส่งผลต่อลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน ทำให้เยื่อหุ้มได้รับความเสียหายและเกิดการรั่วไหลของสารอิเลคโทรไลต์ ซึ่งการใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์มีผลต่อการลดลงของการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเยื่อหุ้มและส่งผลต่อการขนส่งไอออน รวมถึงความมีเสถียรภาพและกิจกรรมของเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันที่เพิ่มขึ้นจากการใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ซึ่งกระตุ้นการสร้างกรดปาลมิติก กรดโอเลอิก และกรดแกมมาไลโนเลนิก (Bajguz, 2019) เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูงจะมีการตอบสนองในระดับเซลล์โดยการผลิตและสะสมออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (ROS) ทำให้เกิดปฏิกิริยากับไขมันและเยื่อหุ้มภายในเซลล์ แต่การใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ส่งผลยับยั้งต่อการสร้างสารออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ รวมถึงลดความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวชักนำการควบคุมระบบการต้านสารอนุมูลอิสระเพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลภายใต้ความเครียดจากอุณหภูมิสูง ซึ่งเซลล์จะมีการตอบสนองด้วยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเช่น เอนไซม์แอสคอร์เบตเปอร์ออกซิเดส (APX) เอนไซม์คาตาเลส (CAT) เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (SOD) และวิตามินซี ซึ่งเพิ่มปริมาณมากขึ้นเมื่อมีการใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ (Bajguz, 2019) และมีการศึกษาในพืช *Arabidopsis thaliana* (L.) พบว่าสารบราสสิโนสเตียรอยด์กระตุ้นการทำงาน HSP90 และมีปริมาณ HSP90 เพิ่มมากขึ้นในสภาพอุณหภูมิสูง (37 °C) เมื่อเทียบกับสภาพอุณหภูมิต่ำ (4 °C) (Samakovli et al., 2014) นอกจากนี้การใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ยังกระตุ้นการทำงานการสร้างโปรตีน น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และรงควัตถุ (คลอโรฟิลล์ แคโรทีน และแซนโทฟิลล์) (Talarek-Karwel et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ในข้าวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงพบว่าปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่แตกต่างจากข้าวที่ได้รับอุณหภูมิปกติ

สารบราสสิโนสเตียรอยด์สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ โดยการศึกษาพบว่า สารบราสสิโนสเตียรอยด์ช่วยเพิ่มเมล็ดดีต่อรวง และผลผลิตของข้าว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Thassagunpanit et al. (2015) พบว่าผลผลิตข้าวที่เพิ่มขึ้นมาจากความมีชีวิตของละอองเกสรเพศผู้ และการติดเมล็ดของข้าวสูงขึ้น ซึ่งความเครียดจากอุณหภูมิสูงในช่วงระยะการผสมเกสรส่งผลกระทบต่อความมีชีวิตของเกสรเพศผู้ลดลง และท่อนำไข่ของเพศเมียมีขนาดเล็กและลีบส่งผลต่อความสามารถในการสืบพันธุ์ ทำให้ไม่เกิดการปฏิสนธิเป็นผลต่อการเป็นหมัน โดยเมื่อข้าวได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงอย่างน้อยเป็นเวลา 1 วัน ภายในระยะการผสมเกสรส่งผลต่อเปลี่ยนแปลงการสร้างเซลล์เอนโดสเปิร์ม และท่อเกสรที่มีขนาดเล็กลงไม่สามารถส่งละอองเกสรไปถึงบริเวณไมโครไพลาร์ของรังไข่ได้ (Jagadish, 2010) การที่ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นภายใต้ความเครียดจากอุณหภูมิสูง เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์และการปรับสภาพของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเพิ่มน้ำหนักของเมล็ด ซึ่งมาจากการเคลื่อนย้ายการขนส่งน้ำตาลจากแหล่งสร้างอาหารไปยังอวัยวะที่สะสมอาหารมากขึ้น (Sonjaroon et al., 2018)

สรุป

จากการศึกษาการใช้สารบราสิโนสเตียรอยด์ในข้าวพันธุ์ N22 ที่ระยะดอกบาน 50% ซึ่งให้อุณหภูมิสูงที่ 42 °C เป็นเวลา 7 วัน ในสภาพเรือนทดลอง เมื่อข้าวได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ระยะดอกบาน 50% ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าว โดยส่งผลต่อเยื่อหุ้มต่าง ๆ ภายในเซลล์ถูกทำลาย เนื่องจากกระบวนการลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน และส่งผลทำให้เกิดการทำลายรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ฝังตัวในเยื่อหุ้มไทลาคอยล์ นอกจากนี้อุณหภูมิสูงส่งผลทำให้ปากใบปิด ลดการไหลผ่านของก๊าซ CO_2 จึงส่งผลทำให้ค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง การสร้างอาหารลดลง และทำให้ผลผลิตข้าวลดลง ดังนั้นเมื่อทำการพ่นด้วยสารบราสสิโนสเตียรอยด์ช่วยเพิ่มความทนต่อความเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยช่วยคงสภาพเยื่อหุ้มภายในเซลล์ไม่ให้เกิดการสูญเสียสภาพ สามารถชะลอการเสื่อมสภาพหรือป้องกันการทำลายรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น สร้างอาหารเพิ่มขึ้น และนำไปสู่ผลผลิตของข้าวเพิ่มสูงขึ้นภายใต้ความเครียดจากอุณหภูมิสูง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนวิจัย KKU Research and Graduate Affair for funding the Research Program RP64-11-001 และกลุ่มวิจัยข้าวทนเค็ม มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และสาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยในการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ณัฐชยา ลิมโกมลวิลาศ, วีรศิลป์ สอนจรูญ, อรอุษา คาสุข และคณพล จุฑามณี. 2561. ผลของบราสสิโนสเตียรอยด์แอนาลอก ต่อการงอกละอองเรณูและการติดเมล็ดของข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ในระยะตั้งท้อง ภายใต้ภาวะเครียดจากความร้อน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 36: 124-131.

สุชาดา บุญเลิศนิรันดร์, ละอองศรี ศิริเกสร และกิตติ บุญเลิศนิรันดร. 2561. ผลของไคโตซานต่อผลผลิตของข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงในช่วง ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ กัน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 36(2): 73-84.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenoloxidase in Betavalgaris. Plant Physiology. 24:1–15.

Bajguz, A. 2019. Brassinosteroids in microalgae: application for growth improvement and protection against abiotic stresses, plant growth and development. Springer Nature Singapore. pp 45–58.

Bajracharya, D. 1999. Experiments in plant physiology: A laboratory manual. New Delhi, India: Norasa Publishing House.

Bajji, M., J.M. Kinet, and S. Lutts. 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. Plant Growth Regulation. 36: 61–70.

Chen, Y., H. Chen, J. Xiang, Y. Zhang, Z. Wang, D. Zhu, J. Wang, Y. Zhang, and Y. Wang. 2021. Rice spikelet formation inhibition caused by decreased sugar utilization under high temperature is associated with brassinolide decomposition. Environmental and Experimental Botany. 190: 1-12.

Dongsansuk, A., W. Paethaisong, and P. Theerakulpisut. 2021. Membrane stability and antioxidant enzyme activity of rice seedlings in response to short-term high temperature treatments. Chilean Journal of Agriculture Research. 81(4): 607-617.

Higashi, Y., and K. Saito. 2019. Lipidomic studies of membrane glycerolipids in plant leaves under heat stress. Progress in Lipid Research. 75: 1-15.

Jagadish, S.V.K., R. Mathurajan, R. Oane, T.R. Wheeler, S. Heuer, J. Bennett, and P.Q. Carufurd. 2010. Physiological and proteomic approaches to approaches to address heat tolerance during anthesis in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Experimental Botany. 61: 143-156.

Li, N., D. Euring, J.Y. Cha, Z. Lin, M. Lu, L. J. Huang, and W.Y. Kim. 2021. Plant hormone-mediated regulation of heat tolerance in response to global climate change. Frontiers in Plant Science. 11: 2318.

Poli, Y., R.K. Basava, M. Panigrahy, V.P. Vinukonda, N.R. Dokula, S.R. Voleti, S. Desiraju, and S. Neelamraju. 2013. Characterization of a Nagina22 rice mutant for heat tolerance and mapping of yield traits. Rice. 6: 36–42.

Prasertthai, P., W. Paethaisong, P. Theerakulpisut, and A. Dongsansuk. 2022. High temperature alters leaf lipid membrane composition associated with photochemistry of *PSII* and membrane thermostability in rice seedlings. Plants. 11(1454): 1-15.

Samakovli, D., T. Margaritopoulou, C. Prassinos, D. Milioni, and P. Hatzopoulos. 2014. Brassinosteroid nuclear signaling recruits HSP90 activity. New Phytologist. 203: 743–757.

Siddiqui, H., F. Sami, M. Faizan, A. Faraz, and S. Hayat. 2019. Brassinosteroid mediated regulation of photosynthesis in plants. In Brassinosteroids: Plant Growth and Development. Springer Nature Singapore. 185-217.

Siddiqui, H., S. Haya, and A. Bajguz. 2018. Regulation of photosynthesis by brassinosteroids in plants. Acta Physiologiae Plantarum. 40: 59.

Sonjaroon, W., K. Jutamanee, O. Khamsuk, J. Thussagunpanit, L. Kaveeta, and A. Suksamrarnd. 2018. Impact of brassinosteroid mimic on photosynthesis, carbohydrate content and rice seed set at reproductive stage under heat stress. Agriculture and Natural Resources. 52: 234-240.

Talarek-Karwel, M., A. Bajguz, A. Piotrowska-Niczyporuk, and I. Rajewska. 2018. The effect of 24-epibrassinolide on the green alga Acutodesmus obliquus (Chlorophyceae). Plant Physiology and Biochemistry. 124: 175–183.

Thussagunpanit, J., K. Jutamanee, L. Kaveeta, W. Chai-arree, P. Pankean, S. Homvisasevongsa, and A. Suksamrarn. 2015. Comparative effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on improving photosynthesis, lipid peroxidation, and rice seed set under heat stress. Journal of Plant Growth Regulation. 34: 320–331.

Wahid, A., and A. Shabbir. 2005. Induction of heat stress tolerance in barley seedlings by pre-sowing seed treatment with glycinebetaine. Plant Growth Regulation. 46: 133–141.

Xu, Y., C. Chu, and S. Yao. 2021. The impact of high-temperature stress on rice: Challenges and solutions. The Crop Journal. 9: 963-976.

Zhang, C., M. Bai, and K. Chong. 2014. Brassinosteroid-mediated regulation of agronomic traits in rice. Plant Cell Reports. 33: 683–696.