ผลของกลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ต่อผลผลิตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนถั่วเขียว

Effects of glucose and NaCl on yield and antioxidant activity in mung bean sprouts

อินทิรา ขูดแก้ว[1*] และ สาวิตรี กี่กระโทก[1]

Intira Koodkaew[1*] and Savitri Geegatok[1]

บทคัดย่อ: ต้นอ่อนถั่วเขียวจัดเป็นผักที่นิยมบริโภค เนื่องจากปลูกง่าย มีคุณค่าทางโภชนาการ และสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้พืชสามารถสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับสภาวะเครียด งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเพิ่มปริมาณสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพในต้นอ่อนด้วยสภาวะเครียด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต สารประกอบฟีนอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนถั่วเขียวอายุ 3 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 6 ทรีทเมนต์ ได้แก่ ชุดควบคุม กลูโคสความเข้มข้น 1, 10 และ 100 มิลลิโมลาร์ และโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 และ 10 มิลลิโมลาร์ ผลการทดลองพบว่า กลูโคสและโซเดียมคลอไรด์กระตุ้นการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนถั่วเขียว โดยโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ให้ผลดีที่สุด มีผลผลิตและปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น 14.28 และ 12.41 % เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ซึ่งแสดงด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 5.59 ± 0.33 มก./มล. จากผลการศึกษาจะเห็นว่าการให้กลูโคสและโซเดียมคลอไรด์แก่ต้นอ่อนถั่วเขียวสามารถช่วยเพิ่มปริมาณสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพได้

คำสำคัญ: ต้นอ่อนงอก, น้ำตาล, โซเดียมคลอไรด์, สารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ

Abstract: Mung bean sprouts are a popular vegetable consumptions because they are easily to grow and high nutritional values as well as rich in health-promoting compounds. These metabolites are more mainly produced due to various environmental stresses. This study was focused on enhancing health-promoting compounds in sprout by stress condition. Therefore, the objective of this study was to investigate the effects of glucose and NaCl on the growth, yield, phenolic compounds and antioxidant activity in mung bean sprouts. The experiment was planned as completely randomized design with 6 treatments, namely control, 1, 10 and 100 mM glucose and 1 and 10 mM NaCl. The results showed that glucose and NaCl improved growth, increased yield, phenolic compounds and antioxidant activity. The treatment of 10 mM NaCl displayed the most efficiency, increased yield and phenolic compounds with 14.28 and 12.41 %

[1] โครงการจัดตั้งภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Botany, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng-Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

* Corresponding author: faasirk@ku.ac.th

compared with the control, respectively, and also showed the highest antioxidant activity (IC_{50} = 5.59 ± 0.33 mg/mL). These results indicated that application of glucose and NaCl on mung bean sprouts could enhance health-promoting compounds.
Keywords: sprouts, sugar, sodium chloride, health-promoting compounds

บทนำ

ค่านิยมในปัจจุบันมีความต้องการรับประทานอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น ต้นอ่อนพืชจัดเป็นทางเลือกหนึ่ง เนื่องจากปลูกได้ง่าย และอุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย รวมถึงสารประกอบต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) (Cevallos-Casals and Cisneros-Zevallos, 2010; Pajak et al., 2014) ต้นอ่อนถั่วเขียว (*Vigna radiata* L.) หรือถั่วเขียวงอก เป็นที่นิยมในการปรุงอาหารหลายชนิดในทวีปเอเชียและประเทศไทย ต้นอ่อนถั่วเขียวประกอบไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ (กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2544) รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอล ซึ่งมีมากกว่าเมล็ดถั่วเขียวแห้ง (Cevallos-Casals and Cisneros-Zevallos, 2010)

สภาวะแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และการสร้างสารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) ภายในพืช (Akula and Ravishankar, 2011) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ส่วนใหญ่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงเริ่มมีงานวิจัยศึกษาการเพิ่มปริมาณสารประกอบทุติยภูมิ อาทิ สารประกอบฟีนอล สารกลูโคซิโนเลต (glucosinolate) และสารต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนพืช ด้วยการให้สภาวะเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิต (abiotic stress) (Swieca, 2015) น้ำตาล (Guo et al., 2011; Wei et al., 2011) โซเดียมคลอไรด์ (Yuan et al., 2010) หรือการให้สารจำพวก elicitor เช่น salicylic acid และ methyl jasmonate (Natella et al., 2016) สภาวะเครียดออสโมติก (osmotic stress) เป็นสภาวะเครียดที่ทำให้พืชไม่สามารถนำน้ำจากสิ่งแวดล้อมไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา รวมถึงการสร้างสารประกอบภายในพืช (นวรัตน์, 2558) โดยทั่วไป น้ำตาลและโซเดียมคลอไรด์สามารถเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายภายนอกเซลล์ ก่อให้เกิดสภาวะเครียดออสโมติกได้ และส่งผลต่อการสร้างพฤกษเคมีภายในพืช มีรายงานว่าต้นอ่อนบล็อกเคอรี่มีการสร้างสารประกอบฟีนอล กลูโคซิโนเลต และสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับกลูโคส หรือโซเดียมคลอไรด์ (Guo et al., 2011; Guo et al., 2014) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษาผลของสภาวะเครียดต่อต้นอ่อนถั่วเขียว การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอล และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนถั่วเขียว

วิธีการศึกษา

การปลูกต้นอ่อนถั่วเขียว

นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 2 จากศูนย์ปรับปรุงเมล็ดพันธุ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม มาแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมงและบ่มในที่มืด 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปลูกลงบนตะกร้าพลาสติกที่มีกระดาษทิชชูที่ชุ่มไปด้วยน้ำวางอยู่ 3 ชั้น โดยใช้เมล็ด 350 เมล็ดต่อหนึ่งตะกร้า และใช้กระดาษทิชชูปิดทับเมล็ดเก็บไว้ในพลาสติกทึบแสง โดย 1 ตะกร้า คือ 1 ซ้ำการทดลอง ให้น้ำทุกวันเวลาเช้าและเย็น ปริมาตรครั้งละ 50 มล. ต่อหนึ่งตะกร้า

การให้สารละลายกลูโคสและโซเดียมคลอไรด์และการวัดการเจริญเติบโตและผลผลิต

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบไปด้วย 6 ทรีทเมนต์ ได้แก่ ชุดควบคุม สารละลายกลูโคสความเข้มข้น 1, 10 และ 100 มิลลิโมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 และ 10 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของทรีทเมนต์ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากการศึกษาเบื้องต้น ซึ่งพบว่าต้นอ่อนถั่วเขียวสามารถเจริญเติบโตได้เมื่อได้รับความเข้มข้นเหล่านี้ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) เมื่อต้นกล้าอายุ 2 วันหลังปลูก ให้สารละลายกลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตรตะกร้าละ 50 มล. โดยการฉีดพ่น หลังจากให้ทรีทเมนต์ 24 ชั่วโมง เก็บเกี่ยวผลผลิตและวัดการเจริญเติบโต โดยสุ่มตัวอย่างต้นอ่อนถั่วเขียว 30 ต้น วัดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นอ่อนใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) โดยใช้เวอร์เนียดิจิตอล วัดสูงจากโคนต้น 1 ซม. วัดความยาวต้น และความยาวราก โดยใช้ไม้บรรทัด จากนั้นสุ่มตัวอย่างต้นอ่อนถั่วเขียว 100 ต้น แยกส่วนต้นและรากชั่งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative water content หรือ RWC)

ตัวอย่างพืช 2 กรัมตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งน้ำหนักสด (fresh weight; FW) และแช่ในน้ำกลั่น 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (turgor weight; TW) และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight; DW) คำนวณปริมาณน้ำสัมพัทธ์ จากสมการ RWC (%) = [(FW-DW)/(TW-DW)] x 100 (Lai et al., 2014)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลด้วยสาร Folin-Ciocalteu ตามวิธีการของ Singleton et al. (1999) บดต้นอ่อนถั่วเขียว 1 กรัมด้วยไนโตรเจนเหลว เติมสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 20 % ปริมาตร 10 มล. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที 10 นาที นำสารละลายใสส่วนบน (supernatant) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมกับสาร Folin-Ciocalteu ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 8 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20 % ปริมาตร 750 ไมโครลิตรและน้ำกลั่น 950 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu, Japan) โดยใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน สมการของกราฟมาตรฐาน คือ $y = 0.0033x + 0.0055$ ($r^2 = 0.9975$) ดังนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลแสดงผลเป็นค่า มก. gallic acid equivalent (GAE)/กรัมน้ำหนักสด

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity ดัดแปลงจากวิธีการของ Brand-Williams et al. (1995) เตรียมสารละลายตัวอย่างพืชให้ได้ความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มก./มล. โดยสกัดตัวอย่างพืชด้วยเอทานอล นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำตัวอย่างพืช 1.9 มล. เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ชุดควบคุมใช้เอทานอลทดแทนตัวอย่างพืช วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระจากสมการ radical scavenging (%) = $[(A_0-A_1)/A_0] \times 100$ เมื่อ A_0 คือค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของชุดควบคุม และ A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่างผสมกับ DPPH จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างพืช และ radical scavenging และหาค่า 50 % inhibitory concentration (IC_{50}) โดยใช้ trolox เป็นสารละลายมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองด้วยวิธี Analysis of variance ตามแผนการทดลอง และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan's multiple rang test ที่ระดับ $P < 0.05$ ด้วยโปรแกรม R–stat เวอร์ชั่น 3.3.3

ผลการศึกษา

การเจริญเติบโตและผลผลิต

ผลของกลูโคสความเข้มข้น 1, 10 และ 100 มิลลิโมลาร์ และโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 และ 10 มิลลิโมลาร์ ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนถั่วเขียว พบว่า เมื่อให้กลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้นมีแนวโน้มส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นอ่อนถั่วเขียว โดยส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางต้น ความยาวต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดต้นเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยที่โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 และ 10 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้ผลผลิตหรือน้ำหนักสดเพิ่มมากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม โดยเพิ่มสูงขึ้น 10.50 และ 14.28 % เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ (**Table 1**)

ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ เป็นค่าที่วัดสภาพเซลล์หนึ่งๆ ที่สามารถเก็บน้ำไว้ได้เต็มที่ของปริมาตรเซลล์นั้น ซึ่งสามารถแสดงสถานะของน้ำในเซลล์พืชได้ว่ามีเพียงพอต่อกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ ซึ่งพืชจะมีการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำสัมพัทธ์เมื่อได้รับสภาวะเครียด จากการศึกษาพบว่าการให้กลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในต้นอ่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Table 1**)

สารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ผลของกลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลในต้นอ่อนพบว่ากลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยทรีทเมนต์โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นสูงที่สุด คิดเป็น 12.41 % เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (**Figure 1A**)

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมักแสดงด้วยค่า IC_{50} หรือค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ (DPPH) ลดลง 50 % ซึ่งค่า IC_{50} ที่ต่ำ แสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูง จากการทดลองพบว่าการให้โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ มีค่า IC_{50} ต่ำที่สุด (5.59 ± 0.33 มก./มล.) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับทรีทเมนต์โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ และกลูโคสความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.41 ± 1.04 และ 7.56 ± 0.92 มก./มล. ตามลำดับ (**Figure 1B**)

วิจารณ์

ทดลองการให้สภาวะเครียดออสโมติกแก่ต้นอ่อนถั่วเขียวโดยใช้กลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญเติบโต การสร้างสารประกอบฟีนอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่ากลูโคสและโซเดียมคลอไรด์มีแนวโน้มกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นอ่อนถั่วเขียว และเพิ่มปริมาณผลผลิต โดยโซเดียมคลอไรด์ส่งผลให้ผลผลิตของต้นอ่อนเพิ่มขึ้นได้ชัดเจนกว่ากลูโคส (**Table 1**) แสดงว่าต้นอ่อนสามารถปรับตัวให้ทนต่อสภาวะเครียดนี้ได้ ซึ่งสนับสนุนโดยค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับกลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ (**Table 2**) ซึ่งเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดออสโมติกมักจะมีการเพิ่มค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ขึ้นภายในเซลล์พืช (Lugojan and Ciulca, 2011) ต้นอ่อนมีการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ อาจเป็นไปได้ว่าต้นอ่อนมีการนำ

Table 1 Physical characteristics of mung bean sprouts after expose to glucose and NaCl growing treatments.

-Treatments	Stem diameter (mm)	Length (cm)		Fresh weight (g/100 plants)		Dry weight (g/100 plants)		RWC (%)
		Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root	
Control	1.89±0.06c[1/]	3.75±0.15d	5.74±0.09b	21.43±0.59c	5.96±0.27ab	3.07±0.10a	0.37±0.01	77.72±1.23
Glucose1 mM	2.04±0.08bc	4.50±0.14bc	6.46±0.14a	22.47±0.45bc	6.22±0.39a	2.92±0.01ab	0.36±0.03	80.16±1.37
Glucose10 mM	2.17±0.02ab	4.66±0.08abc	6.31±0.15a	22.70±0.62bc	5.60±0.25ab	2.88±0.03b	0.34±0.04	79.96±1.41
Glucose100 mM	2.19±0.02a	4.45±0.19c	5.65±0.21b	22.19±0.52bc	5.14±0.52b	3.01±0.02ab	0.35±0.04	81.16±1.40
NaCl 1 mM	2.11±0.04ab	5.00±0.10a	6.41±0.15a	23.68±0.38ab	5.82±0.42ab	3.01±0.09ab	0.37±0.03	83.74±3.89
NaCl 10 mM	2.17±0.02ab	4.81±0.03ab	6.47±0.15a	24.49±1.01a	6.17±0.45ab	2.98±0.07ab	0.37±.004	83.58±1.43

[1/] Data are expressed as mean ± SEM of three replications and the same letter in the same column are not significantly different, $P \geq 0.05$.

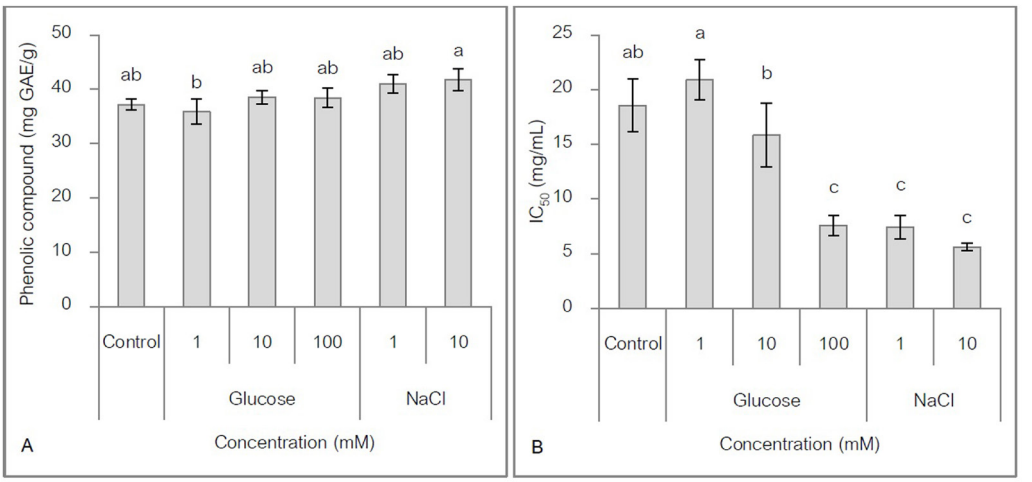

Figure 1 Effects of glucose and NaCl on phenolic compound content (A) and IC_{50} (B) in mung bean sprouts. Data are expressed as mean ± SEM of three replications. Different letters above bars indicate significant difference ($P < 0.05$). IC_{50} of Trolox = 0.013 mg/mL.

โซเดียมคลอไรด์ไปใช้ประโยชน์ โซเดียมคลอไรด์ไม่เพียงแต่เป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดสภาวะเครียดจากความเค็มในพืช (Munns and Termaat, 1986) แต่ยังประกอบไปด้วย Na^+ และ Cl^- ซึ่งจัดเป็นธาตุอาหารของพืช ดังนั้น การให้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นไม่สูงมาก ต้นอ่อนอาจมีการปรับค่าออสโมติก (osmotic adjustment) โดยใช้สารอาหารที่สะสมอยู่ในใบเลี้ยง ทำให้ดูดน้ำไปใช้ได้ และมีการนำ Na^+ และ Cl^- ไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม จึงมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Scialabba and Melati, 1990) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yuan et al. (2010) พบว่าโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้น้ำหนักสดของต้นอ่อนแรดิชเพิ่มมากขึ้น กลูโคสไม่เพียงแต่เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่เป็นสารส่งสัญญาณ (signal molecule) ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเจริญเติบโต และกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ในพืช (Rolland et al., 2006) ดังนั้นเมื่อต้นอ่อนได้รับความเข้มข้นของกลูโคสที่เหมาะสมจึงมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นได้

สภาวะเครียดส่งผลให้พืชมีการสร้างสารประกอบทุติยภูมิเพิ่มมากขึ้นเพื่อปรับตัวให้ทนต่อสภาวะเครียดนั้นๆ (Akula and Ravishankar, 2011) จากผลการทดลองจะเห็นว่าต้นอ่อนถั่วเขียวมีแนวโน้มในการสร้างสารประกอบฟีนอลเพิ่มมากขึ้น (**Figure 1A**) โดยสอดคล้องกับรายงานการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลในต้นอ่อนแรดิชและบล็อกเคอรี่เมื่อได้รับโซเดียมคลอไรด์ ซูโครส และแมนนิทอล (Yuan et al., 2010; Guo et al., 2011) ซึ่งสารประกอบฟีนอลเป็นสารประกอบทุติยภูมิที่พืชมักสร้างเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับสภาวะเครียด (Akula and Ravishankar, 2011) นอกจากนี้ กลูโคสความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ และโซเดียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้นส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนเพิ่มมากขึ้น โดยพิจารณาจากค่า IC_{50} ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Figure 1B**) แสดงว่าต้นอ่อนมีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น โดยปกติ สภาวะเครียดจะส่งผลให้สมดุลภายในเซลล์สูญเสียไป ทำให้มีการสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น (Bohnert and Jensen, 1996) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของฤทธิ์

การต้านอนุมูลอิสระน่าจะเป็นการตอบสนองของต้นอ่อนต่อสภาวะเครียด โดยฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบฟีนอลจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในพืช อย่างไรก็ตาม มีรายงานถึงสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญกลุ่มอื่นในต้นอ่อนบล็อกเคอรี่ เช่น กรดแอสคอร์บิก แคโรทีนอยด์ หรือฟลาโวนอยด์ (Natella et al., 2016) ซึ่งควรทำการศึกษาต่อไปในต้นอ่อนถั่วเขียว

สรุป

กลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ส่งผลกระตุ้นการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิตของต้นอ่อนถั่วเขียว และส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนเพิ่มมากขึ้น โดยโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ให้ผลดีที่สุด ดังนั้นการให้กลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มผลผลิตและปริมาณสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) ที่มอบทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2544. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ.

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ. 2558. สรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะเครียด. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Akula, R., and G.A. Ravishankar. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signal. Behav. 6: 1720–1731.

Bohnert, H.J., and R.G. Jensen. 1996. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. Trends Biotechnol. 14: 89–97.

Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT Food Sci. Technol. 28: 25–30.

Cevallos-Casals, B.A., and L. Cisneros-Zevallos. 2010. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. Food Chem. 119: 1485–1490.

Guo, L., R. Yang, Z. Wang, Q. Guo, and Z. Gu. 2014. Effect of NaCl stress on health-promoting compounds and antioxidant activity in the sprouts of three broccoli cultivars. Int. J. Food Sci. Nutr. 65: 476–481.

Guo, R., G. Yuan, and Q. Wang. 2011. Effect of sucrose and mannitol on the accumulation of health-promoting compounds and the activity of metabolic enzymes in broccoli sprouts. Sci. Hort. 128: 159–165.

Lai, S-J., M-C. Lai, R-J. Lee, Y-H. Chen, and H. E. Yen. 2014. Transgenic *Arabidopsis* expressing osmolyte glycine betaine synthesizing enzymes from halophilic methanogen promote tolerance to drought and salt stress. Plant Mol. Biol. 85: 429–441.

Lugojan, C., and S. Ciulca. 2011. Evaluation of relative water content in winter wheat. J. Hortic. Fores. Biotechnol. 15: 173–177.

Munns, R., and A. Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. Aust. J. Plant Physiol. 13: 143–160.

Natella, F., M. Maldini, M. Nardini, E. Azzini, M.S. Foddai, A.M. Giusti, S. Baima, G. Morelli, and C. Scaccini. 2016. Improvement of the nutraceutical quality of broccoli sprouts by elicitation. Food Chem. 201: 101–109.

Pajak, P., R. Socha, D. Galkowska, J. Roznowski, and T. Fortuna. 2014. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. Food Chem. 143: 300–306.

Rolland, F., E. Baena-Gonzalez, and J. Sheen. 2006. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. Annu. Rev. Plant Biol. 57: 675–709.

Scialabba, A., and M.R. Melati. 1990. The effect of NaCl on growth and xylem differentiation of radish seedlings. Bot. Gaz. 151: 516–521.

Singleton, V.L., R. Orthofer, and R.M. Lamuela-Ravenros. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Method Enzymol. 299: 152–178.

Swieca, M. 2015. Elicitation with abiotic stresses improves pro-health constituents, antioxidant potential and nutritional quality of lentil sprouts. Saudi J. Biol. Sci. 22: 409–416.

Wei, J., H. Miao, and Q. Wang. 2011. Effect of glucose on glucosinolates, antioxidants and metabolic enzymes in *Brassica* sprouts. Sci. Hort. 129: 535–540.

Yuan, G., X. Wang, R. Guo, and Q. Wang. 2010. Effect of salt stress on phenolic compounds, glucosinolates, myrosinase and antioxidant activity in radish sprouts. Food Chem. 121: 1014–101