ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อสรีรวิทยา เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และปริมาณแอนโทไซยานินในใบข้าวเหนียวดำภายใต้สภาวะแล้ง

Effects of Abscisic Acid and Hydrogen Peroxide on Physiology, Carbohydrate Metabolism and Anthocyanin Content in Leaves of Purple Glutinous Rice under Drought Stress

ปาริชาติ ศิลาเลิศ (Parichart Silalert)* ดร.วัฒนา พัฒนากูล (Dr.Wattana Pattanagul)**

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อสรีรวิทยา เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และปริมาณแอนโทไซยานินในใบข้าวเหนียวดำพันธุ์ GS. No. 00621 โดยปลูกข้าวเหนียวดำจนอายุ 21 วัน แบ่งเป็น 5 กลุ่ม คือกลุ่มควบคุม ซึ่งพ่นทางใบด้วยน้ำกลั่นแล้วรดน้ำตามปกติ, กลุ่มสภาวะแล้ง ซึ่งพ่นทางใบด้วยน้ำกลั่นแล้วงดให้น้ำ, กลุ่มที่พ่นทางใบด้วย ABA ความเข้มข้น 20 mg/l แล้วงดให้น้ำ, กลุ่มที่พ่นทางใบด้วย H_2O_2 ความเข้มข้น 1 mM แล้วงดให้น้ำ และกลุ่มที่พ่นทางใบด้วย ABA ความเข้มข้น 20 mg/l ร่วมกับ H_2O_2 ความเข้มข้น 1 mM แล้วงดให้น้ำ โดยงดให้น้ำเป็นเวลา 7 วัน ผลการศึกษาพบว่า สภาวะแล้งทำให้การเจริญเติบโตของข้าวเหนียวดำลดลง เช่นเดียวกับปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและปริมาณคลอโรฟิลล์เอ แต่ส่งผลให้มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น การพ่นทางใบด้วย H_2O_2 ส่งผลให้ข้าวเหนียวดำมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณแอนโทไซยานินและปริมาณแป้งในใบ ในขณะที่การพ่นทางใบด้วย ABA เพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินในใบ

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effects of ABA and H_2O_2 on physiology, carbohydrate metabolism and anthocyanin content in leaves of purple glutinous rice cv. GS. No. 00621. Rice seedlings were grown for 21 days and separated into 5 groups including control, drought, ABA, H_2O_2 and ABA+H_2O_2. Control and drought groups were foliar-sprayed with distilled water while ABA, H_2O_2 and ABA+H_2O_2 were foliar-sprayed with 20 mg/l ABA, 1 mM H_2O_2 and 20 mg/l ABA with 1 mM H_2O_2 respectively. Control group was watered daily while the others were subjected to drought stress by withholding water for 7 days. Drought stress reduced growth of purple glutinous rice as well as relative water content and chlorophyll-a content but increasing in anthocyanin content. Foliar sprayed with H_2O_2 enhanced chlorophyll-a, chlorophyll-b and total chlorophyll content as well as anthocyanin content and starch content in the leaves. Nevertheless, foliar sprayed with ABA had no effect on anthocyanin content in leaves.

คำสำคัญ: กรดแอบซิซิก ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ แอนโทไซยานิน

Keywords: Abscisic acid, Hydrogen peroxide, Anthocyanin

** นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

บทนำ

ข้าวเหนียวดำ (purple glutinous rice) หรือเรียกตามภาษาพื้นเมืองของทางเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือว่า ข้าวก่ำ คือ ข้าวเหนียวที่มีเมล็ดสีม่วงดำจนถึงแดงก่ำ เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกทั่วไปทุกภูมิภาคของประเทศ ส่วนใหญ่นิยมนำข้าวเหนียวดำมาบริโภคในรูปของอาหารหวาน เช่น ข้าวหลาม ข้าวเหนียวสังขยา หรือในรูปของอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ธัญญาหารข้าวเหนียวดำอบกรอบ เครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูป เป็นต้น ปัจจุบันประชาชนหันมานิยมบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น การนำข้าวเหนียวดำมาพัฒนาให้เป็นหนึ่งในอาหารเพื่อสุขภาพ หรือเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์บำรุงสุขภาพ ยา เครื่องสำอางและเวชภัณฑ์ต่างๆ จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวเหนียวดำได้อีกทางหนึ่ง ในข้าวเหนียวดำมีสารแกมมา-โอไรซานอล (gamma oryzanol) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงลดการดูดซึมคลอเรสเตอรอล นอกจากนี้ในข้าวเหนียวดำยังมีสารสีที่สำคัญคือ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นสารสีที่พบในพืชผักผลไม้หลายชนิด ในปัจจุบันพบว่าสารสีชนิดนี้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ โดยการทำให้อนุมูลอิสระที่สามารถสร้างความเสียหายให้แก่เซลล์และเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง ช่วยการหมุนเวียนของกระแสโลหิต ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย มีรายงานว่า สารแอนโทไซยานินสามารถลดการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจได้ (Mazza, 2007) นอกจากนี้ยังพบว่าการได้รับสารแอนโทไซยา นินในปริมาณสูงอาจจะสามารถลดโอกาสในการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดได้ในหญิงวัยกลางคน (Cassidy et al., 2013)

การสะสมแอนโทไซยานินในข้าวจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดปริมาณการสร้างและสะสมแอนโทไซยานิน ซึ่งแอนโทไซยานินในข้าวมีบทบาทสำคัญคือ ช่วยเสริมความทนทานต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ดียิ่งขึ้น หน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของแอนโทไซยานินที่สะสมในใบคือการป้องกันอันตรายจากสภาวะที่มีความเข้มของแสงที่สูงเกินไป (photoinhibition) ซึ่งพบว่าพืชจะมีการสะสมแอนโทไซยานินในปริมาณที่สูงขึ้นเมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มสูง หรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต นอกจากนี้ยังเชื่อว่าแอนโทไซยานินในใบอาจทำหน้าที่ในการกำจัดสารอนุมูลอิสระ ที่พืชสร้างขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียด จากหลักฐานต่าง ๆ ที่กล่าวมาทำให้เชื่อว่าการสะสมแอนโทไซยานินเป็นกลไกหนึ่งในการป้องกันตัวเองของพืชจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Steyn et al., 2002)

สภาวะแล้ง (drought stress) ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในพืชหลายประการ เช่น ปริมาณน้ำในเซลล์ที่ลดลง ทำให้พืชไม่สามารถรักษาแรงดันเต่งของเซลล์ ส่งผลให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักลง การปิดปากใบ เพื่อลดการสูญเสียน้ำภายในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา โดยการม้วนของใบ หรือลดจำนวนใบ เพื่อลดอัตราการคายน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าพืชบางชนิดมีความสามารถในการสร้างและสะสมตัวถูกละลายที่ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ เช่น โพรลีน น้ำตาล น้ำตาลแอลกอฮอล์ ไกลซีนบีเทน เป็นต้น การสะสมตัวถูกละลายเหล่านี้ส่งผลให้พืชสามารถรักษาศักย์ของน้ำในเซลล์ให้ต่ำกว่าศักย์ของน้ำภายนอกเซลล์ ทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแล้งของพืช คือ กรดแอบซิซิกซึ่งจะเพิ่มสูงขึ้นภายในระยะเวลาไม่นานหลังจากที่พืชเริ่มอยู่ในสภาวะแล้ง ผลที่เห็นได้เด่นชัดของกรดแอบซิซิก คือ กระตุ้นการปิดปากใบ นอกจากนี้ยังพบว่า กรดแอบซิซิกมีผลต่อการแสดงออกของยีนหลายตัว ที่ทำให้พืชสามารถปรับตัวอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อไปได้ระยะหนึ่ง (Chandler and Robertson, 1994) ซึ่งกรดแอบซิซิกมีผลในการกระตุ้นให้มีการสะสมตัวถูกละลายบางชนิด เช่น โพรลีน น้ำตาลแอลกอฮอล์ หรือน้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้น เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในเซลล์ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า กรดแอบซิซิกมีบทบาทสำคัญในการชักนำให้มีการสะสมแอนโทไซยา

นินในใบข้าวเพิ่มขึ้น โดยพบว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสะสมแอนโทไซยานินในใบพืช (Hung et al., 2008)

เมื่อพืชอยู่ในสภาวะแล้งส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เกิดสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species; ROS) ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างรุนแรง ที่สามารถทำลายโมเลกุลของสารต่าง ๆ เช่น ดีเอ็นเอ โปรตีน เยื่อหุ้มเซลล์ รวมทั้งโครงสร้างของเซลล์พืช ซึ่งพบว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการของการเกิด ROS มีบทบาทสำคัญในการเป็นโมเลกุลสัญญาณภายใต้สภาวะเครียดต่างๆ ในพืช มีรายงานว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ช่วยให้ใบข้าวมีการสะสมแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้น (Hung et al., 2008) อาจทำให้พืชทนต่อสภาวะแล้งได้ดีขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อสรีรวิทยา เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และปริมาณแอนโทไซยานินในใบข้าวเหนียวดำภายใต้สภาวะแล้ง

วิธีการวิจัย

ตัวอย่างพืชและการปลูก

นำเมล็ดข้าวเหนียวดำพันธุ์ GS. No. 00621 โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ปรเมศ บรรเทิง ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร สาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น คัดเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ ล้างให้สะอาดแล้วนำเมล็ดมาแช่ลงในน้ำกลั่นที่ปราศจากอิออน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพาะเมล็ดในจานเพาะเชื้อ โดยใช้กระดาษกรองรองภาชนะพรมน้ำให้ชุ่มเป็นเวลา 4 วัน เมื่อเมล็ดมีรากเกิดขึ้น ย้ายไปปลูกในกระถางพลาสติกบรรจุดิน นำไปวางในเรือนเพาะชำที่มีแสงตามธรรมชาติ รดน้ำกระถางละ 500 มิลลิลิตร เมื่อต้นกล้ามีอายุครบ 21 วัน แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 4 กระถาง กระถางละ 10 ต้น คือ กลุ่มควบคุม ซึ่งพ่นทางใบด้วยน้ำกลั่นแล้วรดน้ำตามปกติ, กลุ่มสภาวะแล้ง ซึ่งพ่นทางใบด้วยน้ำกลั่นแล้วงดให้น้ำ, กลุ่มที่พ่นทางใบด้วย ABA ความเข้มข้น 20 mg/l แล้วงดให้น้ำ, กลุ่มที่พ่นทางใบด้วย H_2O_2 ความเข้มข้น 1 mM แล้วงดให้น้ำ และกลุ่มที่พ่นทางใบด้วย ABA ความเข้มข้น 20 mg/l ร่วมกับ H_2O_2 ความเข้มข้น 1 mM แล้วงดให้น้ำ งดให้น้ำเป็นเวลา 7 วัน

ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของพืช

สุ่มตัวอย่างพืชจำนวน 4 ต้น จากแต่ละกลุ่มทดลอง ล้างดินบริเวณราก วัดความยาวของลำต้นและราก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักสดของลำต้นและราก แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 ºC เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก

หาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ โดยสุ่มใบที่สามที่ขยายเต็มที่ ตัดใบพืชสดให้มีขนาดประมาณ 0.5×0.5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น บันทึกน้ำหนักสด นำไปแช่ในน้ำกลั่นที่ปราศจากอิออน เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซับให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักที่มีน้ำอิ่มตัว จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 ºC เป็นเวลา 72 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักแห้ง คำนวณหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบตามวิธีของ Turner (1981)

หาร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้ตัวอย่างใบพืชใบเดียวกับการหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ นำตัวอย่างใบพืชสดประมาณ 20 มิลลิกรัม ตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นปราศจากอิออน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง electrical conductivity meter จะได้ค่า EC_1 จากนั้นนำหลอดทดลองไปต้มในเครื่องอุ่นสารด้วยความร้อนแห้ง เป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น นำมาวัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้ง จะได้ค่า EC_2 นำค่าทั้งสองมาคำนวณ หาร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ตามวิธีของ Baninasab and Ghobadi (2011)

หาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ โดยสุ่มใบที่สามที่ขยายเต็มที่ นำตัวอย่างใบพืชสดประมาณ 30 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด เติม 80% acetone

ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำสารละลายที่สกัดได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องspectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีของ Arnon (1949)

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินในใบพืช

นำตัวอย่างใบพืชสดประมาณ 30 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด เติม acidified methanol ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำสารละลายที่สกัดได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของ Abdel-Aal and Hucl (1999)

วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบพืช

นำตัวอย่างใบพืชสดประมาณ 50 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติม ethanol ความเข้มข้น 80% ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 65 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อสกัดน้ำตาลออกจากใบพืช เก็บสารละลายใส่ในหลอดใหม่ สกัดซ้ำ 3 ครั้ง จนได้สารละลายครบ 9 มิลลิลิตร นำสารละลายที่สกัดได้ไปหาปริมาณน้ำตาล ส่วนใบพืชที่สกัดน้ำตาลออกหมดแล้วนำไปหาปริมาณแป้ง

หาปริมาณน้ำตาลรวม ด้วยวิธี phenol-sulfuric นำสารละลายที่สกัดจากใบพืช ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม phenol ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และเติม sulfuric acid ความเข้มข้น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรวมโดยเทียบกับสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (Dubois et al., 1956) จากนั้นหาปริมาณน้ำตาลซูโครส ด้วยวิธี resorcinol-HCl โดยนำสารละลายที่สกัดจากใบพืช ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม NaOH ความเข้มข้น 0.2 N ปริมาตร 100 ไมโครลิตร นำไปต้มในเครื่องอุ่นสารด้วยความร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลา 10 นาที เพื่อทำให้ฟรุกโตสเกิดการสลายตัว จากนั้นเติม resorcinol ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 250 ไมโครลิตร และเติม HCl ความเข้มข้น 30% ปริมาตร 750 ไมโครลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 80 ºC เป็นเวลา 10 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร หาปริมาณน้ำตาลซูโครส โดยเทียบกับสารละลายน้ำตาลซูโครสมาตรฐาน (Robbins and Pharr, 1987) จากนั้นหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เอนไซม์ hexokinase และ glucose-6-phosphate dehydrogenase โดยนำสารละลายที่สกัดได้ 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม glucose assay mixture ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 30 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสโดยเทียบกับสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (Madore, 1990) จากนั้นนำตัวอย่างใบพืชที่สกัดน้ำตาลออกหมดแล้ว มาหาปริมาณแป้ง โดยเติม KOH ความเข้มข้น 2 N ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ลงในตัวอย่างใบพืช นำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 90 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปรับ pH โดยเติม acetic acid ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 600 ไมโครลิตร จากนั้นย่อยแป้งโดยเติมเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 45 ºC เขย่าทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดูดตัวอย่างที่ย่อยแล้ว ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใส่หลอดทดลอง จากนั้นทำการหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เกิดขึ้นจากการย่อยแป้งตามวิธีของ Madore (1990)

ผลการวิจัย

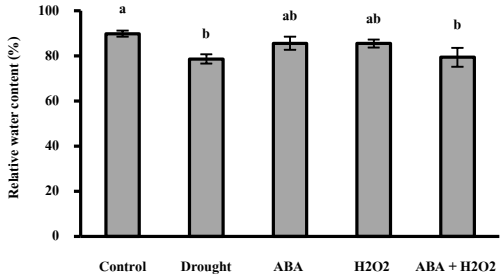
ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวเหนียวดำ

สภาวะแล้งส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวเหนียวดำลดลง โดยพบว่าทั้งความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นและ

รากมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในขณะที่การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิก, ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ส่งผลให้ข้าวเหนียวดำมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง (ตารางที่ 1)

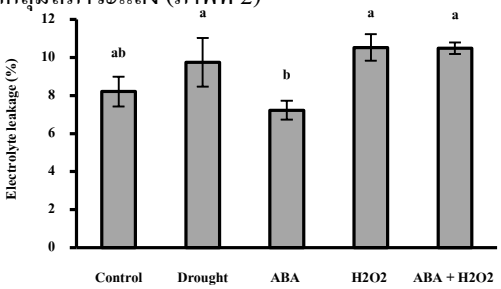
ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์และร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในใบ

เมื่อข้าวเหนียวดำอยู่ในสภาวะแล้ง พบว่าจะมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับการพ่นสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกส่งผลให้มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบไม่แตกต่างจากกลุ่มสภาวะแล้ง เช่นเดียวกับการพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และการพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าวเหนียวดำภายใต้สภาวะแล้ง (n=4 ± SE) Different letter mean significant differences at $P<0.05$

จากการวิเคราะห์ค่าร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาพความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์พืช พบว่า ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีค่าร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกส่งผลให้มีค่าร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง ($P<0.05$) ในขณะที่การพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และการพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ พบว่ามีค่าร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ไม่แตกต่างจากกลุ่มสภาวะแล้ง (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในใบข้าวเหนียวดำภายใต้สภาวะแล้ง (n=4 ± SE) Different letter mean significant differences at $P<0.05$

ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

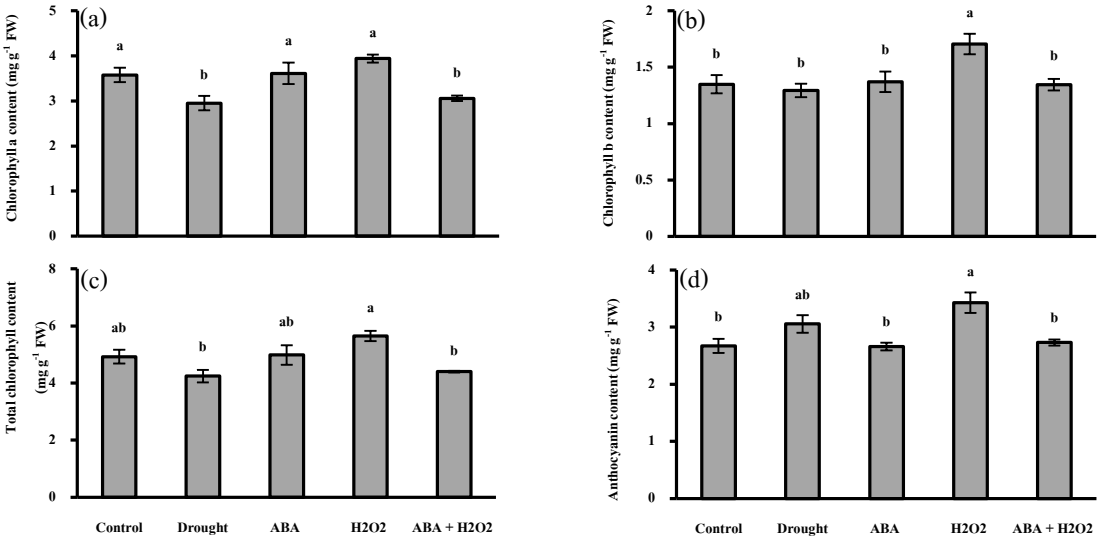
เมื่อข้าวเหนียวดำอยู่ในสภาวะแล้ง จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิก และการพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง ($P<0.05$) ในขณะที่การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่แตกต่างจากกลุ่มสภาวะแล้ง (ภาพที่ 3a)

ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้ง จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง ($P<0.05$) ในขณะที่การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิก และการพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์บีไม่แตกต่างจากกลุ่มสภาวะแล้ง (ภาพที่ 3b)

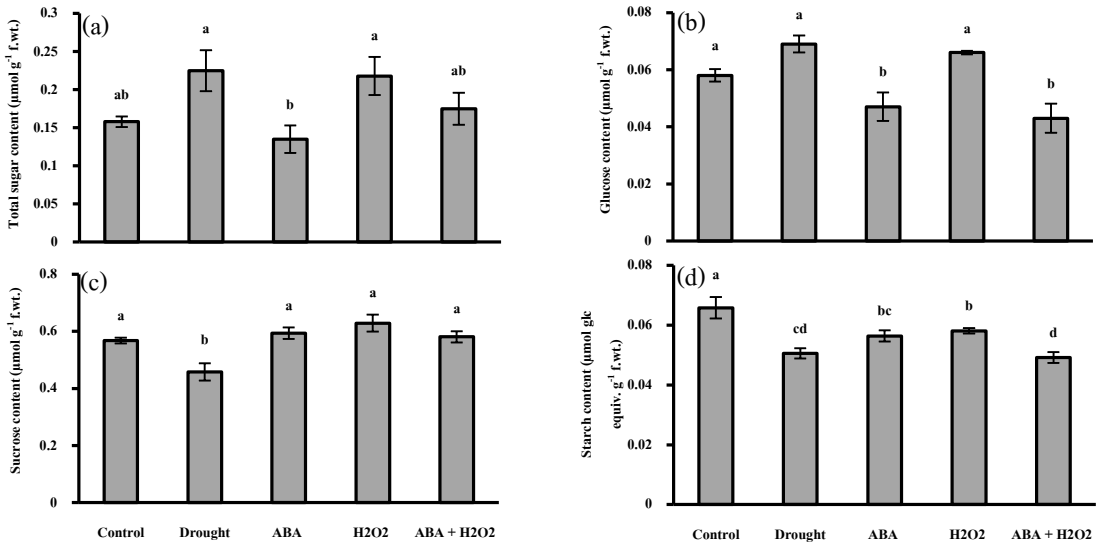
ตารางที่ 1 ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวเหนียวดำภายใต้สภาวะแล้ง

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักสดลำต้น (mg plant^{-1})	น้ำหนักแห้งลำต้น (mg plant^{-1})	น้ำหนักสดราก (mg plant^{-1})	น้ำหนักแห้งราก (mg plant^{-1})	ความยาวลำต้น (cm)	ความยาวราก (cm)
Control	862.50 ± 23.93^{a}	255.00 ± 15.54^{a}	130.00 ± 7.07^{a}	42.50 ± 2.50^{a}	68.67 ± 1.25^{a}	21.00 ± 1.83^{a}
Drought	462.50 ± 37.27^{c}	127.50 ± 8.53^{c}	32.50 ± 2.50^{c}	17.50 ± 4.78^{b}	53.50 ± 3.10^{b}	11.17 ± 0.56^{c}
ABA	640.00 ± 12.91^{b}	205.00 ± 6.45^{b}	60.00 ± 4.08^{b}	20.00 ± 4.08^{b}	59.35 ± 2.16^{b}	14.57 ± 1.06^{bc}
H_2O_2	587.50 ± 17.01^{b}	185.00 ± 6.45^{b}	77.50 ± 7.50^{b}	25.00 ± 2.88^{b}	58.90 ± 2.42^{b}	12.20 ± 1.20^{bc}
ABA + H_2O_2	560.00 ± 57.73^{bc}	180.00 ± 9.12^{b}	65.00 ± 6.45^{b}	20.00 ± 4.08^{b}	53.97 ± 5.01^{b}	15.52 ± 0.48^{b}

Mean ± SE (n=4) The Duncan's multiple range test at P<0.05 level of significance. Different letter mean significant differences at P<0.05



ภาพที่ 3 ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อ (a) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, (b) ปริมาณคลอโรฟิลล์บี, (c) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และ (d) ปริมาณแอนโทไซยานินในใบข้าวเหนียวดำภายใต้สภาวะแล้ง (n=4 ± SE) Different letter mean significant differences at P<0.05



ภาพที่ 4 ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อ (a) ปริมาณน้ำตาลรวม, (b) ปริมาณน้ำตาลกลูโคส, (c) ปริมาณน้ำตาลซูโครส และ (d) ปริมาณแป้งในใบข้าวเหนียวดำภายใต้สภาวะแล้ง (n=4 ± SE) Different letter mean significant differences at P<0.05

ในส่วนของปริมาณคลอโรฟิลล์รวม พบว่า ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิก และการพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้งแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับการพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มสภาวะแล้ง (ภาพที่ 3c)

ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อปริมาณแอนโทไซยานินในใบ

เมื่อข้าวเหนียวดำอยู่ในสภาวะแล้ง พบว่าจะมีปริมาณแอนโทไซยานินในใบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ส่งผลให้ข้าวเหนียวดำมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้งแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิก และการพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ พบว่า ส่งผลให้มีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้งแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 3d)

ผลของกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในใบ

ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้ง จะมีปริมาณน้ำตาลรวมและน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิก ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรวมและน้ำตาลกลูโคสลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง ($P<0.05$) การพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรวมและน้ำตาลกลูโคสไม่แตกต่างจากกลุ่มสภาวะแล้ง ในขณะที่การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ส่งผลให้ข้าวเหนียวดำมีปริมาณน้ำตาลรวมไม่แตกต่างจากกลุ่มสภาวะแล้ง แต่ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง ($P<0.05$) (ภาพที่ 4a และ 4b)

ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิก จะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง ($P<0.05$) เช่นเดียวกับการพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และการพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (ภาพที่ 4c) นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้ง จะมีปริมาณแป้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ได้รับสารกับกลุ่มสภาวะแล้ง พบว่า การพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิก และการพ่นทางใบด้วยกรดแอบซิซิกร่วมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ส่งผลให้มีปริมาณแป้งไม่แตกต่างจากกลุ่มสภาวะแล้ง ในขณะที่การพ่นทางใบด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ส่งผลให้ข้าวเหนียวดำมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง ($P<0.05$) (ภาพที่ 4d)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

สภาวะแล้งส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวเหนียวดำลดลง เห็นได้จากความยาว น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพืชอยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณน้ำในเซลล์ลดลง ส่งผลให้แรงดันเต่งของเซลล์ลดลง ซึ่งทำให้เซลล์ไม่สามารถขยายตัวและเจริญเติบโตได้เต็มที่ นอกจากนี้สภาวะแล้งอาจส่งผลให้เกิดการปิดปากใบ ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อของ

ใบ ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดต่ำลง ซึ่งทำให้การเจริญเติบโตในภาพรวมลดลง

ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีค่าร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สูงขึ้น รวมทั้งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Farooq et al. (2009) ที่รายงานว่า ข้าวที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบลดลง และมีค่าร้อยละการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะแล้งชักนำให้เกิดสภาวะเครียดจากค่าศักย์ออสโมติกภายในเซลล์ ที่อาจทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ อันเป็นสาเหตุที่นำไปสู่การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chutia and Borah (2012) ที่รายงานว่า ข้าวที่อยู่ในสภาวะเครียดจากน้ำจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพืชเกิดความเครียดแล้ง จะเกิดสารอนุมูลอิสระและสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งสารเหล่านี้มีผลเสียต่อเซลล์พืช โดยสามารถทำลายโครงสร้างต่าง ๆ ภายในเซลล์ โดยเฉพาะไทลาคอยด์เมมเบรน ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดต่ำลง

ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลหลักจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นเมื่อพืชอยู่ในสภาวะแล้ง พืชมีการปิดปากใบ ส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถแพร่เข้าสู่ใบได้ ทำให้มีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลง สภาวะแล้งยังส่งผลให้ข้าวเหนียวดำมีปริมาณแป้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Mohammadkhani and Heidari (2008) ที่รายงานว่ารากและต้นข้าวโพดจะมีปริมาณแป้งลดลงเมื่ออยู่ในสภาวะแล้ง ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างแป้งในพืชเกิดขึ้นในส่วนของพลาสติด ไม่ว่าจะเป็นคลอโรพลาสต์หรืออะไมโลพลาสต์ ดังนั้นเมื่อโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ถูกทำลาย จึงทำให้มีการสร้างแป้งลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณน้ำตาลรวมและน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้น ซึ่งการสะสมน้ำตาลบางชนิดส่งผลให้พืชสามารถรักษาศักย์ของน้ำในเซลล์ให้ต่ำกว่าศักย์ของน้ำภายนอกเซลล์ ทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง

สภาวะแล้งส่งผลให้ข้าวเหนียวดำมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในฝ้าย (*Gossypium herbaceum* L.) ที่พบว่าจะมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น 4 เท่าเมื่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเท่ากับร้อยละ 35 (Deeba et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าใน *Arabidopsis thaliana* ที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้น 2-3 เท่า (Sperdouli and Moustakas, 2012) ทั้งนี้แอนโทไซยานินที่สะสมในใบมีบทบาทเกี่ยวข้องกับกลไกการทนต่อสภาวะเครียดต่าง ๆ ในพืช (Chalker-Scott, 1999) บทบาทหน้าที่ของแอนโทไซยานินคือ ทำหน้าที่กรองรังสีอัลตราไวโอเล็ตและลดปริมาณแสงที่มากเกินไป ทั้งนี้เมื่อพืชอยู่ในสภาวะแล้งจะมีการปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ จึงมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในใบลดลง ในขณะที่พืชยังคงได้รับแสงตลอดเวลาทำให้เกิดการสร้าง NADPH เพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณ NADPH ไม่สมดุลกับอัตราการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะส่งผลให้เกิดสารอนุมูลอิสระและสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งสารเหล่านี้จะส่งผลทำลายโครงสร้างในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและโครงสร้างของเซลล์ การลดปริมาณแสงที่เข้าสู่ใบจึงเป็นกลไกสำคัญหนึ่งในการลดปริมาณพลังงาน เพื่อลดการสร้าง NADPH ให้น้อยลง (Manetas, 2006)

กรดแอบซิซิกเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีความสำคัญในกลไกการทนแล้งของพืช โดยกรดแอบซิซิกมีบทบาทในการกระตุ้นให้พืชปิดปากใบเมื่ออยู่ในสภาวะแล้งเพื่อลดการสูญเสียน้ำ กรดแอบซิซิกยังทำหน้าที่กระตุ้นการแสดงออกของยีนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกลไกการทนต่อสภาวะเครียดของพืช ในการทดลองนี้พบว่ากรดแอบซิซิกช่วยลดค่าร้อยละการ

รั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ รวมทั้งช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบ อย่างไรก็ตาม ในการทดลองครั้งนี้ พบว่ากรดแอบซิซิกไม่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินในใบของข้าวเหนียวดำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณหรือความเข้มข้นที่ใช้ยังไม่เหมาะสม

สำหรับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลสัญญาณไปกระตุ้นกลไกต้านอนุมูลอิสระ ทำให้พืชสามารถตอบสนองและทนต่อสภาวะเครียดต่าง ๆ ได้ดีขึ้น มีรายงานว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์มีบทบาทสำคัญช่วยให้ข้าวสาลีระยะต้นกล้าทนต่อสภาวะเครียดเกลือได้ดีขึ้น และช่วยทำให้การเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชดีขึ้น (Li et al., 2011) ในการทดลองนี้ พบว่า ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ช่วยให้ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้ง นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ช่วยให้ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Hung et al. (2008) ที่ศึกษาการให้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์แก่ต้นกล้าข้าว พบว่ากลุ่มที่ให้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะปริมาณแอนโทไซยานินในใบข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ให้น้ำกลั่น

จากผลการศึกษาดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีการเจริญเติบโตลดลง แต่มีการสะสมน้ำตาลรวม และน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งการสะสมของน้ำตาลในพืชเป็นกลไกหนึ่งในการทนต่อสภาวะแล้งของพืช นอกจากนี้ยังสรุปได้ว่า ทั้งกรดแอบซิซิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ มีบทบาทสำคัญในการทนต่อสภาวะแล้งของพืช โดยกรดแอบซิซิกทำให้พืชมีการปรับตัวทางสรีรวิทยา เช่น ปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลสัญญาณในการกระตุ้นกลไกต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทนต่อสภาวะแล้ง อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้พบว่ากรดแอบซิซิกไม่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินในใบของข้าวเหนียวดำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณและความเข้มข้นที่ใช้ยังไม่เหมาะสมหรืออาจเกิดจากการตอบสนองของตัวพืชเอง จึงอาจเป็นไปได้ว่าการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในใบของข้าวเหนียวดำไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยกรดแอบซิซิก ตรงกันข้ามกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ช่วยกระตุ้นให้ข้าวเหนียวดำที่อยู่ในสภาวะแล้งมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มสภาวะแล้งที่ไม่ได้รับสาร อย่างไรก็ตาม การให้กรดแอบซิซิกหรือไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์อย่างใดอย่างหนึ่ง ส่งผลให้พืชชนิดนี้มีการตอบสนองได้ดีกว่าการให้สารสองชนิดร่วมกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อพืชอยู่ในสภาวะแล้งกรดแอบซิซิกจะส่งสัญญาณไปกระตุ้นให้มีการสร้างไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น และการที่ให้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จากภายนอกเพิ่มเข้าไป อาจทำให้พืชมีปริมาณไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์มากเกินที่พืชจะกำจัดได้ ทำให้เป็นพิษต่อเซลล์พืช และส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น และทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)

เอกสารอ้างอิง

Abdel-Aal EM, Hucl P. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. Cereal Chemistry 1999; 76(3): 350-354.

Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 1949; 24: 1-15.

Baninasab B, Ghobadi C. Influence of paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in cucumber seedlings. Journal of Plant Growth Regulation 2011; 30: 213-219.

Cassidy A, Mukamal KJ, Liu L, Franz M, Eliassen AH, Rimm EB. High anthocyanin intake is associated with a reduced risk of myocardial infarction in young and middle-aged women. Circulation Journals 2013; 127: 188-196.

Chalker-Scott L. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. Photochemistry and Photobiology 1999; 70: 1-9.

Chandler PM, Robertson M. Gene expression regulated by abscisic acid and its relation to stress tolerance. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 1994; 45: 113-141.

Chutia J, Borah SP. Water stress effects on leaf growth and chlorophyll content but not the grain yield in traditional rice (*Oryza sativa* Linn.) genotypes of Assam, India II. Protein and Proline Status in seedlings under PEG induced water stress. American Journal of Plant Sciences 2012; 3: 971-980.

Deeba F, Pandey AK, Ranjan S, Mishra A, Singh R, Sharma YK, et al. Physiology and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. Plant Physiology and Biochemistry 2012; 53: 6-18.

Dubois M, Gilles KA, Hamiton JK, Rebers PA, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substance. Analytical Chemistry 1956; 28: 350-356.

Farooq M, Basra SMA, Wahid A, Ahmad N, Saleem BA. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous applicationof salicylic acid. Journal of Agronomy and Crop Science 2009; 195: 237-246.

Hung KT, Cheng DG, Hsu YT, Kao CH. Abscisic acid-induced hydrogen peroxide is required for anthocyanin accumulation in leaves of rice seedlings. Journal of Plant Physiology 2008; 165: 1280-1287.

Li JT, Qiu ZB, Zhang XW, Wang LS. Exogenous hydrogen peroxide can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. Acta Physiologiae Plantarum 2011; 33: 835-842.

Madore MA. Carbohydrate metabolism in photosynthetic and nonphotosynthetic tissues of variegated leaves of *Coleus blumei* Benth. Plant Physiology 1990; 93: 617-622.

Manetas Y. Why some leaves are anthocyanic and why most anthocyanic leaves are red? Flora 2006; 201: 163-177.

Mazza GJ. Anthocyanins and heart health. Annist Super Sanita 2007; 43(4): 369-74.

Mohammadkhani N, Heidari R. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. World Applied Sciences Journal 2008; 3(3): 448-453.

Robbins NS, Pharr DM. Regulation of photosynthetic carbon metabolism in cucumber by light intensity and photosynthetic period. Plant Physiology 1987; 85: 592-597.

Sperdouli I, Moustakas M. Interaction of proline, sugar and anthocyanins during photosynthetic acclimation of *Arabidopsis thaliana* to drought stress. Journal of Plant Physiology 2012; 169: 577-585.

Steyn WJ, Wand SJE, Holcroft DM, Jacobs G. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. New Phytologist 2002; 155: 349-361.

Turner NC. Techniques and experimental approaches
for the measurement of plant water status.
Plant Soil 1981; 58: 339-366.