ผลของสภาวะขาดน้ำจากความแล้งและความเครียดเกลือต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในข้าวระยะต้นกล้า

Effects of Drought-induced and Salinity-induced Water Deficition on Some Physiological Characteristics and Carbohydrate Metabolism in Rice Seedlings (*Oryza sativa* L.)

ตุลาพร แก้วแก่น (Toulaphone Keokene)[1]
วัฒนา พัฒนากูล (Wattana Pattanagul)[2]*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะขาดน้ำที่เกิดจากความแล้ง และที่เกิดจากความเครียดเกลือ ต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. cv. Khao Dawk Mali 105) ระยะต้นกล้า โดยทำการปลูกต้นข้าวในอาหารสูตร MS โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม สภาวะแล้งเกิดจากการเติม sorbitol ในอาหารเพาะเลี้ยง และสภาวะเครียดเกลือเกิดจากการเติม sodium chloride ในอาหารเพาะเลี้ยงในความเข้มข้น 0, 50,100, 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ ปลูกเป็นเวลา 15 วัน พบว่าข้าวที่ปลูกในสภาวะแล้งจะมีความยากรากเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ข้าวที่ปลูกในสภาวะเครียดเกลือจะมีความยาวรากลดลง ความยาวลำต้นของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าลดต่ำลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยข้าวที่ปลูกในสภาวะเครียดเกลือจะมีความยาวลำต้นต่ำกว่าข้าวที่ปลูกในสภาวะแล้ง น้ำหนักสดของข้าวที่ปลูกในสภาวะแล้งจะมีค่าต่ำกว่าข้าวที่ปลูกในสภาวะเครียดเกลือ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของข้าวทั้งสองกลุ่มลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบของข้าวพบว่า ปริมาณน้ำตาลรวมและน้ำตาลซูโครสในใบของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้น โดยข้าวที่ปลูกในสภาวะแล้งจะมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแป้งในใบของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้น โดยข้าวที่ปลูกในสภาวะแล้งจะมีปริมาณแป้งสูงกว่าเมื่อเทียบกับข้าวที่ปลูกในสภาวะเครียดเกลือ

Abstract

Effects of drought-induced and salinity-induced water deficit stresses on some physiological characteristics and carbohydrate metabolism were investigated in rice seedlings (*Oryza sativa* L. cv. Khao Dawk Mali 105). Rice seedlings were germinated and grown in MS medium. Drought was induced by adding sorbitol to the culture medium at concentrations of 0, 50, 100, 150 and 200 mM, while salinity was induced by adding sodium chloride to the medium at the same concentration. Rice seedlings were grown for 15 days. The result showed that rice grown under drought had increased root length whereas those grown under salinity had shorter roots. Both had decreased shoot length compared to the control group. Rice grown under drought had longer roots and shoots than those grown under salinity. The fresh weight of rice grown under drought was lower compared to that grown under salinity. Total chlorophyll content decreased in both treatments. Carbohydrate analyses showed that rice grown under stresses accumulated more total sugars and sucrose compared to the control group. Moreover, rice grown under drought accumulated more sugars than those grown under salinity. In addition, the starch content of rice grown under drought was higher than that grown under salinity.

คำสำคัญ: สภาวะขาดน้ำ สรีรวิทยาความเครียด เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต
Keywords: Water Deficit, Stress Physiology, Carbohydrate Metabolism

[1]*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[2]*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
**corresponding author, e-mail: wattana@biology.kku.ac.th*

บทนำ

สภาวะขาดน้ำ (water deficit) เป็นความเครียดซึ่งเกิดขึ้นในพืชเกือบตลอดเวลา และเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช สภาวะขาดน้ำอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ความแล้ง สภาพดินเค็ม หรือแม้กระทั่งอุณหภูมิต่ำ สภาพเหล่านี้ทำให้พืชไม่สามารถดูดน้ำที่อยู่ภายนอกเข้าสู่เซลล์ได้ สภาวะขาดน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยา กระบวนการทางชีวเคมี รวมไปถึงรูปแบบการแสดงออกของยีนหลายประการ (Shinozaki and Yamaguchi-Shinozaki, 1997) การเปลี่ยนแปลงบางอย่างจัดเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสภาวะขาดน้ำ เช่น อัตราการเจริญเติบโตต่ำลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำลง การสังเคราะห์น้ำตาลและแป้งในพืชน้อยลง การเกิดสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา (reactive oxygen species) เป็นต้น ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงบางอย่างอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการปรับตัวของพืช เช่น การปิดปากใบของพืชเพื่อลดการคายน้ำ การสังเคราะห์ฮอร์โมนเช่น กรดแอบไซซิก (abscisic acid, ABA) เพิ่มมากขึ้น หรือแม้กระทั่งการสะสมตัวถูกละลายบางชนิดเช่น โพรลีน น้ำตาลแอลกอฮอล์ หรือน้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้น เพื่อรักษาสมดุลย์ของน้ำในเซลล์

ความแล้ง (drought)และสภาพดินเค็มหรือสภาวะเครียดเกลือ (salinity) ส่งผลต่อพืชส่วนใหญ่ในลักษณะคล้ายกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะเริ่มต้น (Munns, 2002) การตอบสนองส่วนใหญ่ในระยะแรกเกิดขึ้นเนื่องจากการขาดน้ำของเซลล์พืชเป็นหลัก ทำให้คนส่วนใหญ่เข้าใจว่าสภาพทั้งสองมีความคล้ายคลึงกัน และการแก้ปัญหาสามารถทำได้ในลักษณะเดียวกัน อย่างไรก็ตาม สภาพเครียดเกลือทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความเป็นพิษของอิออน (ion toxicity) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโซเดียมอิออน นอกเหนือไปจากสภาวะขาดน้ำเพียงอย่างเดียว (Bahajji et al., 2002) ความเป็นพิษของอิออนนี้ส่งผลกระทบต่อพืชในลักษณะที่แตกต่างออกไปจากสภาวะขาดน้ำที่เกิดจากความแล้ง การสะสมของโซเดียมอิออนทำให้เซลล์พืชถูกทำลายในระยะยาว (Verslues et al., 2006) การศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการแสดงออกของยีนในข้าวบาร์เลย์ที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้งและสภาวะเครียดเกลือพบว่า มียีนบางกลุ่มที่แสดงออกภายใต้สองสภาวะ ยีนบางกลุ่มแสดงออกภายใต้สภาวะแล้ง และยีนบางกลุ่มแสดงออกภายใต้สภาวะเครียดเกลือเท่านั้น (Ueda et al., 2004) นอกจากนี้ความแล้งและสภาวะเครียดเกลือยังมีผลต่อเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนของพืชในลักษณะที่แตกต่างกัน (Pandey et al., 2004) ดังนั้นพืชที่ปลูกในสภาพดินเค็มอาจมีการปรับตัวในลักษณะที่แตกต่างออกไปจากพืชที่ปลูกในสภาพแล้ง และการแก้ปัญหาเกี่ยวกับสภาพดินเค็มอาจจำเป็นต้องใช้วิธีการที่แตกต่างจากการแก้ปัญหาเกี่ยวกับความแล้ง

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย การเพาะปลูกข้าวในประเทศไทยปัจจุบันยังคงอาศัยน้ำจากฝนเป็นหลัก ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกข้าวหลายแห่งในประเทศไทยประสบปัญหาสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ความแห้งแล้ง ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล หรือมีปัญหาดินเค็ม ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง การศึกษาและความเข้าใจเกี่ยวกับผลของสภาวะขาดน้ำต่อสรีรวิทยา และกระบวนการเมแทบอลิซึมในข้าวยังมีค่อนข้างน้อย ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการตอบสนองของข้าวจะเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ในเรื่องของวิธีการปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ หรือการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อหาวิธีแก้ไข หรือป้องกันไม่ให้พืชเกิดความเสียหายเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ โดยในงานวิจัยนี้เน้นศึกษาอิทธิพลของสภาวะขาดน้ำที่เกิดจากความแล้ง เปรียบเทียบกับสภาวะขาดน้ำที่เกิดจากความเครียดเกลือ โดยเน้นศึกษาความเหมือนและความแตกต่างในการตอบสนองของพืชในด้านสรีรวิทยา และเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นผลผลิตหลักที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และถูกลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

วิธีการศึกษา

ตัวอย่างพืช

ทำการเพาะเมล็ดข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. cv. Khao Dawk Mali 105) โดยนำเมล็ดมาแกะเปลือกออก นำไปล้างด้วยน้ำประปา 3 ครั้ง จากนั้นนำมาฆ่าเชื้อด้วยสารละลาย 20% clorox เป็นเวลา 15 นาที ล้างออกด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 3 ครั้งๆ ละ 5 นาที จากนั้นนำไปปลูกในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS ที่มีน้ำตาลซูโครส 30 % วุ้น 8 % pH 5.7 เมื่อต้นกล้าเจริญเป็นเวลา 4 วัน จึงย้ายไปเลี้ยงในอาหารสูตร MS โดยกลุ่มที่ได้รับสภาวะขาดน้ำจากความแล้ง จำลองโดยการเติม sorbitol ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 0, 50, 100, 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ ในอาหารเพาะเลี้ยง ส่วนกลุ่มที่ได้รับสภาวะขาดน้ำจากความเครียดเกลือจำลองโดยการเติม NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 0, 50, 100, 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ ในอาหารเพาะเลี้ยง นำต้นข้าวทั้งหมดไปเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่อุณหภูมิ 25°ซ ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซน 12 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 15 วัน จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ผล

ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของพืช

เมื่อปลูกพืชในสภาวะขาดน้ำที่เกิดจากความแล้งและที่เกิดจากความเครียดเกลือ เป็นเวลา 15 วัน จึงทำการสุ่มตัวอย่างพืช โดยสุ่มเลือกต้นข้าวจำนวน 5 ต้น จากแต่ละความเข้มข้น นำมาวัดความยาวต้น และความยาวราก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักสด แล้วจึงนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

สุ่มเลือกต้นข้าวอีก 5 ต้นจากแต่ละความเข้มข้น เพื่อนำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืช ทำโดยการนำตัวอย่างใบพืชหนักประมาณ 0.1 กรัม บดด้วยโกร่งให้ละเอียด แล้วเติม 80% acetone ปริมาตร 6 มล. จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายคลอโรฟิลล์ที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์โดยวิธีของ Arnon (1949)

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบพืช

นำตัวอย่างใบพืชหนักประมาณ 0.1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง สกัดน้ำตาลออกจากเนื้อเยื่อใบโดยการเติม 80% ethanol ปริมาตร 3 มล. แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาทีเพื่อกำจัดเอนไซม์ที่อยู่ในใบพืช จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 65°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อสกัดน้ำตาลออกจากใบพืช เก็บสารละลายที่ได้ แล้วเติม 80% ethanol ปริมาตร 3 มล. แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นเช่นเดิม ทำซ้ำ 3 ครั้ง นำสารละลายน้ำตาลที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในใบพืช ส่วนใบพืชที่สกัดน้ำตาลออกจนหมดแล้ว นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแป้งที่อยู่ในใบ

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล ทำโดยการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในใบพืช โดยวิธี phenol-sulfuric (Dubois et al., 1956) โดยนำสารละลายน้ำตาลที่สกัดจากใบพืช 500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย 5% phenol ปริมาตร 500 ไมโครลิตร จากนั้นเติมกรด sulfuric เข้มข้น ปริมาตร 1 มล. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปเขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในใบพืช โดยเทียบกับสารละลายกลูโคสมาตรฐาน จากนั้นหาปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบพืช โดยใช้วิธี resorcinol-HCl (Robbins and Pharr, 1987) โดยนำสารละลายน้ำตาลที่สกัดจากใบพืช 500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย 1% resorcinol (ใน 95% ethanol) ปริมาตร 250 ไมโครลิตร และ 30% กรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 750 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 80°ซ เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร หาปริมาณน้ำตาลซูโครสโดยเทียบกับสารละลายน้ำตาลซูโครสมาตรฐาน การหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบพืช ทำโดยวิธีใช้เอนไซม์ hexokinase ร่วมกับ glucose-6-phosphate dehydrogenase แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร

การวิเคราะห์หาปริมาณแป้งในใบพืช ทำโดยการเติม 2 N potassium hydroxide ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ในตัวอย่างใบพืชที่สกัดน้ำตาลออกจนหมดแล้ว นำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 90°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปรับ pH ด้วยสารละลาย 10% acetic acid ปริมาตร 600 ไมโครลิตร แล้วจึงเติมเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาตร 1 มล. เพื่อสลายแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส แช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 45 ซ เขย่าทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เอนไซม์ hexokinase ร่วมกับ glucose-6-phosphate dehydrogenase โดยเทียบกับสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (Madore, 1990)

ผลการศึกษา

เมื่อทำการปลูกข้าวพันธุ์หอมมะลิระยะต้นกล้าในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS ภายใต้สภาวะขาดน้ำซึ่งเกิดจากความแล้งโดยการเติม sorbitol และสภาวะขาดน้ำซึ่งเกิดจากความเครียดเกลือโดยการเติม NaCl เป็นเวลา 15 วันพบว่าความยาวรากของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้น 50, 100 และ 150 มิลลิโมลาร์ และลดต่ำลงที่ระดับความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ ส่วนข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้งจะมีความยาวรากเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ sorbitol เพิ่มสูงขึ้น (รูป 1A) ความยาวลำต้นของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยความยาวลำต้นของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันที่ความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ แต่ที่ความเข้มข้น 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ ข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือจะมีความยาวลำต้นลดลง ในขณะที่ข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้งจะมีความยาวลำต้นสูงกว่า (รูป 1B) น้ำหนักสดของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือจะมีค่าสูงกว่าข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้ง (รูป 1C) ในขณะที่น้ำหนักแห้งของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันในทุกความเข้มข้น (รูป 1D)

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในใบของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้งจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดต่ำลงที่ระดับ 50, 100 และ 150 มิลลิโมลาร์ แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่ข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดต่ำลง แต่จะสูงขึ้นเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ และจะลดต่ำลงที่ระดับความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ (รูป 2A) ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้งจะลดลงเล็กน้อยที่ระดับความเข้มข้น 100 และ 150 มิลลิโมลาร์ (รูป 2B)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลและแป้งในใบของข้าว พบว่าข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้งจะมีปริมาณน้ำตาลรวมสูงกว่าข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือ โดยน้ำตาลรวมในใบของข้าวจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ sorbitol และ NaCl สูงขึ้น แต่จะลดต่ำลงที่ระดับความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ (รูป 3A) ปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้ง ในภาพรวมจะสูงกว่าในใบของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือ โดยปริมาณน้ำตาลซูโครสจะสูงขึ้นที่ระดับความเข้มข้นของ sorbitol เท่ากับ 50 มิลลิโมลาร์ และจะค่อย ๆ ลดต่ำลง ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือจะมีค่าลดต่ำลง (รูป 3B) ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบของข้าวทั้งสองกลุ่มมีค่าลดต่ำลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้งจะมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงกว่าข้าวที่ปลูกในอาหารที่เติม NaCl (รูป 3C) ปริมาณแป้งในใบของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ และลดต่ำลงที่ระดับความเข้มข้น 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ ในขณะที่ปริมาณแป้งในใบของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือจะมีค่าลดต่ำลง และน้อยกว่าข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้ง (รูป 3D)

สรุปและวิจารณ์ผล

สภาวะขาดน้ำทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชต่ำลง ในงานวิจัยนี้พบว่าข้าวที่ปลูกในสภาวะแล้งและสภาวะเครียดเกลือจะมีความยาวลำต้นน้อยลง เช่นเดียวกับข้าวสาลี พบว่าความยาวของลำต้นลดลงเมื่อปลูกภายใต้สภาวะขาดน้ำ (Almansouri et al., 2001) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ ความดันเต่งในพืชมีค่าต่ำลง ทำให้อัตราการขยายตัวของเซลล์ลดลง (Ueda et al., 2004) นอกจากนี้พืชอาจมีการปรับตัวโดยการปิดปากใบ เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ (Mahajan and Tuteja, 2005) ในขณะเดียวกันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศภายนอกก็ไม่สามารถแพร่เข้าสู่ใบ ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสร้างอาหารของพืชลดต่ำลง (Liu et al., 2004) ทำให้ความยาวลำต้นน้อยลง อย่างไรก็ตาม พบว่า ความยาวรากในข้าวที่ปลูกในสภาวะเครียดเกลือจะน้อยลง ในขณะที่ความยาวรากของข้าวที่ปลูกในสภาวะแล้งมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้รากของพืชที่ปลูกในสภาวะเครียดเกลืออาจได้รับผลกระทบโดยตรงจากความเป็นพิษของ Na^+ เมื่อรากพืชมีการดูดซึม Na^+ เข้าไปสะสมในปริมาณสูง เซลล์อาจถูกทำลายและเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความยาวรากน้อยลง เช่นเดียวกับการทดลองที่ทำใน *Arabidopsis* ที่ปลูกในอาหารที่เติม Polyethylene glycol (PEG) เพื่อทำให้เกิดความแล้ง และ NaCl เพื่อทำให้เกิดความเครียดเกลือ พบว่าพืชที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเกลือจะมีความยาวรากน้อยกว่าพืชที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้ง (Verslues, 2006)

พืชหลายชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมเช่น สภาวะแห้งแล้ง สภาวะเครียดเกลือ หรือสภาวะที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป จะมีการสะสมตัวถูกละลาย เช่น โพรลีน น้ำตาลแอลกอฮอล์ น้ำตาล และอนุพันธ์ของน้ำตาล เป็นต้น ในพืชตระกูลถั่วหลายชนิดเช่น *Vigna umbellata*, *Cajanus cajun* หรือแม้กระทั่งถั่วเหลือง (*Glycine max*) เมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ จะมีการสะสมของอนุพันธ์ของน้ำตาลเช่น ononitol และ pinitol ในปริมาณสูงขึ้น (Kuo et al., 1997; Wanek and Richter, 1997; Keller and Ludlow, 1993) พืชที่มีความสามารถในการทนต่อสภาวะขาดน้ำสูง เช่น *Boea hydroscopica*, *Craterostigma plantagineum* และ *Sporobolus stapfianus* พืชเหล่านี้สามารถมีชีวิตอยู่ได้แม้เหลือน้ำในเซลล์เพียงร้อยละ 2 เมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ พบว่าพืชเหล่านี้จะมีการสะสมน้ำตาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลซูโครส และอนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น น้ำตาลในกลุ่มราฟฟิโนส เพิ่มมากขึ้น (Norwood et al., 2000; Albini et al., 1999; Albini et al., 1994) ข้าวโพดที่ปลูกในสภาวะขาดน้ำ พบว่ามีการสะสมน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสในใบเพิ่มมากขึ้น (Pelleschi et al., 1997) ในงานวิจัยนี้พบว่า ข้าวพันธุ์หอมมะลิระยะต้นกล้าเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำทั้งจากความแล้งและความเครียดเกลือมีการสะสมของน้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้นเช่นกัน แม้ว่าสภาวะขาดน้ำจะทำให้พืชมีการปิดปากใบและทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงและการสร้างน้ำตาลต่ำลง (Vu et al., 1998) แต่อัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำลงทำให้พืชลำเลียงน้ำตาลออกไปยังส่วนต่าง ๆ น้อยลง น้ำตาลและสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงสะสมอยู่ในใบมากขึ้น (Pelleschi et al., 1997) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวหลายสายพันธุ์ เมื่อปลูกในสภาวะขาดน้ำจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลและแป้งในใบ ทั้งนี้อาจเป็นกลไกที่ช่วยรักษาสมดุลย์ของน้ำ ทำให้รักษาน้ำให้อยู่ภายในเซลล์ในปริมาณที่สูงขึ้น (Cabuslay et al., 2002) ส่วนปริมาณแป้งในใบที่สูงขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาวะขาดน้ำ อาจเกิดเนื่องมาจากสภาวะขาดน้ำ ทั้งที่เกิดจากความแล้งและความเครียดเกลือ มีผลยับยั้งกระบวนการสลายตัวของแป้งเพื่อนำไปใช้งาน ทำให้แป้งสะสมในปริมาณสูงขึ้น (Bouaziz and Hicks, 1990)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยแห่งชาติลาวกับ Sida/SAREC สำหรับทุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Albini, F.M., Murelli, C., Finzi, P.V., Ferrarotti, M., Cantoni, B., Puliga, S. and Vazzana, C. 1999. Galactinol in the leaves of the resurrection plant *Boea hygroscopica*. **Phytochemistry** 51: 499-505.

Albini, F.M., Murelli, C. Patritti, G., Rovati, M. Zienna, P. and Finzi, P.V. 1993. Low-molecular weight substances from the resurrection plant *Sporobolus stapfianus*. **Phytochemistry** 37: 137-142.

Almansouri, M., Kiet, J.M. and Lutts, S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). **Plant and Soil** 231: 243-254.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta bulgaris*. **Plant Physiology** 24: 1-15.

Bahaji, A., Mateu, I., Sanz, A. and Carnejo, M.J. 2002. Common and distinctive responses of rice seedlings to saline- and osmotically-generated stress. **Plant Growth Regulation** 38: 83-94.

Bouaziz, A. and Hicks, D.R. 1990. Consumption of wheat seed reserves during germination and early growth as affected by soil water potential. **Plant Soil** 128: 161-165.

Cabuslay, G.S., Ito, O. and Alejar, A.A. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. **Plant Science** 163: 815-827.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry** 28: 350-356.

Keller, F. and Ludlow, M.M. 1993. Carbohydrate metabolism in drought-stressed leaves of pigeanpea (*Cajanus cajun*). **Journal of Experimental Botany** 44: 1351-1359.

Kuo T.M., Lowell, C.A. and Nelsen, T.C. 1997. Occurrence of pinitol in developing soybean seed tissues. **Phytochemistry** 45: 29-35.

Liu, F., Jensen, C.R. and Andersen, M.N. 2004. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. **Field Crops Research** 86: 1-13.

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

Mahajan, S. and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. **Archives of Biochemistry and Biophysics** 444: 139-158.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment** 25: 239-250.

Norwood, M., Truesdale, M.R., Richter, A. and Scott, P. 2000. Photosynthetic carbohydrate metabolism in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. **Journal of Experimental Botany** 51: 159-165.

Pandey, R., Agarwal, R.M., Jeevaratnam, K. and Sharma, G.L. 2004. Osmotic stress-induced alterations in rice (*Oryza sativa* L.) and recovery on stress release. **Plant Growth Regulation** 42: 79-87.

Pelleschi, S., Rocher, J.P. and Prioul, J.L. 1997. Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves. **Plant, Cell and Environment** 20: 493-503.

Robbins, N.S. and Pharr, D.M. 1987. Regulation of photosynthetic carbon metabolism in cucumber by light intensity and photosynthetic period. **Plant Physiology** 85: 592-597.

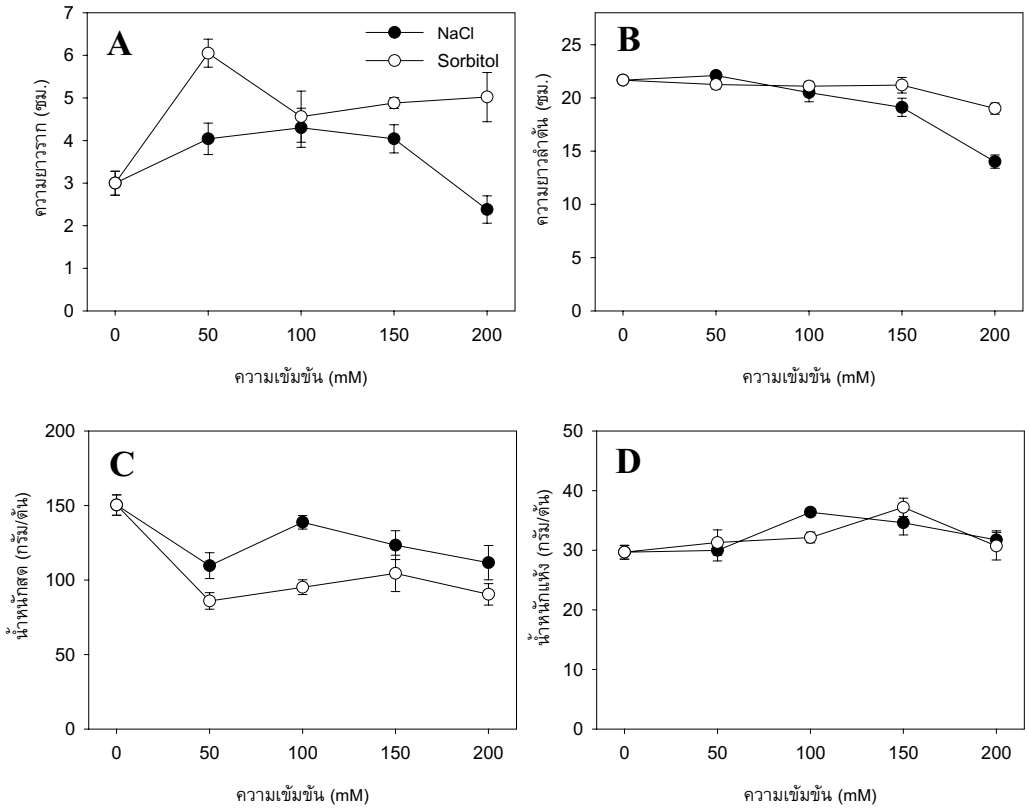
Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K. 1997. Gene expression and signal transduction in water-stress response. **Plant Physiology** 115: 327-334.

Ueda, A., Kathiresan, A., Inada, M., Narita, Y., Nakamura, T., Shi, W., Takabe, T. and Bennett, J. 2004. Osmotic stress in barley regulates expression of a different set of genes than salt stress does. **Journal of Experimental Botany** 55: 2213-2218.

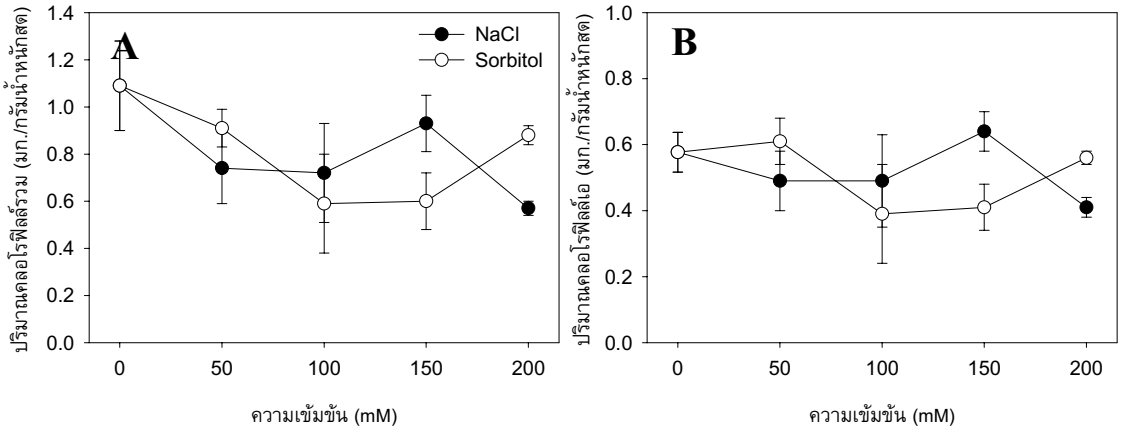
Verslues, P.E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J. and Zhu, J-K. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **Plant Journal** 45: 523-539.

Vu, J.C.V., Baker, J.T., Pennanen, A.H., Allen, H. Bowes, G. and Boote, K.J. 1998. Elevated CO_2 and water deficit effects on photosynthesis, ribulose bisphosphate carboxylase-oxygenase, and carbohydrate metabolism in rice. **Physiologia Plantarum** 103: 327-339.

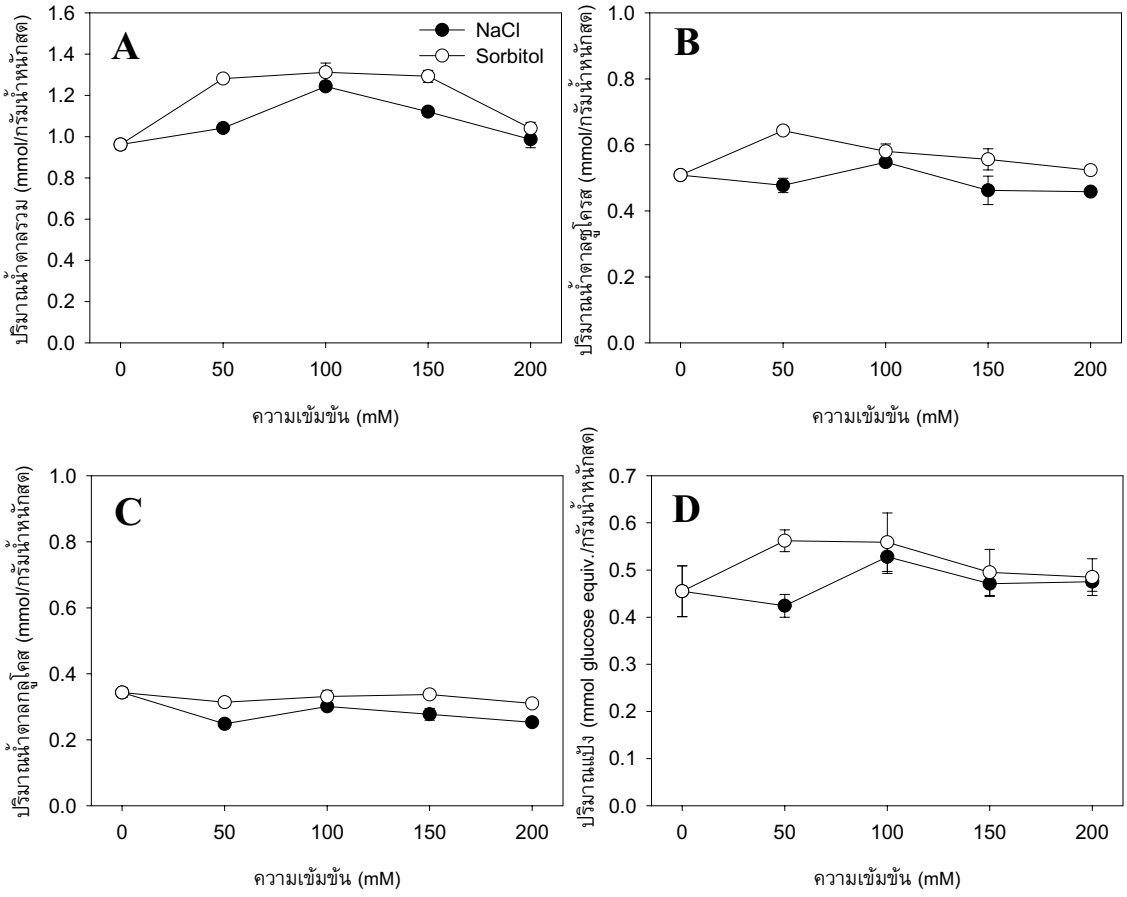
Wanek, W. and Richter, A. 1997. Biosynthesis and accumulation of D-ononitol in *Vigna umbellate* in response to drought stress. **Physiologia Plantarum** 101: 416-424.



รูปที่ 1 ความยาวราก ความยาวลำต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในอาหารที่เติม NaCl (●) และ sorbitol (○) ความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และคลอโรฟิลล์เอ ของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในอาหารที่เติม NaCl (●) และ sorbitol (○) ความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำตาลรวม น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส และแป้งในใบของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในอาหารที่เติม NaCl (●) และ sorbitol (○) ความเข้มข้นต่าง ๆ