

ผลของความเครียดจากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าว (*Oryza sativa* L.) สายพันธุ์มะลิแดง (red hawn rice)

Effects of sugar stress on growth and physiology of rice (*Oryza sativa* L.) Ma-li-daeng cultivar)

สุมาลี ชูกำแพง¹, สิทธิชัย วันแก้ว²

Sumalee Chookhampaeng¹, Sitthichai Wankaew²

Received: 1 December 2017; Accepted: 25 April 2018

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของความเครียดจากน้ำตาลซูโครสต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าว (*Oryza sativa* L.) สายพันธุ์มะลิแดง (red hawn rice) ในสภาวะแล้ง ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส 0, 50, 100 และ 200 mM เพื่อศึกษาอัตราการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณน้ำตาลรวมในใบข้าว โดยเฉพาะเมล็ดข้าวลงในฟองน้ำเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นย้ายต้นกล้าลงปลูกในสารละลาย Hoagland เมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตได้ 20 วัน เติมน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้นต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM เมล็ดข้าวมีอัตราการงอกร้อยละ 97.20 ± 1.92 , 54.00 ± 2.55 , 33.50 ± 0.84 และ 22.80 ± 0.83 ตามลำดับ พบว่า เมื่อความเข้มข้นน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความยาวยอด น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดลง แต่ความยาวรากของต้นข้าวและปริมาณน้ำตาลรวมในใบข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : น้ำตาลซูโครส ข้าวสายพันธุ์มะลิแดง

Abstract

The objective of this study was to determine the effects of sugar stress on growth and physiology of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Ma-li-daeng under drought stress. Concentrations of sucrose at 0, 50, 100 and 200 mM were applied to determine the effects on germination, growth, chlorophyll a, chlorophyll b and total sugar. Rice seeds were germinated in the sponge for 7 days, then move the seedlings moved to Hoagland's solutions and grown for 20 days and then supplemented with sucrose solution at different concentrations. The result showed that sucrose at 0, 50, 100 and 200 mM gave the germination percentages of 97.20 ± 1.92 , 54.00 ± 2.55 , 33.50 ± 0.84 and 22.80 ± 0.83 , respectively. When seedlings were subjected to drought stress, higher concentration of sucrose decreased the shoot length, fresh weight, dry weight, chlorophyll a and chlorophyll b but root length and total sugar in the leaf were increased when concentration of sucrose increased.

Key words: Sucrose, Red hawn rice cultivar

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ² นิสิตปริญญาตรี, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Assist. Prof., ² Bachelor degree student, Faculty of science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author; Sumalee Chookhampaeng, Faculty of science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. s_choo@windowslive.com

บทนำ

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าที่อยู่ในวงศ์ Poaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. และเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ ข้าวเป็นแหล่งอาหารหลักที่ให้การโภชนาการที่สำคัญในการดำรงชีวิต ประชากรของโลกมากกว่าครึ่งบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะชาวเอเชียบริโภคข้าวมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เรายังนิยมนำข้าวมาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ขนมหวาน เป็นต้น¹ ข้าวมะลิแดงหรือที่รู้จักในชื่อข้าวมันปู เป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง มีลักษณะดีบางอย่าง อาทิ ต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช ข้าวหอมมะลิแดงจะมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวหอมมะลิ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของปริมาณสารอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก ทองแดง วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และ วิตามินซี⁷ ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่าพืชชนิดอื่นๆ โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 50 ล้านไร่ และสามารถแบ่งพื้นที่ปลูกข้าวของประเทศไทยออกได้เป็น 2 ประเภท โดยอาศัยแหล่งที่มาของน้ำ คือ พื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทาน ประมาณ 12 ล้านไร่ เป็นระบบการทำนาที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงสุดโดยอาศัยน้ำจากเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ และพื้นที่ปลูกข้าวนอกเขตชลประทานหรือเขตน้ำฝน 38 ล้านไร่ เป็นระบบการทำนาที่อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก¹⁰ จึงมักเกิดปัญหาความแห้งแล้งเสมอ โดยเฉพาะทางด้านภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุด ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตเป็นอันมาก⁹ ความแห้งแล้งหรือภัยแล้งเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้แก่ บริเวณจังหวัดกาฬสินธุ์ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดร้อยเอ็ด เพราะเป็นบริเวณที่อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้เข้าไปไม่ถึง ฝนจึงตกน้อยกว่าปกติ ส่งผลต่อภาคเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรลดลง ทำให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ในขณะที่ข้าวเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ^{3,5} สภาวะขาดน้ำของพืช คือ สภาวะที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการคายน้ำของพืชมากกว่าอัตราการดูดน้ำ เป็นผลให้ปริมาณน้ำในพืชลดลงจนมีผลต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของพืช เช่น ทำให้ความเต่งของเซลล์ลดลง ปากใบปิด ดังนั้น การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างพืชกับอากาศจึงลดลง ทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงตามไปด้วย การขาดน้ำในพืชจะลดประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายสารอาหาร ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง² การทดลองปลูกข้าวมะลิแดงโดยวิธีไฮโดรโปนิกส์ เติมน้ำตาลซูโครสในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน สารละลายน้ำตาลซูโครสจะขัดขวางการดูดน้ำในราก เป็นกรณีศึกษาข้าวในสภาวะแล้ง โดยศึกษา

ผลกระทบของน้ำตาลซูโครสต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของข้าวมะลิแดง ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณน้ำตาลรวมในใบของข้าวมะลิแดง

วัตถุประสงค์การศึกษาวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราการงอกของเมล็ดข้าวภายใต้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM
2. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ได้แก่ ความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงภายใต้สภาวะแล้ง
3. เพื่อศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และปริมาณน้ำตาลรวมในข้าวสายพันธุ์มะลิแดงภายใต้สภาวะแล้ง

วิธีการ

1. วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) 3 ซ้ำๆ ละ 5 ต้น โดยเมล็ดสายพันธุ์ข้าวหอมมะลิแดง ที่ใช้ศึกษาวิจัย ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์มั่นยืนโครงการรวบรวมพันธุ์ข้าว จังหวัดมหาสารคาม
2. ศึกษาอัตราการงอกของเมล็ด ภายใต้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM โดยการนำเมล็ดข้าว 100 เมล็ด เพาะลงจานเพาะเชื้อเพื่อวัดอัตราการงอก เป็นเวลา 7 วัน แล้วบันทึกอัตราการงอก
3. การเตรียมพืชทดลองปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์ มีขั้นตอน ดังนี้ นำแผ่นฟองน้ำมากรีดเพื่อใช้เพาะเมล็ดข้าว นำฟองน้ำไปชุบน้ำให้ชุ่มแล้วนำเมล็ดข้าวมาเพาะ นำแผ่นฟองน้ำที่มีเมล็ดข้าวไปแช่น้ำในกระบอก โดย 3 วันแรกให้เก็บไว้ในที่มืด อีก 4 วันเก็บในที่สว่าง รวมเป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบ 7 วัน ย้ายต้นกล้าข้าวมาปลูกในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland's solution (สูตรดัดแปลง) ที่ไม่ได้ใส่สารละลายน้ำตาลซูโครสเป็นเวลา 14 วัน ในสภาพแสงและอุณหภูมิปกติตามธรรมชาติ เมื่อดต้นกล้าข้าวเจริญเติบโตได้ 20 วัน ให้สารละลายน้ำตาลซูโครส ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 มิลลิโมลาร์ (mM) ทุกๆ 2 วันๆ ละ 200 มิลลิลิตร ซึ่งทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน วัดการเจริญเติบโตของตัวอย่างข้าว หลังจากเติมน้ำตาลซูโครสในสารละลาย เป็นเวลา 60 วัน เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและ ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อไป

4. บันทึกผลการทดลอง

4.1 อัตราการงอกของเมล็ดข้าวมะลิแดง

4.2 การเจริญเติบโตของต้นข้าว หลังจากเติมสารละลายซูโครส ครบ 60 วัน ได้แก่ ความยาวยอด ความยาวราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง

4.3 วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ในต้นข้าว ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยวิธีของ Arnon D.I. (1949)¹⁴

4.4 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรวมในใบข้าว โดยวิธี phenol-sulfuric¹⁶ ในต้นข้าว หลังจากเติมสารละลายซูโครส ครบ 60 วัน

5. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (Version 16) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

อัตราการงอกของเมล็ด

จากการทดลอง เมื่อเพาะเมล็ดข้าวสายพันธุ์มะลิแดง ในจานเพาะเชื้อ เพื่อศึกษาอัตราการงอกของเมล็ดข้าวมะลิแดง ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0, 50, 100 และ 200 mM พบว่า อัตราการงอกของเมล็ด มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 97.20±1.92, 54.00±2.55, 33.50±0.84 และ 22.80±0.83 ตามลำดับ (table 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นจะทำให้ อัตราการงอกลดลง ร้อยละ 74.40 ในความเข้มข้น 200 mM เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการงอกของชุดควบคุม

Table 1 Effect of increasing drought stress on seed germination, which were subjected to 0, 50, 100 and 200 mM sucrose.

Concentration of sucrose (mM)	seed germination (%)
0	97.20±1.92 ^a
50	54.00±2.55 ^b
100	33.50±0.84 ^c
200	22.80±0.83 ^d

Means in the same column followed by different letters differ significantly at P<0.05.

ความสูงของต้นเฉลี่ย ความยาวรากเฉลี่ย น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

จากการทดลองพบว่า ความสูงของต้นเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงในกลุ่มควบคุม จะมีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับสารละลาย Hoagland (สูตรตัดแปลง) ความสูงของต้นเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งจะลดลง ซึ่งแปรผกผันตามความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น แต่ความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น มีความสูงของต้นเฉลี่ย ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ

200 mM มีค่าเท่ากับ 26.50±2.08, 24.33±0.87, 21.98±1.95 และ 18.62±2.70 เซนติเมตร ตามลำดับ ความยาวรากเฉลี่ย เท่ากับ 34.05±4.16, 35.15±3.98, 36.47±2.85 และ 38.60±2.49 เซนติเมตร ตามลำดับ น้ำหนักสดของต้นข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.82±0.95, 4.39±0.18, 3.71±0.63 และ 3.20±0.06 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นข้าว เท่ากับ 0.44±0.11, 0.36±0.08, 0.38±0.06 และ 0.28±0.06 กรัม ตามลำดับ ซึ่งความสูงของต้นเฉลี่ย ความยาวรากเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2)

Table 2 Effects of increasing drought stress on plant height, root length, fresh weight (FW) of shoot and dry weight (DW) of shoot which were subjected to 0, 50, 100 and 200 mM sucrose.

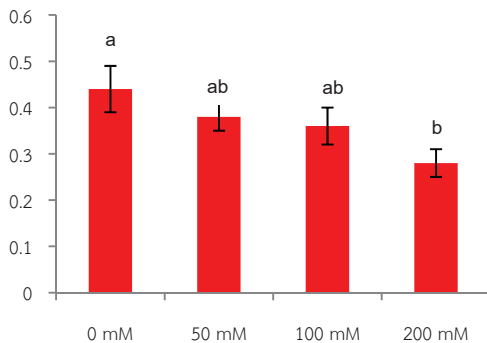
Concentration of sucrose (mM)	plant height (cm)	root length (cm)	FW of shoot (g/plant)	DW of shoot (g/plant)
0	26.50±2.08 ^a	34.05±4.16 ^d	5.82±0.95 ^a	0.14±0.03 ^a
50	24.33±0.87 ^{bc}	35.15±3.98 ^c	4.39±0.18 ^b	0.11±0.02 ^b
100	21.98±1.95 ^c	36.47±2.85 ^b	3.71±0.63 ^{bc}	0.09±0.02 ^{bc}
200	18.62±2.70 ^c	38.60±2.49 ^a	3.20±0.06 ^c	0.06±0.01 ^c

Means in the same column followed by different letters differ significantly at P<0.05.

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บี
จากการทดลองพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี ของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงในกลุ่มควบคุม จะมีปริมาณมากที่สุด แต่เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับ สารละลาย Hoagland (สูตรดัดแปลง) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บี จะมีปริมาณลดลง ซึ่งแปรผกผันตาม ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับ

ความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอเฉลี่ยเท่ากับ 0.44±0.11, 0.38±0.08, 0.36±0.06 และ 0.28±0.06 มก./กรัม ตามลำดับ ปริมาณคลอโรฟิลล์บีเฉลี่ย เท่ากับ 0.14±0.02, 0.10±0.03, 0.09±0.01 และ 0.06±0.02 มก./กรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บี มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Figure 1)

chlorophyll a content (mg/g)



chlorophyll b content (mg/g)

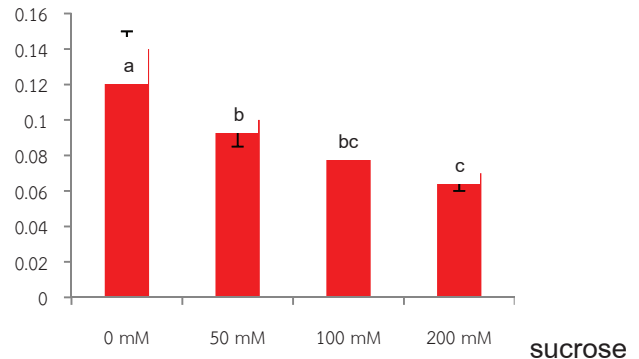


Figure 1 Effects of increasing drought stress on chlorophyll a and chlorophyll b which were subjected to 0, 50, 100 and 200 mM sucrose.

ปริมาณน้ำตาลรวมในใบข้าว

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณน้ำตาลรวมในใบของ ข้าวสายพันธุ์มะลิแดงที่มีค่าสูงสุด คือ สารละลาย Hoagland's ร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่ระดับความเข้มข้น 200 mM เมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำตาลรวมในใบเพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผันตามความเข้ม

ขันของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 200 mM มีปริมาณน้ำตาลในใบรวมเฉลี่ย เท่ากับ 0.52±0.25, 0.56±0.25, 0.82±0.23 และ 0.99±0.41 mmol/กรัมน้ำหนักสด ซึ่งปริมาณน้ำตาลมีความแตกต่างกัน ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 3)

Table 3 Effects of increasing drought stress on total sugar content which were subjected to 0, 50, 100 and 200 mM sucrose.

Concentration of sucrose (mM)	total sugar content in leaf (mmol/g)
0	0.52±0.25 ^c
50	0.56±0.25 ^{bc}
100	0.82±0.23 ^{ab}
200	0.99±0.41 ^a

Means in the same column followed by different letters differ significantly at $P < 0.05$.

วิจารณ์และสรุปผล

อัตราการงอกของเมล็ดข้าวในกลุ่มควบคุม เท่ากับ 97.20 ± 1.92 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราการงอกของเมล็ดข้าวที่ระดับความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลซูโครส 200 mM ส่งผลให้อัตราการงอกของเมล็ดข้าวเท่ากับ 22.80 ± 0.83 ลดลงถึงร้อยละ 74.40 เนื่องจาก กระบวนการงอกของเมล็ดต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่างในการงอกโดยเฉพาะ น้ำ แต่เมื่อเมล็ดข้าวได้รับความเข้มข้นน้ำตาลซูโครสจากภายนอก ซึ่งสารละลายน้ำตาลซูโครสมีผลในการขัดขวางกระบวนการงอกของเมล็ดทำให้เมล็ดข้าวไม่งอกหรืองอกช้า⁴ อาจจะเนื่องมาจากกระบวนการงอกของพืชต้องผ่านกระบวนการ imbibition ซึ่งเป็นการดูดน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ด หากเมล็ดมีตัวถูกละลายมากจะทำให้สารละลายความเข้มข้นสูงขึ้นซึ่งจะเป็นการลดค่าศักย์ของน้ำทำให้ขัดขวางการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ด

ความสูงของต้นเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงในกลุ่มควบคุมจะมีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับสารละลาย Hoagland (สูตรดัดแปลง) ความสูงของต้นเฉลี่ย น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งจะลดลง แปรผกผันตามความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดสภาวะเครียดแล้งส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณน้ำในเซลล์ เซลล์พืชไม่สามารถรักษาแรงดันเต่งภายในเซลล์ให้อยู่ในระดับที่เซลล์พืชสามารถขยายขนาดได้ ทำให้การขยายตัวของเซลล์ และการแบ่งเซลล์ลดลง ใบสั้นและแคบกว่าปกติ ลำต้นเตี้ยและเล็ก ค่าศักย์ในดินที่ลดลง ทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำขึ้นมาใช้ได้ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง¹⁹ นอกจากนี้สภาวะแล้งยังส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในของพืชหลายประการ เช่น การหมุนของใบ การปิดปากใบ^{23,11} เป็นต้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pattanagul (2011)²¹ ซึ่งศึกษาผลจากการเติมกรดแอมโมเนียมเพื่อชักนำให้เกิดการสะสมน้ำตาลในข้าวภายใต้สภาวะแล้ง พบว่า น้ำหนักแห้งของข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และจาก

การวิจัยนี้พบว่าความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น รากของข้าวจะแตกแขนงน้อยลง อาจจะเนื่องจากพืชที่อยู่ในสภาวะแล้ง จะมีการปรับตัวโดยเพิ่มความยาวของรากและลดการแตกแขนงของรากหากในสภาวะปลูกในดิน รากพืชที่ยาวขึ้นจะช่วยให้รากพืชสามารถดูดน้ำจากดินที่อยู่ในระดับที่ลึกลงไป จึงทำให้รากของข้าวมีความยาวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับลำต้นที่อยู่เหนือดินยาวของยอด²¹

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บี ของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงในกลุ่มควบคุมจะมีปริมาณมากที่สุด แต่เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับสารละลาย Hoagland (สูตรดัดแปลง) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์บีจะมีปริมาณลดลง ซึ่งแปรผกผันตามความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น ต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะแล้งจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพืชเกิดความเครียดจากสภาวะแล้ง จะทำให้พืชเกิดสารอนุมูลอิสระและสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งมีฤทธิ์ในการทำลายโครงสร้างของคลอโรฟิลล์และโครงสร้างต่างๆ ของเซลล์¹⁷ แม้พืชจะมีกลไกในการกำจัดสารประกอบที่เป็นพิษต่างๆ เหล่านี้ แต่หากมีปริมาณมากเกินไป พืชจะไม่สามารถกำจัดได้ทันเวลา จึงส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดต่ำลงมากที่สุด รวมทั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง และการสร้างอาหารของต้นข้าวด้วยเช่นกัน⁶ เมื่อพืชขาดน้ำทำให้เซลล์เหี่ยว ปากใบปิด ลดศักยภาพในการดูดจับคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ซึ่งเป็นตัวรับพลังงานแสงใน photosystem II มีปริมาณลดลงทำให้ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง⁹ นอกจากนี้ การขาดน้ำของข้าวจะมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการขนส่งอาหารไปที่เมล็ด ถ้าหากการขนส่งถูกยับยั้ง การสร้างผลผลิตก็จะลดลง¹⁵

ปริมาณน้ำตาลรวมของข้าวสายพันธุ์มะลิแดงที่มีค่าสูงสุด คือ สารละลาย Hoagland's ร่วมกับสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่ระดับความเข้มข้น 200 mM เมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชหลายชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาวะแห้งแล้ง สภาวะเครียดเกลือ หรือสภาวะที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป พืชจึงปรับตัวโดยการสร้างสาร compatible solutes ในรากเพื่อลดค่าซัลติคิตีของน้ำในราก และทำให้พืชดูดน้ำไปใช้ได้ นอกจากจะสะสมที่รากแล้วพืชยังสะสมในส่วนอื่นๆ เช่น ลำต้นหรือใบด้วย เพื่อให้ลำต้นมีการลำเลียงไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง ในกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ก็สามารถจะสังเคราะห์สาร compatible solutes ขึ้นได้¹⁸ สารชนิดนี้แม้จะสะสมในปริมาณที่สูงในเซลล์ก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานของเซลล์และเอนไซม์ต่างๆ และไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลง²⁵ สารในกลุ่มนี้อาจจะอยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น ฟรุคโตส (fructose) และกลูโคส (glucose) น้ำตาลเชิงซ้อน เช่น ทรีฮาโลส (trehalose) ราฟฟิโนส (raffinose) และฟรุคแทน (fructans) แอลกอฮอล์ เช่น ซอร์บิทอล (Sorbitol) แมนนิทอล (Mannitol)

กลีเซอรอล (glycerol) และเมทิลเลท อินโนซิทอล (methylated inositols) กรดอะมิโน ได้แก่ โพรลีน (proline) ไกลซีน เบทาอีน (glycine betaine) และโพรลีน เบทาอีน (proline betaine) เป็นต้น พืชที่มีความสามารถในการทนต่อสภาวะขาดน้ำสูง เช่น *Boea hydroscopica*, *Craterostigma plantagineum* และ *Sporobolus stapfianus* พืชเหล่านี้สามารถมีชีวิตอยู่ได้แม้เหลือน้ำในเซลล์เพียงร้อยละ 2 เมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำ นอกจากนี้ พืชเหล่านี้ยังมีการสะสมน้ำตาลโดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำตาลซูโครสและอนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น น้ำตาลในกลุ่มราฟฟิโนสเพิ่มมากขึ้น^{20,12,13} นอกจากนี้จากการศึกษาผลการวิจัยของ Vu et al. (1998)²⁴ พบว่า สายพันธุ์ข้าวหอมมะลิที่อยู่ในระยะต้นกล้า เมื่อเกิดการขาดน้ำทั้งจากความแห้งและความเครียดเกลือ จะส่งผลให้ต้นข้าวเกิดการสะสมของน้ำตาลในปริมาณที่สูงขึ้นเช่นกัน แม้ว่าสภาวะขาดน้ำจะทำให้พืชมีการปิดปากใบ และทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงรวมถึงการสร้างน้ำตาลลดต่ำลง เมื่ออัตราการเจริญเติบโตลดต่ำลง ส่งผลให้พืชลำเลียงน้ำตาลออกไปยังส่วนต่างๆ น้อยลง น้ำตาลและสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงสะสมอยู่ในใบมากขึ้น²²

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงโดยได้รับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวสายพันธุ์หอมมะลิแดง จากศูนย์มันยืนโครงการรวบรวมพันธุ์ข้าว จังหวัดมหาสารคาม และขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวาน และผัก. [ออนไลน์]. 2548 [สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2556] ได้จาก <http://www.rdi.ku.ac.th>
2. เฉลิมพล แซมเพชร สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2535.
3. พงศ์เทพ อินตะริกานนท์ เสวนาเรื่องทิศทางการวิจัยและการใช้ปุ๋ยในอนาคต. วารสารเคหะการเกษตร 2543; 24(9): 152-156.
4. พูนพิภพ เกษมทรัพย์ ชีววิทยา 2. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ, บริษัท ด้านสุทธนาการพิมพ์ จำกัด; 2554.
5. วรัญญา สร้อยโยงาม. ภัยแล้ง (ภัยพิบัติธรรมชาติ). [ออนไลน์]. 2555 [สืบค้นเมื่อ 7 มิถุนายน 2556] ได้จาก <http://sd-group2.blogspot.com>
6. วัฒนา พัฒนากุล, สุมาลี คงสอดทรัพย์. ผลของการแช่เมล็ดในกรดแอบซิงิกและพอลิโคลบิวทราโซลต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ในสภาวะแล้ง. Graduate research conference 2555; BM01-BM01-9.
7. สุชญา พิมพ์พิไล. การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวหอมมะลิแดงแบบหุงสุกเร็ว. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปี 2548; 2549.
8. สุรศักดิ์ หวังสินสุจริต. การคัดเลือกพันธุ์ข้าว (*Oryza sativa* L.) ด้านทนต่อสภาพแล้งโดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต] กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2542.
9. สุรียันตร์ ฉะอุม, กัลยาณี สามภักดิ์, เกียรติกร โมสาลียานนท์, รื่นฤดี วันสสุกุล, กัญยารัตน์ สุไพบูลย์วัฒน์, เฉลิมพล เกิดมณี ผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำในใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นยูคาลิปตัสในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. Agricultural Extension and Communication, Bangkok (Thailand), 2542; 3(1): 205-210.
10. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมชลประทาน กรมส่งเสริมการเกษตร กรมการข้าว GISTDA. รายงาน สถานการณ์

- การเพาะปลูกข้าว ปี 2559/60 รอบที่ 1; 2560.
11. Abdalla MM, El-Khoshiban NH. The influence of water stress on growth, water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research* 2007; 3(12): 2062-2074.
 12. Albin FM, Murelli C, Patriiti G, Rovati M, Zienna P, Finzi PV. Low molecular weight substances from the resurrection plant *Sporobolus stapfianus*. *Phytochemistry* 1994; 37: 137-142.
 13. Albin FM, Murelli C, Finzi PV, Ferrarotti M, Cantoni B, Puliga S, Vazzana C. Galactinol in the leaves of the resurrection plant *Boea hygroskopica*. *Phytochemistry* 1999; 51: 499-505.
 14. Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 1949; 24(1): 1-15.
 15. Boyer JS. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. *Plant Physiology* 1995; 47: 816-820.
 16. Dubois M, Gilles K, Hamilton J, Rebers P, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 1956; 28(3): 350-356.
 17. Goodwin TW, Mercer EI. *Introduction to Plant Biochemistry, Second Edition*. 2nd edition. New York: Pergamon Press; 1988
 18. Hussain TM, Chandrasekhar T, Hazara M, Sultan Z, Saleh BK, Gopal GR. Recent advances in salt stress biology – a review. *Biotechnology and Molecular Biology Review* 2008; 3(1): 008-013.
 19. Nguyen HT, Babu RC, Blum A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 1997; 37: 1426-1443.
 20. Norwood M, Truesdale MR, Richter A, Scott P. Photosynthetic carbohydrate metabolism in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. *Journal of Experimental Botany* 2000; 51: 159-165.
 21. Pattangul W. Exogenous Abscisic Acid Enhances Sugar Accumulation in Rice (*Oryza sativa* L.) Under Drought Stress. *Asian journal of plant sciences* 2011; 10(3): 212-219.
 22. Pelleschi S, Rocher JP, Prioul JL. Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves. *Plant, Cell and Environment* 1997; 20: 493-503.
 23. Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 2004; 161: 1189-1202.
 24. Vu JCV, Baker JT, Pennanen AH, Allen H, Bowes G, Boote KJ. Elevated CO₂ and water deficit effects on photosynthesis, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, and carbohydrate metabolism in rice. *Physiologia Plantarum* 1998; 103: 327-339.
 25. Yokoi S, Bressan RA, Hasegawa PM. Salt stress tolerance of plants. *Japan International Research Center for Agricultural Sciences* 2002; 4(2): 25-33.