

อิทธิพลของสภาวะขาดน้ำในระยะออกช่อดอกตัวผู้ต่อระดับ ของโพรลีนและกรดแอบไซซิก และผลผลิตของข้าวโพด

Effects of Water Deficit at Tasseling on Proline and Absciscic Acid Levels and Yield of Corn

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ¹ จันทร์จรี กิจจานนท์² ราชนทร์ ธิรพจน์¹ และ เอนกนันต์ มาช่วย¹
Nawarat Udomprasert, Janjaree Kijjanon, Rachain Thiraporn and Aneknan Machuay

ABSTRACT

Water stress affects a number of physiological processes which consequently affect crop yield. The objective of this study was to determine the effects of water stress on levels of proline and ABA and yield of 2 corn varieties; Ki3, a purported drought-sensitive variety, and Ki11, a purported drought-tolerant one. Plants were exposed to water stress at tassel initiation and at anthesis until wilting appeared and then rewatered until recovered. Leaf samples were collected at wilting and at recovery for proline and ABA analyses using spectrophotometric technique and gas chromatography, respectively, compared to control plants. It was found that water stress at both tassel initiation and anthesis caused an increase in proline and ABA levels in both corn varieties. The increase was greater in Ki3 than in Ki11. When plants were rewatered, both proline and ABA levels decreased to the control level. Water stress at both stages decreased number of seeds per ear and seed weight in both corn varieties which consequently decreased grain yield per plant but the effect was more evident in Ki3 than in Ki11. Water stress at tassel initiation showed greater influence on proline and ABA levels and yield than that at anthesis. Moreover, it was found that proline and ABA levels accumulated under water stress conditions were negatively correlated with corn yield.

Key words : water deficit, proline, absciscic acid, yield, corn

¹ ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

² ฝ่ายติดตามและประเมินผล สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

Monitoring and Evaluation Section, Rice Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand.

บทคัดย่อ

สภาวะขาดน้ำมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชหลายอย่างซึ่งมีผลต่อเนื่องไปถึงผลผลิต การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของสภาวะขาดน้ำ ต่อการสะสมโพรลีนและกรดแอบซีสสิก และผลผลิตของข้าวโพด 2 พันธุ์ คือพันธุ์ Ki3 ซึ่งมีแนวโน้มไวต่อสภาวะแล้ง และพันธุ์ Ki11 ซึ่งมีแนวโน้มทนแล้ง โดยให้พืชขาดน้ำในระยะกำเนิดคุ่มดอก (tassel initiation) และระยะดอกบาน (anthesis) จนกระทั่งพืชแสดงอาการเหี่ยวจึงให้น้ำใหม่ เก็บตัวอย่างพืชเมื่อแสดงอาการเหี่ยวและเมื่อพืชฟื้นตัวเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพรลีน โดยวิธี spectrophotometry และหาปริมาณกรดแอบซีสสิก โดยใช้ gas chromatographyเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับน้ำตามปกติ พบว่าการขาดน้ำทั้งในระยะกำเนิดคุ่มดอกและในระยะดอกบานมีผลให้ปริมาณโพรลีนและกรดแอบซีสสิกเพิ่มสูงขึ้นในข้าวโพดทั้งสองพันธุ์ โดยการเพิ่มทั้งโพรลีนและกรดแอบซีสสิก ในพันธุ์ Ki3 จะสูงกว่าในพันธุ์ Ki11 เมื่อพืชได้รับน้ำใหม่จนกระทั่งพืชฟื้นตัว ปริมาณโพรลีนและกรดแอบซีสสิกลดลงจนเกือบเท่ากับกลุ่มที่ได้รับน้ำตามปกติ การขาดน้ำในระยะกำเนิดคุ่มดอกและในระยะดอกบานมีผลให้จำนวนเมล็ดต่อฝักและน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดทั้งสองพันธุ์ลดลง ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดต่อต้นลดลง แต่การขาดน้ำมีผลให้ผลผลิตของพันธุ์ Ki3 ลดลงมากกว่าพันธุ์ Ki11 และการขาดน้ำที่ระยะกำเนิดคุ่มดอกมีผลกระทบต่อ การสะสมโพรลีนและกรดแอบซีสสิก รวมทั้งผลผลิตมากกว่าการขาดน้ำที่ระยะดอกบานในข้าวโพดทั้งสองพันธุ์ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโพรลีนและกรดแอบซีสสิกที่เพิ่มขึ้นเมื่อข้าวโพดขาดน้ำมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับผลผลิต

คำนำ

สภาวะขาดน้ำมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชหลายอย่าง เช่นการสังเคราะห์แสง (Ludwig and Matthews, 1993) การปิดเปิดของปากใบ (Heitholt *et al.*, 1991; Turner, 1974) การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอะมิโนและฮอร์โมนบางชนิด เช่น โพรลีน (Waldren and Teare, 1974) Absciscic acid, ABA (Aspinall, 1980) ผลของการขาดน้ำต่อกระบวนการดังกล่าวแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ระยะการเจริญเติบโตของพืชและความรุนแรงของการขาดน้ำ พืชจะมีการสะสมปริมาณโพรลีนเมื่อประสบกับสภาวะขาดน้ำ Ilahi and Dorffling (1982) รายงานว่าการสะสมปริมาณโพรลีนในข้าวโพดที่ขาดน้ำแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรลีนกับความทนแล้งของข้าวโพดพบว่ามีความสัมพันธ์กันในทางลบ ข้าวโพดที่ทนแล้งจะสะสมโพรลีนในปริมาณที่ต่ำกว่าข้าวโพดที่ไม่ทนแล้ง (ธวัช, 2535; นวรัตน์ และ ราชนทร์, 2537) นอกจากนี้เมื่อพืชขาดน้ำฮอร์โมน ABA ยังเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วอีกด้วย ซึ่งมีผลให้ปากใบปิด (Aspinall, 1980) ผลของการขาดน้ำต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา ส่งผลต่อเนื่องไปถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช Abrecht and Carberry (1993) รายงานว่าการขาดน้ำระหว่างการตั้งตัวของต้นกล้าข้าวโพดจะทำให้ต้นกล้าเหี่ยว แคระแกร็น เติบโตช้า อัตราการเกิดใบข้างพื้นที่ใบลดลง และส่งผลให้การสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินลดลงด้วย การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการขาดน้ำต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงการพัฒนาและผลผลิตของข้าวโพดเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดให้ทนแล้งต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ปลูกข้าวโพด 2 พันธุ์ คือ Ki3 ซึ่งมีแนวโน้มไม่ทนแล้ง และ Ki11 ซึ่งมีแนวโน้มทนแล้ง ในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้วจำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ใช้ดินผสม ดิน:ปุ๋ยคอก:ถ่านแกลบ ในอัตราส่วน 1:1:1 จัดตั้งทดลองแบบ split-plot ใน completely randomized design มีพันธุ์เป็น main plot โดย subplot แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มที่มีการให้น้ำปกติ (control) จะได้รับน้ำเท่ากันทุกกระถางจนถึงระดับความชื้นสนามตลอดฤดูปลูก 2) กลุ่มที่ขาดน้ำในระยะกำเนิดต่มดอก (tassel initiation) งดให้น้ำเมื่อพืชเริ่มให้กำเนิดต่มดอกคือเมื่อข้าวโพดมีอายุประมาณ 45 วัน จนกระทั่งพืชแสดงอาการเหี่ยวจึงให้น้ำใหม่ 3) กลุ่มที่ขาดน้ำในระยะดอกบาน (anthesis) งดให้น้ำเมื่อดอกเริ่มบานคือเมื่อข้าวโพดมีอายุประมาณ 55 วัน จนกระทั่งพืชแสดงอาการเหี่ยวจึงให้น้ำใหม่ ทำการทดลองในเรือนกระจกที่ฝ่ายวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลองสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน การให้ปุ๋ยใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 1.5 กรัมต่อกระถาง ทุก 2 สัปดาห์

เก็บตัวอย่างใบพืชของกลุ่มที่เป็น control พร้อมกับตัวอย่างพืชที่แสดงอาการเหี่ยวหลังจากภาวะขาดน้ำที่ระยะกำเนิดต่มดอกและระยะดอกบาน และเก็บตัวอย่างอีกครั้งเมื่อพืชฟื้นตัวหลังจากได้รับน้ำใหม่ นำตัวอย่างใบพืชส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์หาปริมาณโพรลีนโดยใช้วิธีของ Bates *et al.* (1973) อีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ ABA โดยดัดแปลงจากวิธีของ Schelenk and Gellerman (1969) โดยบดตัวอย่างด้วย methanol ความเข้มข้น 80% แยกชั้นตัวอย่างด้วย ethylacetate สลับกับ phosphate buffer กรองตัวอย่างที่สกัดได้ผ่าน polyvinylpyrrolidone (PVP) ชนิดไม่ละลายน้ำ และ Sep-pak C₁₈ cartridge แล้วนำสารสกัดแห้งมาละลายด้วยสารละลายผสม

ระหว่าง acetone กับ methanol ฉีดเข้าเครื่อง gas chromatography (GC) ดำเนินการทำ methylation เป็นเวลาประมาณ 10-15 นาที คำนวณปริมาณ ABA ของสารสกัด เปรียบเทียบกับ standard ABA (Sigma A 2784) ที่ทราบความเข้มข้นโดยใช้เครื่อง gas chromatography

เมื่อพืชเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา(ประมาณ 120 วันหลังปลูก) เก็บตัวอย่างพืชเพื่อหาองค์ประกอบของผลผลิตดังต่อไปนี้ คือ จำนวนฝักต่อต้น จำนวนแถวต่อฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว ความยาวฝัก ความกว้างของฝัก น้ำหนัก 1000 เมล็ด และ น้ำหนักเมล็ดต่อต้น

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย Analysis of Variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD_(0.05)

ผลและวิจารณ์

จากการทดลอง พบว่าเมื่อข้าวโพดขาดน้ำจะมีการสะสมโพรลีนสูงขึ้นในใบทั้งในพันธุ์ Ki3 และ Ki11 (Figure 1) การสะสมโพรลีนภายใต้สภาวะขาดน้ำในพันธุ์ Ki3 ซึ่งมีแนวโน้มว่าต้องการขาดน้ำจะสูงกว่าพันธุ์ Ki11 ซึ่งมีแนวโน้มทนแล้ง การขาดน้ำในระยะกำเนิดต่มดอกข้าวโพดพันธุ์ Ki3 มีการสะสมโพรลีนสูงถึง 66.1 $\mu\text{mol/g f.w.}$ ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นเกือบสามเท่าของกลุ่ม control (Figure 1A) เมื่อได้รับน้ำใหม่จนพืชฟื้นตัว ปริมาณโพรลีนลดลงจนเกือบอยู่ในระดับเดียวกับ control ในขณะที่พันธุ์ Ki11 มีการสะสมโพรลีนภายใต้สภาวะขาดน้ำเพียง 41.3 $\mu\text{mol/g f.w.}$ ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณสองเท่าของ control เท่านั้น (Figure 1B) เมื่อได้รับน้ำใหม่จนพืชฟื้นตัวปริมาณโพรลีนของพันธุ์ Ki11 ลดลงเหลือเพียง 12.5 $\mu\text{mol/g f.w.}$ หรือประมาณครึ่งหนึ่งของ control การสะสมโพรลีนในระยะดอกบานต่ำกว่าในระยะกำเนิดต่มดอกในพันธุ์ Ki3 แต่ไม่แตกต่างกันในพันธุ์ Ki11 ผลจากการทดลองนี้

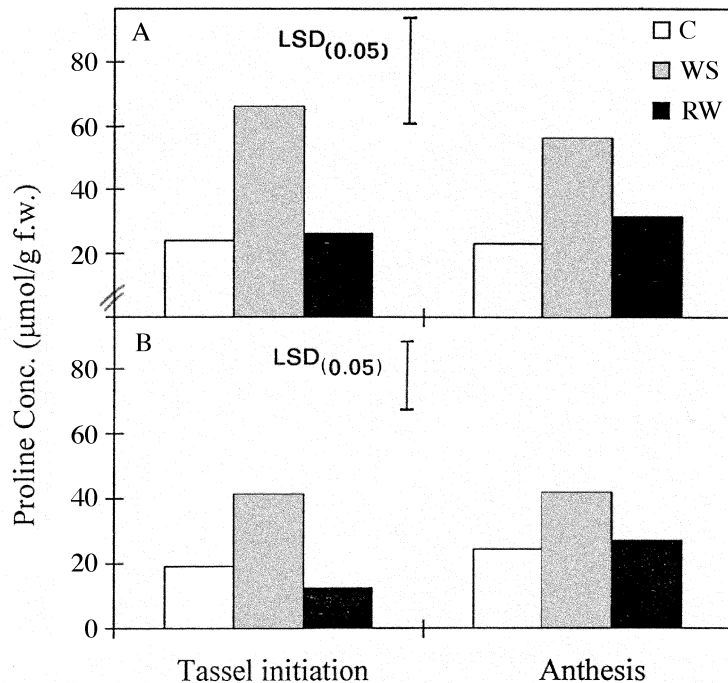


Figure 1 Proline concentrations of two corn varieties, Ki3 (A) and Ki11 (B), as affected by water stress at tassell initiation and at anthesis. C = control; WS = water stressed; RW = rewatered.

สอดคล้องกับการรายงานของรัช (2535) และ นวรัตน์และราชนทร์ (2537) ซึ่งรายงานว่าปริมาณโปรตีนที่สะสมภายใต้สภาวะขาดน้ำมีความสัมพันธ์ในลักษณะตรงกันข้ามกับความทนแล้งของข้าวโพด

การขาดน้ำมีผลให้ปริมาณ ABA เพิ่มขึ้นในข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ (Figure 2) ภายใต้สภาวะขาดน้ำข้าวโพดพันธุ์ Ki3 จะมีระดับ ABA สูงขึ้นเป็นประมาณ 5 เท่าของ control เมื่อพืชได้รับน้ำใหม่จนฟื้นตัว ระดับ ABA ลดลงมาเป็นประมาณ 2 เท่าของ control (Figure 2A) ในขณะที่ในพันธุ์ Ki11 มีการเพิ่มขึ้นของ ABA เพียงเล็กน้อยเมื่อได้รับการขาดน้ำ (Figure 2B) แสดงให้เห็นแนวโน้มการปรับตัวของข้าวโพดพันธุ์ Ki11 ต่อการขาดน้ำ เพราะเป็นที่ทราบดีว่า ABA มีผลให้ปากใบปิด (Aspinall, 1980) การที่ระดับของ ABA เพิ่มขึ้นน้อย มีผลให้ปากใบปิดเพียงเล็กน้อย พืชยัง

สามารถดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ภายในใบได้ จึงทำให้พืชยังสามารถสังเคราะห์แสงต่อไปได้ภายใต้สภาวะขาดน้ำ การขาดน้ำในระยะดอกบานมีผลต่อการเพิ่มปริมาณ ABA น้อยกว่าการขาดน้ำที่ระยะกำเนิดดุมดอกในข้าวโพดทั้งสองพันธุ์ การที่ระดับของ ABA ลดลงจนใกล้เคียงกับ control หลังจากฟื้นตัวแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของพืชเมื่อได้รับน้ำใหม่

การขาดน้ำมีผลให้องค์ประกอบของผลผลิตทุกส่วนลดลงในข้าวโพดทั้งสองพันธุ์ (Table 1) การขาดน้ำที่ระยะกำเนิดดุมดอกมีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตมากกว่าการขาดน้ำที่ระยะดอกบานในข้าวโพดทั้งสองพันธุ์ จำนวนเมล็ดของข้าวโพดพันธุ์ Ki3 เมื่อขาดน้ำที่ระยะกำเนิดดุมดอกมีจำนวน 65.4% ของ control และมีน้ำหนัก 1000 เมล็ด 57.8% ของ control ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ด ลดลงเหลือเพียง

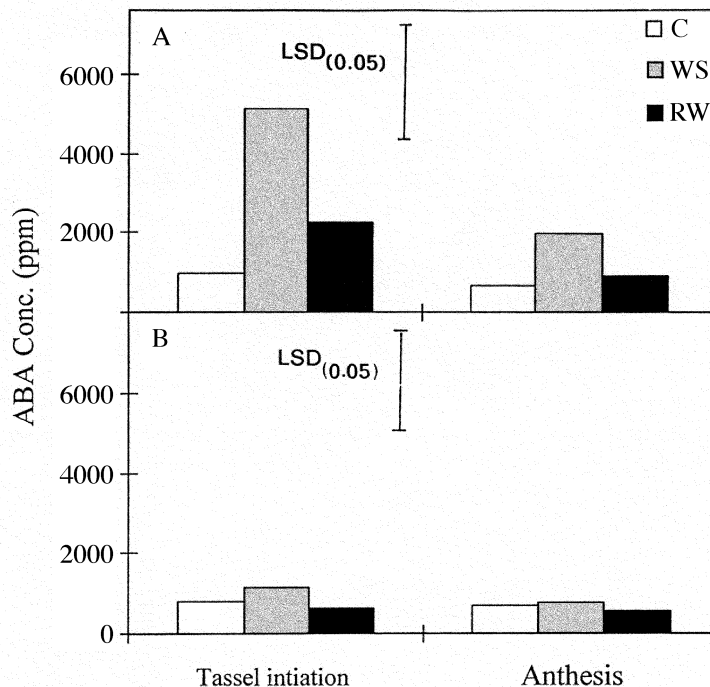


Figure 2 ABA concentrations of two corn varieties, Ki3 (A) and Ki11 (B), as affected by water stress at tassel initiation and at anthesis. C = control; WS = water stressed; RW = rewatered.

33.3% ของ control ในขณะที่การขาดน้ำที่ระยะดอกบานมีผลให้น้ำหนัก 1000 เมล็ดลดลงเป็น 64.4% ของ control และมีผลน้อยมากต่อจำนวนเมล็ด/ฝัก จึงทำให้ผลผลิตเมล็ดลดลงเหลือประมาณ 50% ของ control การตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำของข้าวโพดพันธุ์ Ki11 คล้ายกับพันธุ์ Ki3 แต่ได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำน้อยกว่า โดยองค์ประกอบของผลผลิตที่ได้รับผลจากการขาดน้ำมากที่สุดคือ จำนวนเมล็ดและน้ำหนักเมล็ด แต่การขาดน้ำมีผลกระทบต่อน้ำหนัก 1000 เมล็ด ของพันธุ์ Ki11 น้อยกว่าพันธุ์ Ki3 คือกลุ่มที่ขาดน้ำในระยะกำเนิดตุ่มดอกจะมีน้ำหนัก 1000 เมล็ดเป็น 77.5% ของ control จึงทำให้ผลผลิตเมล็ดลดลงน้อยกว่าในพันธุ์ Ki3 คือมีค่าประมาณ 50% ของ control โดยรวมแล้วข้าวโพดพันธุ์ Ki11 ให้ผลผลิตดีกว่าพันธุ์ Ki3 ทั้งในสภาวะปกติและเมื่อได้รับสภาวะ

ขาดน้ำ องค์ประกอบของผลผลิตที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือจำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 1000 เมล็ด และผลผลิตเมล็ด ซึ่งจะสูงกว่าในพันธุ์ Ki11

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมโปรตีนและ ABA เมื่อพืชขาดน้ำกับผลผลิตแล้ว จะเห็นได้ว่าทั้งการสะสมโปรตีนและ ABA มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับการให้ผลผลิตพันธุ์ Ki11 ซึ่งมีแนวโน้มทนแล้งและให้ผลผลิตสูงกว่าทั้งในสภาวะปกติและในกลุ่มที่ขาดน้ำมีการสะสมสารทั้งสองชนิดในระดับที่ต่ำกว่าพันธุ์ Ki3 ซึ่งมีแนวโน้มไวต่อสภาวะแล้งและให้ผลผลิตต่ำกว่า การที่ ABA ในพันธุ์ Ki11 เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยทำให้การปิดของปากใบน้อยลงด้วยและทำให้พืชยังสามารถดำเนินกิจกรรมของขบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อ

Table 1 Yield and yield components of two corn varieties in response to different water stress treatments.

Variety	Treatment	No. ear/plant	No. row/ear	No. seed/row	Ear length (cm)	Ear girth (cm)	Seed weight (g/1000 seeds)	Grain yield (g/plant)
Ki3	Control	1	12.0	2.6	9.5	6.1	160.8	5.1
	WS _T	1	10.0	1.7	7.3	4.7	92.9	1.7
	WS _{AN}	1	10.5	2.4	8.1	4.9	103.6	2.6
Ki11	Control	1.8	12.0	5.0	9.1	6.0	203.1	9.8
	WS _T	1.5	11.3	1.7	8.7	5.6	157.5	4.9
	WS _{AN}	1.5	11.7	2.6	8.5	5.8	170.1	5.6
F test	(variety)	**	ns	ns	ns	*	**	*
	(treatment)	ns	ns	ns	ns	*	*	ns

** = significant at 1% level ; * = significant at 5% level WS_T = water stressed at tassal initiation; WS_{AN} = water stressed at anthesis.

การสังเคราะห์แสงต่อไปได้ (Levitt, 1980) ทำให้พันธุ์ Ki11 มีการสะสมน้ำหนักรากมากกว่าพันธุ์ Ki3 และมีผลผลิตสูงกว่า

การขาดน้ำในระยะกำเนิดต่มดอกมีผลต่อผลผลิตมากกว่าการขาดน้ำในระยะดอกบานอาจเนื่องมาจากการขาดน้ำในระยะกำเนิดต่มดอกไปยังยังการสร้างดอก หรือทำให้การสร้างดอกผิดปกติไปหรือช้าไป ทำให้ไม่สัมพันธ์กับระยะออกไหม การผสมเกสรจึงลดลงเป็นเหตุให้จำนวนเมล็ดลดลง (Abrecht and Carberry, 1993; NeSmith and Ritchie, 1992) ในขณะที่การขาดน้ำที่ระยะดอกบานนั้น การผสมเกสรอาจยังสามารถเกิดขึ้นได้ แม้จะไม่สมบูรณ์เต็มที่ก็ตาม ดังนั้นในระยะออกช่อดอกตัวผู้จึงพอจะสรุปได้ว่าระยะกำเนิดต่มดอกจะได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำมากกว่าระยะดอกบาน

สรุป

1. การขาดน้ำในระยะกำเนิดต่มดอกและระยะดอกบานทำให้ระดับของโพรลีนและ ABA สูงขึ้นในข้าวโพดพันธุ์ Ki3 และ Ki11
2. การขาดน้ำในระยะกำเนิดต่มดอกและระยะดอกบานทำให้ผลผลิตลดลงในข้าวโพดทั้งสองพันธุ์
3. การขาดน้ำในระยะกำเนิดต่มดอกมีผลกระทบต่อ การสะสมโพรลีน ABA และผลผลิตมากกว่าการขาดน้ำในระยะดอกบาน
4. ปริมาณโพรลีน และ ABA ที่สะสมเมื่อพืชได้รับสภาวะขาดน้ำมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับผลผลิต
5. การขาดน้ำในระยะกำเนิดต่มดอกและระยะดอกบานมีผลกระทบต่อพันธุ์ Ki3 มากกว่าพันธุ์ Ki11

เอกสารอ้างอิง

- รัชช เรืองโสภณ. 2535. การประเมินความทนแล้งของข้าวโพดต่างพันธุ์กรรมโดยใช้การสะสมโปรตีนเป็นดัชนี. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นวรรตน์ อุดมประเสริฐ และ ราเชนทร์ อธิพร. 2537. ความสัมพันธ์ของการสะสมโปรตีนเนื่องจากสภาวะขาดน้ำและผลผลิตของข้าวโพด. ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย์.) 28 : 340-347.
- Abrecht, D.G. and P.S. Carberry. 1993. The influence of water deficit prior to tassel initiation on maize growth, development and yield. *Field Crops Res.* 31 : 55-59.
- 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.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and L.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39 : 205-207.
- Heitholt, J.J., R.C. Johnson, and D.M. Ferris. 1991. Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen and drought-stressed wheat. *Crop Sci.* 135-139.
- Ilahi, I. and K. Dorffling. 1982. Changes in abscisic acid and proline levels in maize varieties of different drought resistance. *Physiol. Plant.* 55 : 129-135.
- Levitt, J. 1972. *Response of Plants to Environmental Stresses.* Academic Press, New York. 647 p.
- Ludwig, G. and M.A. Matthews. 1993. Reversibility of drought-induced chloroplast degradation in maize. *Plant Physiol. (supp.)* 102:155.
- NeSmith, D.S. and J.T. Ritchie. 1992. Effects of soil water deficits during tassel emergence on development and components of maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Res.* 28 : 251-256.
- Schelenk, H. and J.H. Gellerman. 1969. Esterification of fatty acid with diazomethane on a small scale. *Analytical Chem.* 32 : 1412-1414.
- Turner, N.C. 1974. Stomatal response to light and water under field conditions, pp. 423-432. In R.L. Bielecki, A.R. Ferguson and M.M. Creswell (eds.). *Mechanism of Regulation of Plant Growth.* Wellington, New Zealand.
- Waldren, R.P. and I.D. Teare. 1974. Free proline accumulation in drought stressed plants under laboratory conditions. *Plant and Soil.* 40 : 689-692.

วันรับเรื่อง : 25 พ.ย. 41

วันรับตีพิมพ์ : 10 พ.ค. 42