

อิทธิพลของกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต
ของข้าวโพดข้าวเหนียวในสภาวะขาดน้ำ

Effect of Salicylic Acid on Growth and Carbohydrate Metabolism of Waxy Corn
(*Zea Mays Var. Ceratina*) Under Drought Stress

รังสิมา วิเศษศรี (Rangsima Wisedsri)* วัฒนา พัฒนากุล (Wattana Pattanagul)**

บทคัดย่อ

ศึกษาอิทธิพลของกรดซาลิไซลิกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ปุ้มปุ้ย (*Zea mays var. certain.*; white sweet corn) ในระยะต้นกล้าในสภาวะแล้ง ทำการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวในเรือนทดลอง แบ่งเป็น 6 กลุ่มได้แก่ กลุ่มควบคุม กลุ่มแล้ง และกลุ่มที่ได้รับการพ่นสารละลายกรดซาลิไซลิก เข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ งดให้น้ำ 7 วัน ผลการศึกษาพบว่าสภาวะแล้งส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตลดลง กรดซาลิไซลิกช่วยให้ข้าวโพดมีความสามารถในการทนต่อสภาวะแล้งได้ดีขึ้น นอกจากนี้กรดซาลิไซลิกยังส่งผลปริมาณน้ำสัมพัทธ์และปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะแล้ง ข้าวโพดจะมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะแล้ง ทั้งนี้จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่ากรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ จะมีประสิทธิภาพทำให้ต้นกล้าข้าวโพดมีความสามารถในการทนแล้งได้ดีที่สุด

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effects of salicylic acid on some physiological characteristics and carbohydrate metabolism of waxy corn (*Zea mays var. ceratina.*; white sweet corn) under drought stress. The seedlings were grown and separated into 6 groups including control, drought, and sprayed with 50, 100, 150 and 200 mM salicylic acid. Water was withheld for 7 days. The results showed that drought stress significantly reduced plant growth. Salicylic acid can alleviate the effect of drought stress by increasing shoot and root lengths, fresh and dry weights of shoot and roots. Salicylic acid also increased relative water contents as well as chlorophyll under drought stress. In addition, sugar accumulation was observed under drought stress. It is, therefore, concluded that spraying with 50 mM salicylic acid can alleviate the effects of drought stress in waxy corn.

คำสำคัญ: กรดซาลิไซลิก ข้าวโพดข้าวเหนียว การทนแล้ง

Key Words: Salicylic acid, Waxy corn, Drought tolerance

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ข้าวโพด (*Zea mays* var. *ceratina*) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญรองจากข้าวสาลีและข้าว ประชาชนในทวีปอเมริกา อเมริกาใต้ และเอเชีย นำเอาข้าวโพดมาบริโภคเป็นอาหารแทนข้าวสาลีและข้าว นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ข้าวโพดข้าวเหนียวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อร่างกาย ภายในเมล็ดประกอบด้วย อะไมโลเพคติน เมื่อถูกความร้อนจะเหนียวเหมือนขี้ผึ้ง นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้ทำอาหารสำหรับอุตสาหกรรมทอผ้า พิมพ์ลายดอกต่างๆ อุตสาหกรรมไม้อัดและกระดาษอัด (สนิท, 2527) ในประเทศไทยนิยมรับประทานฝักสด ซึ่งมีคุณค่าทางสารอาหารสูงและทำรายได้ให้กับชุมชน แต่ปัญหาสำคัญที่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดประสบปัญหาในการผลิตข้าวโพด คือการมีภาวะฝนทิ้งช่วง เกิดความแห้งแล้งในขณะที่อยู่ในระยะต้นกล้าหรือระยะการออกดอก ซึ่งจะทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก (Dubey, 1994)

สภาวะขาดน้ำมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (Boyer, 1976; Ludwig and Matthews, 1993) การสังเคราะห์น้ำตาลและแป้งในพืชน้อยลง ปากใบปิด เกิดสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive oxygen species; ROS) ซึ่งสารเหล่านี้จะทำลายองค์ประกอบของเซลล์ เช่น ดีเอ็นเอ โปรตีน เยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์พืชได้รับความเสียหาย จนมีผลต่อการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของพืช กระบวนการตอบสนองของพืชต่อสภาวะแล้งอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงและช่วงเวลาของการขาดน้ำหรือช่วงอายุของพืช โดยการตอบสนองบางส่วนเป็นกระบวนการที่ทำให้พืชมีการปรับตัวให้มีชีวิตอยู่รอดได้ (Cha-um et al., 2007) เช่น การสร้างเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัดสารอนุมูลอิสระ ได้แก่ Superoxide dismutase (SOD) Ascorbate peroxidase (APX) รวมไปถึงการสะสมตัวกลูตาไธโอนอื่น ๆ เช่น โปรตีน เป็น

ต้น (จริญญา, 2550) การลดขนาดของพื้นที่ใบ (Farooq et al., 2009) การม้วนของใบและปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ ในขณะที่เดียวกันก็จะส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยอัตราการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชจะลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบลดลง นอกจากนั้นยังลดปริมาณและประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และยังส่งผลให้พืชเกิดการหลุดร่วงของใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำอีกด้วย (Abdalla and EI-Khoshiban, 2007) ระดับเอนไซม์ในพืชลดลงเนื่องจากกระบวนการสร้างโปรตีนลดลง (Benzioni et al., 1967; Hsiao, 1973) ผลของการขาดน้ำต่อกระบวนการดังกล่าวจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความรุนแรงของการขาดน้ำและการเจริญเติบโตของพืช

กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid; SA) เป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญในการตอบสนองทางสรีรวิทยา (สัมฤทธิ์, 2544) สังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน โดยฟีนิลอะลานีนจะเปลี่ยนเป็น trans-cinnamic acid จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็น benzoic acid และเป็นกรดซาลิไซลิกในที่สุด (Davies, 1995) กรดซาลิไซลิกเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นนักวิจัยหลายคนจึงได้จัดไว้ในกลุ่มสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Raskin, 1992) และทำหน้าที่เป็นสัญญาณไปกระตุ้นการทำงานของยีนที่ควบคุมการสร้างโปรตีนต่าง ๆ ที่ช่วยในการต้านทานต่อเชื้อโรค (จริญญ์, 2549) กระตุ้นการเชื่อมต่อของโปรตีนที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ ซึ่งจะทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้น (Bradley et al., 1992) ควบคุมการปิด-เปิดของปากใบ การออกของเมล็ด การดูดซับประจุ การแสดงออกของเพศและการต้านทานการเข้าทำลายของโรค และยังยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลีน ทำให้ถูกนำมาใช้เพื่อชะลอการสุกของผลไม้ (ศิริชัย, 2548) จากการศึกษาผลของกรดซาลิไซลิก ต่อการส่งเสริมการ

ด้านทานต่อเชื้อโรคของพืชบางชนิด ได้แก่ Tobacco mosaic virus หรือ TMV (Malamy et al., 1990) Tobacco necrosis และเชื้อรา *Colletotrichum lagenarium* พบว่าใบของพืชที่ได้รับเชื้อไวรัสหรือเชื้อรา จะทำให้เนื้อเยื่อใบส่วนนั้นแบ่งตัวเพิ่มมากขึ้น กรดซาลิไซลิกมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการผลิตโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับเชื้อโรค หรือ Pathogenesis related (PR) proteins หนึ่งหรือสองชนิดทำให้เพิ่มความต้านทานโรคในใบที่ได้รับเชื้อโรคและใบข้างเคียง นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการยับยั้งวิธีการสังเคราะห์เอธิลีนและการออกของเมล็ด ขัดขวางการตอบสนองต่อกลไกการเกิดบาดแผลในพืช ยับยั้งการร่วไหลของฮิออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และเพิ่มการดูดน้ำและแร่ธาตุในรากได้อย่างรวดเร็ว ลดการคายน้ำในใบโดยชักนำการปิดปากใบ กระตุ้นการร่วงของใบและยับยั้งการเจริญเติบโต (Malamy and Klessig, 1992; Raskin, 1992)

จากคุณสมบัติของกรดซาลิไซลิกที่กล่าวมาข้างต้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ปทุมปุยที่อยู่ในสภาวะขาดน้ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะช่วยให้เข้าใจบทบาทและความสำคัญของกรดซาลิไซลิกมากขึ้น และยังสามารถนำไปพัฒนาการเพาะปลูกและผลผลิตของข้าวโพดให้มีความสามารถในการทนแล้งมากขึ้นต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ตัวอย่างพืช

ทำการเพาะเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ปทุมปุยโดยนำมา ล้างด้วยน้ำประปา 3 ครั้ง หลังจากนั้นแช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 28 ± 2 °C นำเมล็ดผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำไปปลูกในกระถางพลาสติก จำนวน 36 กระถาง เมื่อต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียวครบ 14 วัน แบ่งเป็น 6 กลุ่มคือ กลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มที่ให้น้ำตามปกติ กลุ่มแล้งคือกลุ่ม

ทิ้งดินให้น้ำ และกลุ่มที่ได้รับการพ่นด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ และงดให้น้ำ ทำการงดให้น้ำเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ผล

ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของพืช

ทำการสุ่มตัวอย่างพืช โดยนำต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียวจำนวน 6 ต้น จากแต่ละกลุ่ม นำมาวัดความยาวลำต้น ความยาวราก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักสดของลำต้นและราก และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแห้งของลำต้นและราก

สุ่มเลือกต้นข้าวโพดอีก 6 ต้นจากแต่ละกลุ่ม เพื่อนำมาหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบข้าวโพด โดยนำต้นข้าวโพดล้างใบให้สะอาด ซับน้ำให้แห้ง นำใบมาเจาะด้วยที่เจาะกระดาษประมาณ 10-15 ชิ้น บันทึกค่าน้ำหนักสด นำเนื้อเยื่อใบแช่น้ำกลั่นที่ปราศจากฮิออน ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นซับตัวอย่างใบให้แห้ง แล้วบันทึกค่าน้ำหนักที่มีน้ำอึดตัว นำตัวอย่างใบไปอบให้แห้ง บันทึกค่าน้ำหนักแห้ง จากนั้นคำนวณค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ตามวิธีการของ Turner (1981) จากนั้นทำการหาปริมาณคลอโรฟิลล์โดยตัดตัวอย่างใบข้าวโพดประมาณ 0.05 กรัม เติมน้ำ 80% acetone 5 มล. ใส่ในหลอดปิดหลอดเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำสารละลายคลอโรฟิลล์ที่ได้วัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์โดยวิธีของ Arnon (1949)

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบพืช

นำตัวอย่างใบข้าวโพดหนักประมาณ 0.1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง สกัดน้ำตาลออกจากเนื้อเยื่อใบโดยการเติมน้ำ 80% เอทานอล ปริมาตร 3 มล. นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปแช่น้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อสกัดน้ำตาลออกจากตัวอย่างใบ เก็บสารละลายที่ได้ แล้วเติมน้ำ 80%

เอทานอล ปริมาตร 3 มล. สกัดซ้ำ 3 ครั้ง นำสารละลายน้ำตาลที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในใบข้าวโพด ส่วนใบพืชที่สกัดน้ำตาลออกจนหมดแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแป้งที่มีอยู่ในใบ

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล ทำโดยการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในใบข้าวโพด โดยวิธี phenol-sulfuric (Dubois et al., 1956) โดยนำสารละลายที่สกัดจากใบปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติมสารละลาย 5% phenol ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และกรด sulfuric เข้มข้น ปริมาตร 1 มล. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในใบข้าวโพด โดยเทียบกับสารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน จากนั้นหาปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบข้าวโพด โดยใช้วิธี resorcinol-HCl (Robbins and Pharr, 1987) โดยนำสารละลายที่สกัดจากใบปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติมสารละลาย 1% resorcinol ปริมาตร 250 ไมโครลิตร และกรดไฮโดรคลอริก 30% ปริมาตร 750 ไมโครลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร หาปริมาณน้ำตาลซูโครสในใบข้าวโพด โดยเทียบกับสารละลายน้ำตาลซูโครสมาตรฐาน จากนั้นหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสในใบข้าวโพด ทำโดยวิธีใช้เอนไซม์ hexokinase ร่วมกับ glucose-6-phosphate dehydrogenase นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 360 นาโนเมตร การวิเคราะห์หาปริมาณแป้งในใบข้าวโพด ทำโดยการเติม 2N Potassiumhydroxide ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ในตัวอย่างใบข้าวโพดที่สกัดน้ำตาลออกจนหมดแล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปรับ pH ด้วยสารละลาย 10% acetic acid ปริมาตร 600 ไมโครลิตร เติมเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาตร 1 มล. เพื่อสลายแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส แช่ในอ่างน้ำอุ่นที่ 45 °C เขย่าทิ้งไว้ 12

ชั่วโมง จากนั้นนำไปหาปริมาณปริมาณน้ำตาลกลูโคสโดยใช้เอนไซม์ hexokinase ร่วมกับ glucose-6-phosphate dehydrogenase โดยเทียบกับสารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน (Madore, 1990)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สภาวะแสงส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดข้าวเหนียวลดลง โดยพืชจะมีความยาวลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดลำต้นและราก น้ำหนักแห้งลำต้นและรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูป 1A, 1B, 1C, 1D, 1E และ 1F) พืชที่ได้รับกรดซาลิไซลิกจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าพืชที่ไม่ได้รับ เมื่ออยู่ในสภาวะแสง โดยพืชที่ได้รับกรดซาลิไซลิก เข้มข้น 50 mM . จะทำให้พืชมีความยาวลำต้น ความยาวรากมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับกรดซาลิไซลิกอย่างมีนัยสำคัญ (รูป 1A และ 1B) และทำให้พืชมีน้ำหนักสดลำต้นและราก และน้ำหนักแห้งลำต้นและรากเพิ่มขึ้น (รูป 1C, 1D, 1E และ 1F) ในขณะที่พืชที่ได้รับกรดซาลิไซลิกความเข้มข้นอื่น ๆ จะมีการเจริญเติบโตดีขึ้นเล็กน้อยหรือเท่ากับกลุ่มที่ไม่ได้รับกรดซาลิไซลิก

เมื่อต้นข้าวโพดข้าวเหนียวอยู่ในสภาวะขาดน้ำจะมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ พืชที่ได้รับกรดซาลิไซลิกจะมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูป 2A) นอกจากนี้สภาวะแสงยังส่งผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูป 2B) พืชที่ได้รับกรดซาลิไซลิกจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับกรดซาลิไซลิก และความเข้มข้นที่ 50 mM. จะทำให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด (รูป 2B)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลและแป้งในใบของข้าวโพดข้าวเหนียว พบว่าเมื่อต้นกล้าข้าวโพดกลุ่มแสงและกลุ่มที่ได้รับการพ่นสารละลายกรดซาลิไซลิก มีปริมาณน้ำตาลรวมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (รูป 3A) นอกจากนี้สารละลายกรดซาลิไซลิก ยังส่งผลให้พืชลดการ

สะสมปริมาณน้ำตาลซูโครสเล็กน้อย ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในกลุ่มที่ได้รับการพ่นสารละลายกรดซาลิไซลิก ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ในขณะที่กลุ่มแสงมีการสะสมน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้น (รูป 3B และ 3C) เมื่อพืชอยู่ภายใต้ภาวะแสงและได้รับการพ่นสารละลายกรดซาลิไซลิก จะมีผลต่อการสะสมปริมาณแป้งในใบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูป 3D)

การเจริญเติบโตของข้าวโพดข้าวเหนียวจะลดลงเมื่ออยู่ในสภาวะแสง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพืชขาดน้ำ ความดันเต่งในพืชต่ำลง ทำให้อัตราการขยายขนาดและการแบ่งเซลล์ลดลง (Ueda et al., 2004) พืชจะมีการปรับตัวโดยการปิดปากใบ เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ (Mahajan and Tuteja, 2005) สภาวะแสงส่งผลต่อปฏิกิริยาภายในเซลล์ของพืช เนื่องจากน้ำมีผลต่อการขยายขนาดของเซลล์ และการแบ่งเซลล์ นอกจากนั้นยังมีผลต่อการปิด-เปิดของปากใบ การเคลื่อนไหวยางของใบและกลีบดอกในการบาน การแลกเปลี่ยนแก๊สในใบเป็นปัจจัยในการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการย่อยสลายแป้ง เป็นตัวละลายเกลือแร่และน้ำตาล และการเคลื่อนที่ของสารจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งและกระบวนการขนส่งอื่นๆ ในเนื้อเยื่อต่างๆ (Kramer and Boyer, 1995; Zeiger, 1998) เมื่อพืชอยู่ในสภาวะแสงจะมีการสะสมปริมาณโปรตีนและน้ำตาล (Etherington, 1982) โดยเฉพาะน้ำตาลซูโครสและอนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น น้ำตาลในกลุ่มราฟิโนส (Norwood et al., 2000) ในงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะแสงและได้รับการพ่นด้วยสารละลายกรดซาลิไซลิก พบว่าความยาวลำต้นและความยาวรากเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ใช้กรดซาลิไซลิกในข้าวสาลีที่อยู่ในสภาวะเครียดเกลือ พบว่ามีผลกระทบให้ข้าวสาลีทนต่อความเค็มได้โดยเพิ่มการเจริญเติบโตทำให้เกิดการแบ่งเซลล์บริเวณปลายรากของต้นกล้า (Farida et al., 2003) เมื่อข้าวโพดข้าวเหนียวอยู่ในสภาวะขาดน้ำจะมีผลกระทบต่อน้ำหนักแห้งคือทำให้น้ำหนักแห้งของรากและลำต้นลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้าวโพดดูดน้ำจากดิน

ไปใช้ได้น้อยลง การดูดแร่ธาตุจากดินลดลงมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง เซลล์เกิดอาการเหี่ยว ปากใบปิด ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (Abdalla and El-Khoshiban, 2007)

กรดซาลิไซลิกมีผลส่งเสริมการเจริญเติบโตในพืช เช่น การฉีดพ่นที่ความเข้มข้น 1 mM. ให้แก่ถั่วเหลือง พบว่าทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของต้นและราก เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบต่อต้นและปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น (Yildirim et al., 2008) กรดซาลิไซลิกมีผลต่อความยาวรากและเกี่ยวข้องกับ การแบ่งตัวและการขยายตัวของเซลล์หรือออกฤทธิ์เสริมกับออกซิน (Kling and Meyer, 1983; Singh, 1993; Li and Li, 1995) การฉีดพ่นในถั่ว พบว่าสามารถเพิ่มคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บีและแคโรทีนอยด์ (Türkyilmaz et al., 2005) นอกจากนี้กรดซาลิไซลิกยังเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงในถั่วเหลืองและข้าวโพด (Khan et al., 2003) มีรายงานการใช้กรดซาลิไซลิกโดยการฉีดพ่นในข้าวทำให้ข้าวมีการสะสมตัวถูกละลาย การต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นการรักษาสภาพของเยื่อหุ้มภายในเซลล์ ซึ่งมีผลทำให้ข้าวมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆดีขึ้น (Farooq et al., 2009) การฉีดพ่นกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 100 mM. แก่ถั่วเหลืองทำให้เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงได้ (Wang and Li, 2006)) มีผลต่อการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ในถั่วเหลือง (Zhao et al., 1995) ทำให้มีการสะสมปริมาณโปรตีนเพิ่มความสามารถในภาวะแสงต่อความเครียดเค็มของถั่วเมล็ดแบน (Misra & Saxena, 2009) เมื่อฉีดพ่นในถั่วเขียวสามารถเพิ่มจำนวนฝักและผลผลิตของถั่วเขียวได้ (Singh and Kaur, 1980) กระตุ้นการออกดอกและการสะสมโปรตีน ปรับปรุงดินออกสโมติก ในบานไม่รู้โรยและมะเขือเทศ เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์และเอนไซม์ Rubisco ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะขาดน้ำของข้าวสาลี (Umebese et al., 2009) และมีรายงานว่ากรด ซาลิไซลิกมีผลในทางอ้อม

ของการใช้สารชักนำต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้พืชมีระบบการป้องกันตัวจากสภาวะที่ไม่เหมาะสม ทำให้พืชสร้างสารบางอย่างขึ้นมาเพื่อป้องกันตัวก่อนที่จะมีการเข้าทำลายของเชื้อโรคจริงๆ จึงช่วยลดความเสียหายของผลผลิตลงได้เมื่อมีการเข้าทำลายของเชื้อ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชหรือผลผลิตดีขึ้น (Hirano et al., 2000) ในงานวิจัยนี้ พบว่าข้าวโพดข้าวเหนียวที่อยู่ในสภาวะแล้ง พบว่ามีการสะสมน้ำตาลรวม น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลกลูโคสในใบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Pelleschi et al. (1997) ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับการพ่นด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกมีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวม น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลกลูโคสใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อได้รับการพ่นสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยทำให้เนื้อเยื่อพืชไม่ถูกทำลายและมีฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญเติบโตในพืชเมื่ออัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นพืชจะลำเลียงออกไปยังส่วนต่างๆ ได้มากขึ้นน้ำตาลและสารที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงลดลงและยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาวะความเครียดทางชีวเคมี โดยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมสารอาหาร การปิด-เปิดปากใบ การสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโต (Khan et al., 2003; Arfan et al., 2007) พืชสามารถเพิ่มการทนแล้งได้เมื่อได้รับสารละลายกรดซัลฟิวริกโดยอาจมีการเหนี่ยวนำให้มีการสร้างเอนไซม์ที่ต่อต้านสารอนุมูลอิสระเพื่อป้องกันไม่ให้เยื่อหุ้มภายในเซลล์ถูกทำลาย (Shakirova et al., 2003)

กรดซัลฟิวริกยังส่งผลให้ข้าวโพดข้าวเหนียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มแล้ง ทั้งนี้เนื่องจากพืชมีการเจริญเติบโตสูงขึ้นเมื่อได้รับการพ่นด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ส่งผลให้เซลล์เต่ง ปากใบเปิด พืชสามารถดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ภายในใบได้จึงทำให้พืชสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงต่อไปได้ (Aspinall, 1980) โดยกรดซัลฟิวริกมีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ใน

ตะไคร้พันธุ์ Krishna และพันธุ์ Neema เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะแล้ง (Idree et al., 2010) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อข้าวโพดข้าวเหนียวอยู่ในสภาวะแล้ง จะมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การสะสมของน้ำตาลดังกล่าวไม่ได้ส่งผลให้พืชมีการทนต่อสภาวะแล้งได้ดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพืชอาจจำเป็นต้องสะสมน้ำตาลในปริมาณสูง จึงจะสามารถส่งผลต่อการทนแล้งของพืชได้ ในทางตรงกันข้าม การฉีดพ่นกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีบทบาททำให้พืชสามารถทนต่อสภาวะแล้งได้ดีขึ้น แต่พืชในกลุ่มดังกล่าวไม่ได้ส่งผลต่อการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่า กรดซัลฟิวริกอาจส่งผลกระทบต่อทนแล้งของพืชในรูปแบบอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับการสะสมน้ำตาล เช่น การเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ การเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายอื่นๆ หรือแม้กระทั่งการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต้านสารอนุมูลอิสระ เป็นต้น กลไกต่างๆ เหล่านี้ช่วยให้พืชมีความสามารถทนต่อสภาวะแล้งได้ดีขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษากลไกการทำงานของกรดซัลฟิวริกในการเพิ่มความสามารถในการทนแล้งของพืชต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการพ่นสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ จะมีประสิทธิภาพทำให้ต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียว มีความสามารถในการทนแล้งได้ดีที่สุด โดยจะมีความยาวของลำต้นและราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของลำต้นและราก ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น

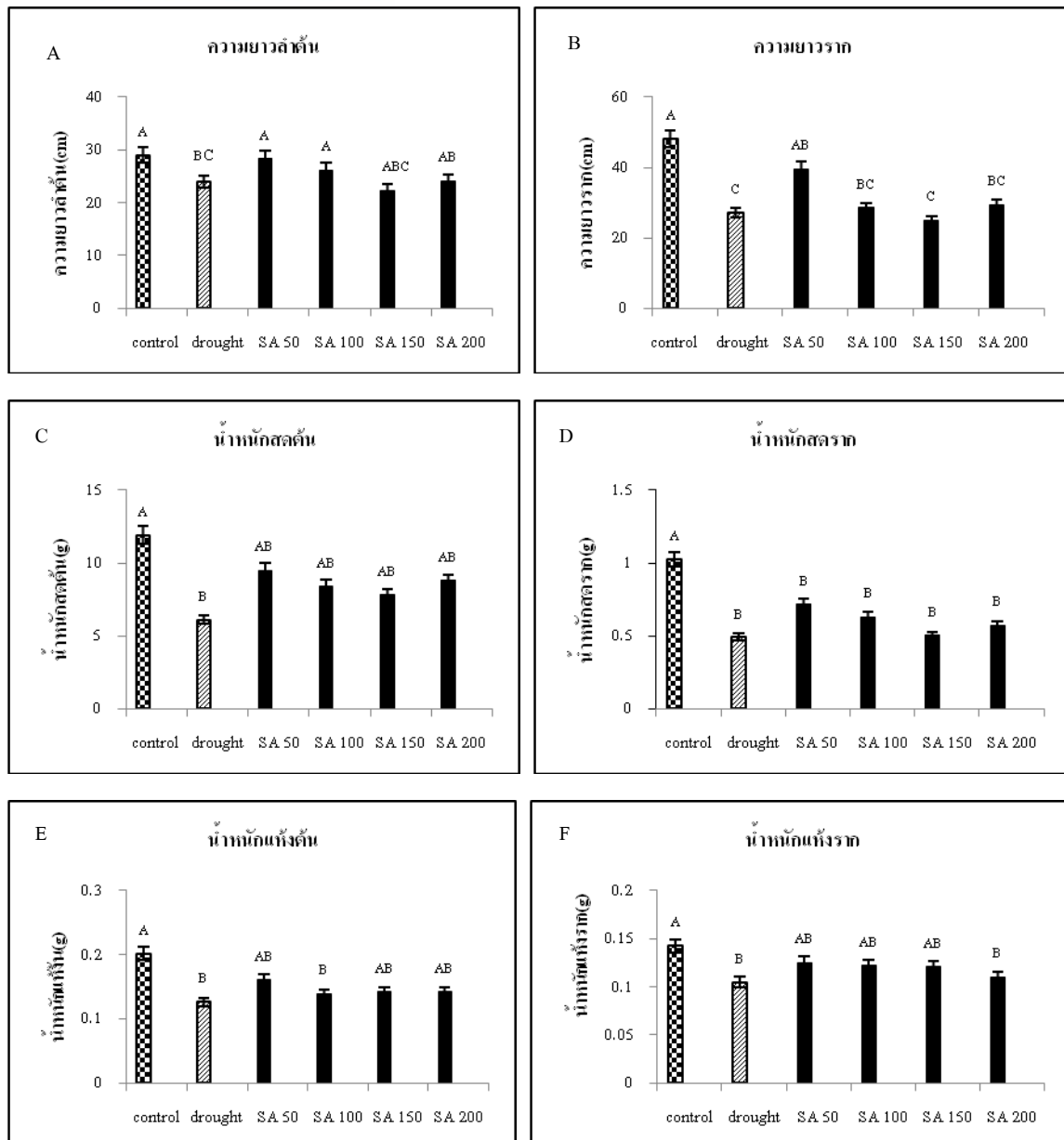
เอกสารอ้างอิง

จริญญา กุลยะ. 2550. ความสามารถทนต่อสภาวะเครียดเกลือของพืช C_3 และ C_4 . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

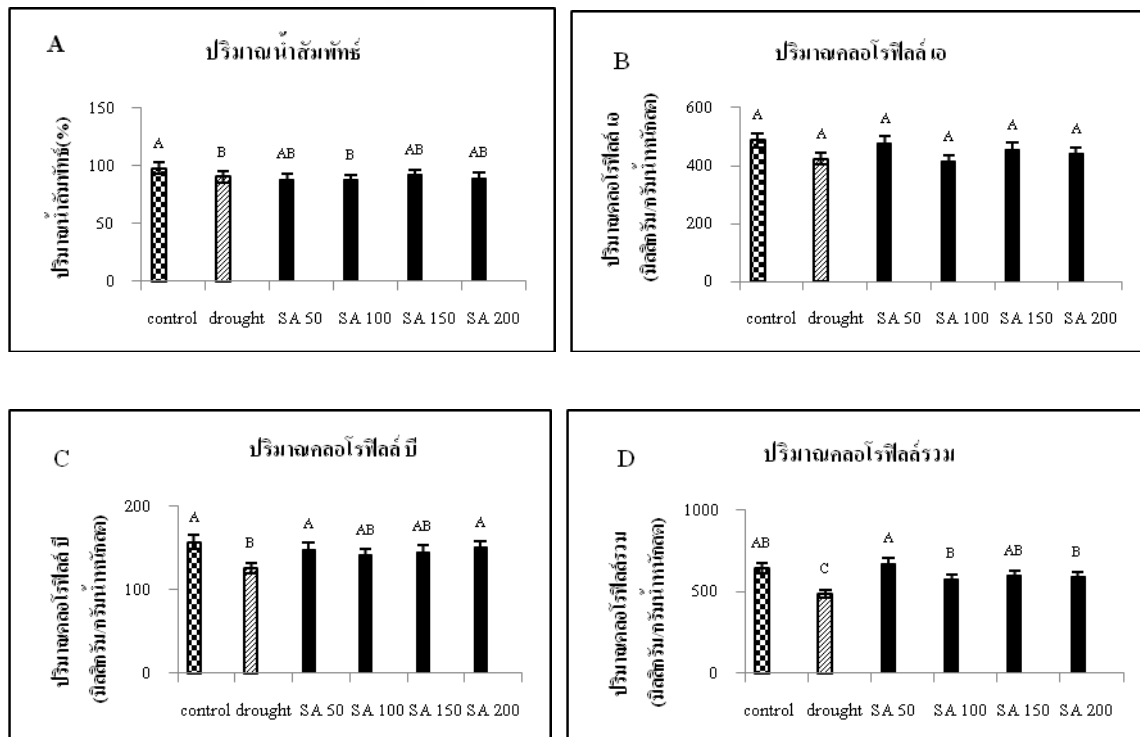
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการคายน้ำของพืช**. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2548. **ผลของกรดซาลิไซลิกต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้**. ว. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 4(2): 2-5.
- สนิท ลวดทอง. 2527. **ข้าวโพดและการจัดการ**. ขอนแก่น: ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สัมฤทธิ์ เพื่องจันทร์. 2544. **สรีรวิทยาการพัฒนารากพืช**. คลังนานาวิทยา, กรุงเทพฯ.
- Abdulla, M.M. and EI-Khoshiban, N.H., 2007. The influence of water stress on growth, water content, photosynthetic pigment, some metabolism and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. **Journal of Applied Sciences Research** 3: 2062-2074.
- Arfan, M., Athar, HR., and Ashraf, M., 2007. Does exogenous medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? **Journal of Plant Physiology**. 6 : 685-694.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology** 24: 1-15.
- Aspinall, D. 1980. **Role of abscisic acid and other hormones in adaptation to water stress**, pp. 155-165. In N. C. Turners and P.J. Kramer (eds.) *Adaptation of plants to water and High Temperature Stress*. John Wiley and Sons, New York.
- Benzioni, A., Itai, C. and Vaadia, Y., 1967. Water and salt stress, kinetin, and protein synthesis in tobacco leaves. **Plant Physiology**. 42: 361-65.
- Boyer, J. S. 1976. Photosynthesis at low water potentials. **Philosophical Transactions of the Royal Society B** 273: 501-512.
- Bradley, D.J., Kjellbom, P. and Lamb, C.J. 1992. Elicitor and wound-induced oxidative cross-linking of a protein-rich plant cell wall protein: a novel, rapid defense response. **Cell**. 70: 21-30.
- Cha-um, S., Roytakul, S., Sathung, T., Maijandang, A. and Kridmanee, C. 2007. Effect of exogenous glucose and abscisic acid on physiological and morphological performances of in vitro Indica Rice (*Oryza sativa* L. sp. indica.) **American Journal of plant physiology** 2: 155-166.
- Davies, P.J. 1995. **Plant hormones**. Kluwer Academic publisher Dordrecht. Natherland. 833 p.
- Dubey, R.S. 1994. Protein synthesis by plant under stressful condition. In **handbook of plant and crop stress**, Pessarakli, M. (ed) pp. 277-299. Marcel Dekker, Inc. New York.
- 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.
- Etherington, J. R. 1982. **Environmental and Plant Physiology** 2nd ed. John Wiley and Sons London.
- Farida, M.S., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A. and Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. **Plant Science** 164: 317-322.

- Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A., Ahmad, N. and Saleem, B.A. 2009. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. **Journal Agronomy Crop Science** 195: 237-246.
- Hirano, S., Hayashi, M. and Okuno, S., 2000. Soybean seeds surface-coated with depolymerised chitins: chitinase activity as a predictive index for the harvest of beans in field culture. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 81: 205-209.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annual. Reviews. **Plant Physiology**. 24 : 519-570.
- Idree, M., Khan, M.M.A., Aftab, T., Naeem, M. and Hashmi, N., 2010. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in Lemongrass varieties under water stress. **Journal of plant Interactions** 293-303.
- Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D.L. 2003. Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Journal of Plant Physiology**. 160: 485-492.
- Kling, G. J. and Meyer, M. M. 1983. Effect of phenolic compounds and indoleacetic acid on adventitious root initiation in cuttings of *Phaseolus am-us*, *Acer saccharum*, and *Acer griseum*. **horticultural science**. 18: 353-354.
- Kramer, P.J. and J.S. Boyer. 1995. **Water Relations of Plants and Soils**. Academic Press, San Diego. 495 p.
- Li, L. and Li, L. 1995. Effect of resorcinol and salicylic acid on the formation of adventitious roots on hypocotyl cutting of *Vigna radiata*. **Journal of Tropical and Subtropical Botany**. 3: 67-71.
- Ludwig, G. and Matthews, M.A., 1993. Reversibility of drought-induced chloroplast degradation in maize. **Plant physiology**. (sspp.) 102-155.
- 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 Biophysical Society** 444: 139-158.
- Malamy, J., Klessig, D.F. and Raskin, I. 1990. Salicylic acid: A likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. **Science** 250: 1002-1004.
- Malamy, J. and Klessig, D.F. 1992. Salicylic acid and plant disease resistance. **Plant Journal**. 2 : 643-654.
- Misra, N. and Saxena, P. 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. **Plant Science**. 177: 181-189.
- 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.
- 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.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 43 : 439-463.

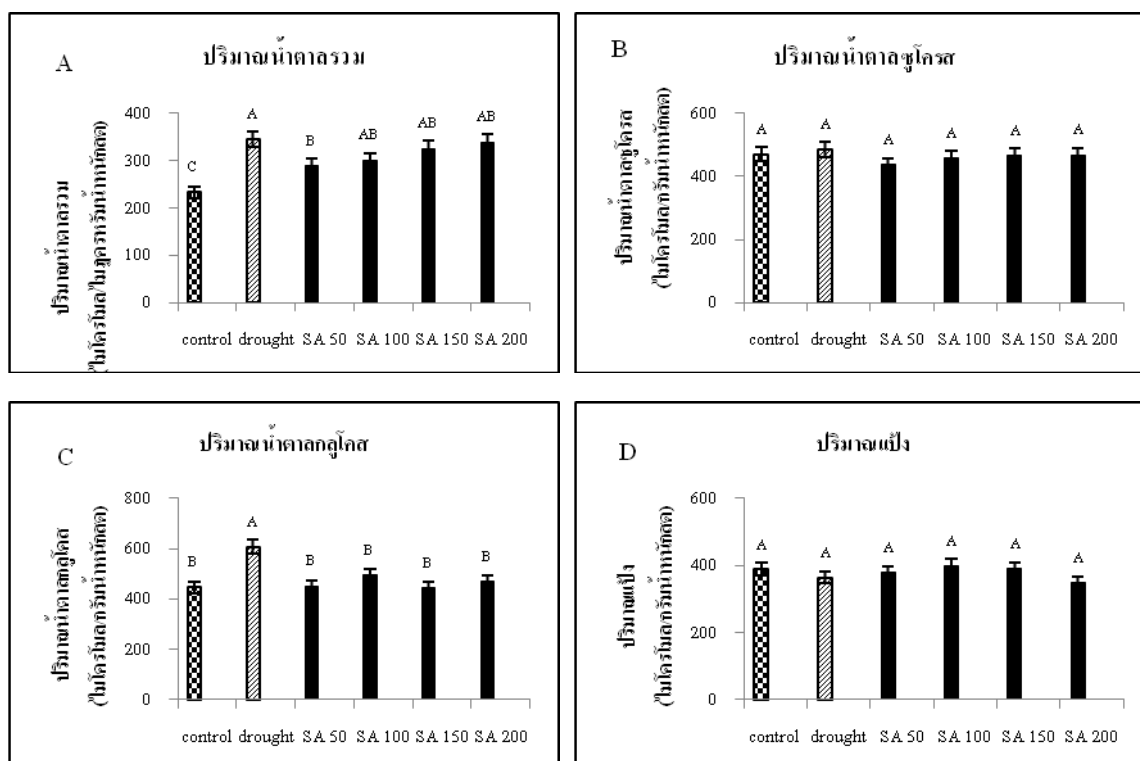
- Robbins, N.S. and Pharr, D.M. 1987. Regulation of photosynthetic carbon metabolism in cucumber by light intensity and photosynthetic period. **Plant Physiology** 85: 592-597.
- Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fathutdinova, R.A. and Fathutdinova, D.R., 2003. Changes in hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. **Plant Science** 164: 317-322.
- Singh, S. P. 1993. Effect of non-auxinic chemicals on root formation in some ornamental plant cuttings. **Advanced Horticultural**. For 3: 207–210.
- Singh, G. and Kaur, M. 1980. Effect of growth regulators on podding and yield of mung bean (*Vigna radiate* L.) Wilczek). **Indian Journal of Plant Physiology**. 23: 366-370.
- Türkyilmaz, B., Akta, L. Y. and Ven, G. A., 2005. salicylic acid induced some biochemical and physiological changes in *Phaseolus vulgaris* L. **Science Engineering Journal Firat University**. 17(2): 319-326.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant Soil**. 58: 339-366.
- 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.
- Umebese, C.E., Olatimilehin, T.O. and Ogunsusi, T.A. 2009. Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in Amaranth and tomato plants water deficit. **American Journal of Agricultural and Biological Science** 4 : 224-229.
- Wang, L.J., Li, S.H. 2006. Salicylic acid-induced heat or cold tolerance in relation to Ca^{2+} homeostasis and antioxidant systems in young grape plants, *Plant science*. 170: 685-694.
- Yildirim, E., Turan, M. and Guvenc, I., 2008. Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll and mineral content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under salt stress. **Journal of plants nutrition**. 31: 593-612.
- Zeiger, T. 1998. **Plant Physiology**. (2nd ed.). Sinauer Associates, Inc., Sunderland. 792 p.
- Zhao, H.J., Lin, X. W., Shi, H. Z. and Chang, S. M., 1995. The regulating effects of phenolic compounds on the physiological characteristics and yield of soybeans. *Acta Agronomica Sinica*. 21: 351-355.



รูปที่ 1 ความยาวลำต้น ความยาวราก น้ำหนักสดลำต้นและราก น้ำหนักแห้งลำต้นและรากของต้นกล้าข้าวโพดข้าว
 เหนียวเมื่ออายุครบ 21 วัน



รูปที่ 2 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์รวมของต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียวเมื่ออายุครบ 21 วัน



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำตาลรวม น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคสและปริมาณแป้งในต้นกล้าข้าวโพดข้าวเหนียวเมื่ออายุครบ 21 วัน