ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.) 28:340-347 (2537)

ความสัมพันธ์ของการสะสมโพรลีนเนื่องจากสภาวะขาดน้ำและผลผลิตของข้าวโพด

The Relationship of Water Stress-induced Proline Accumulation and Yield of Corn

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ[1] และ ราเชนทร์ ถิรพร[2]

Nawarat Udomprasert and Rachain Thiraporn

ABSTRACT

Corn is one of the important economic crops in Thailand that has faced great environmental limitation such as drought. Without physiological parameters, corn selection for drought tolerance would be impeded. The objectives of this study were to determine proline content accumulated due to water stress treatments and its relationship to corn yield and whether proline content could be used as parameter for corn drought tolerance selection. The inbred line Ki3 and the F_1 hybrid DK888 were subjected to water stress at different stages of development, i.e. vegetative, tasseling, silking and grain filling stages. Proline content was determined during water stress treatments and after recovery by using spectrophotometric technique. It was found that water stress had the greatest effect on proline content and yield when treated at tasseling stage in both varieties. Proline content and corn yield were negatively correlated in both varieties. This consistency suggested that proline content might be used as parameter for corn drought tolerance selection.

Key words : water stress, proline accumulation, yield, corn

บทคัดย่อ

การคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดให้มีความต้านทานต่อสภาวะขาดน้ำอันเป็นปัญหาใหญ่นั้น จำเป็นต้องอาศัยลักษณะบางอย่างทางสรีรวิทยามาช่วยให้การดำเนินการเป็นไปได้โดยสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น การศึกษานี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพรลีนและความสัมพันธ์กับผลผลิตเมื่อข้าวโพดขาดน้ำ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำปริมาณการสะสมโพรลีนมาเป็นลักษณะที่ใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพด โดยศึกษาเปรียบเทียบในข้าวโพด 2 พันธุ์คือ สายพันธุ์แท้ Ki3 และลูกผสมเดี่ยว DK888 ให้ข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์นี้ได้รับสภาวะขาด

1 ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

2 ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

น้ำที่ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาต่างๆ กัน คือ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ระยะการออกช่อดอกตัวผู้ ระยะออกไหม และระยะติดเมล็ด วิเคราะห์หาปริมาณโพรลีนขณะที่พืชขาดน้ำและหลังจากพืชฟื้นตัว โดยใช้ spectrophotometric technique จากการทดลองพบว่าเมื่อข้าวโพดขาดน้ำที่ระยะออกดอกตัวผู้ ปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของ control ในทั้ง 2 พันธุ์ ส่วนในระยะอื่นๆ นั้น การสะสมโพรลีนในสายพันธุ์ Ki3 จะสูงกว่าในพันธุ์ DK888 เมื่อศึกษาผลผลิตพบว่า ผลผลิตจะต่ำที่สุดใน treatment ที่มีการสะสมโพรลีนสูงสุดในทั้ง 2 พันธุ์ จากการเปรียบเทียบนี้จะเห็นได้ว่าการขาดน้ำส่งผลให้ข้าวโพดมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นจากระดับปกติ และการเพิ่มขึ้นของโพรลีนนี้มีความสัมพันธ์กับผลผลิตในลักษณะตรงกันข้าม และความสัมพันธ์นี้สม่ำเสมอในทั้ง 2 พันธุ์ จึงมีความเป็นไปได้ ที่จะใช้ปริมาณการสะสมโพรลีน เป็นลักษณะในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดทนแล้งได้

คำนำ

ข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ที่ทำรายได้เป็นมูลค่ากว่า 10,000 ล้านบาทต่อปี ในปัจจุบันข้าวโพดได้มีบทบาทสำหรับการใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ที่ใช้ในประเทศมากขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องผลิตข้าวโพดให้มีปริมาณเพียงพอต่อการใช้ภายในประเทศและรักษาปริมาณการส่งออกต่างประเทศ แต่ปัญหาที่เป็นข้อจำกัดก็คือความแปรปรวนของผลผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและการกระจายของฝน เนื่องจากพื้นที่การปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่อยู่ในเขตเกษตรอาศัยน้ำฝน ผลผลิตของข้าวโพดจะขึ้นอยู่กับระยะของการเจริญเติบโตที่ข้าวโพดเผชิญกับสภาวะขาดน้ำ การขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในด้านความสูง และน้ำหนักแห้งของข้าวโพด (Abrecht and Carberry, 1993) ในขณะที่การขาดน้ำที่ระยะก่อนออกช่อดอกตัวผู้เพียงเล็กน้อยถึงระยะเริ่มติดเมล็ด มีผลให้การออกช่อดอกตัวผู้และการออกไหมล่าช้าออกไปมากกว่า 2 สัปดาห์ และมีผลให้ผลผลิตลดลงมากกว่า 90% (NeSmith and Ritchie, 1992a) และการที่ข้าวโพดขาดน้ำระหว่างการติดเมล็ดจะมีผลให้ผลผลิตลดลง 21–40% ซึ่งองค์ประกอบของผลผลิตที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือน้ำหนักเมล็ด (NeSmith and Ritchie, 1992b) Westgate and Grant (1989) พบว่าระยะที่เริ่มออกช่อดอกตัวผู้เป็นระยะที่ข้าวโพดไวต่อการขาดน้ำมากที่สุดและการขาดน้ำจะมีผลน้อยลงในระยะต่อๆ มา

การแก้ปัญหาการลดลงของผลผลิตเนื่องจากสภาวะขาดน้ำนั้น ทางหนึ่งก็คือการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์พืชให้ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำ การที่จะช่วยให้การคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์เป็นไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้น จำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลทางสรีรวิทยามาเป็นตัวบ่งชี้ ลักษณะทางสรีรวิทยาลักษณะหนึ่งที่มีผู้สนใจมากคือการสะสมสารโพรลีนเมื่อพืชขาดน้ำ โพรลีนถูกสร้างขึ้นมาใหม่จากกรดกลูตามิก (Boggess *et al.*, 1976) ซึ่ง Hsiao (1973) ได้เสนอว่าโพรลีนอาจทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาคาร์บอนและไนโตรเจนในระหว่างการขาดน้ำ และนอกจากนี้ยังอาจทำหน้าที่เป็น osmoregulator ด้วย มีรายงานการสะสมโพรลีนเนื่องจากสภาวะขาดน้ำในพืชหลายชนิด เช่น ฝ้าย (McMichael and Elmore, 1977) ข้าวฟ่าง (Blum and Ebercon, 1976) ถั่ว (Stewart, 1972) มะเขือเทศ (Handa *et al.*, 1986) และข้าวบาร์เลย์ (Hanson *et al.*, 1977)

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรลีนกับผลผลิตของข้าวโพดอันเป็นผลจากการได้รับสภาวะขาดน้ำ เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้ลักษณะการสะสมปริมาณโพรลีน ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดที่ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

ใช้ข้าวโพด 2 พันธุ์ คือ สายพันธุ์แท้ Ki3 และลูกผสมเดี่ยว DK888 ปลูกในกระถางขนาด 12 นิ้ว จำนวน 1 ต้น/กระถาง ใช้ดินผสมอัตราส่วน ดิน : ปุ๋ยคอก : ถ่านแกลบ = 1 : 1 : 1 ปลูกข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ในเรือนกระจก ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง วิทยาเขตกำแพงแสน จัดสิ่งทดลองแบบ split-plot ใน completely randomized design มีพันธุ์เป็น main plot และมี treatment เป็น subplot แบ่งเป็น 5 treatment คือ control, WS_V, WS_T, WS_S, และ WS_G แต่ละ treatment มี 5 ซ้ำ กลุ่มที่เป็น control จะได้รับน้ำในปริมาณเท่าๆ กันทุกกระถางจนถึงระดับความชื้นสนาม (field capacity) ตลอดฤดูปลูก ส่วน WS_V, WS_T, WS_S, และ WS_G จะได้รับสภาวะขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative) ระยะการออกช่อดอกตัวผู้ (tasseling) ระยะการออกไหม (silking) และระยะติดเมล็ด (grain filling) ตามลำดับ โดยงดการให้น้ำจนกระทั่งพืชแสดงอาการเหี่ยวจึงให้น้ำใหม่ การให้ปุ๋ยใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 1.5 กรัมต่อกระถาง ให้ทุก 2 สัปดาห์

เก็บตัวอย่างของกลุ่มที่เป็น control พร้อมกับตัวอย่างพืชที่แสดงอาการเหี่ยวเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำที่ระยะต่างๆ และเก็บตัวอย่างอีกครั้งหนึ่งเมื่อพืชฟื้นตัวหลังจากได้รับน้ำใหม่เพื่อวิเคราะห์หาโพรลีน โดยดัดแปลงจากวิธีของ Bates *et al.* (1973) เก็บตัวอย่างใบพืชที่ขยายตัวเต็มที่แล้วประมาณ 0.5 กรัม นำมาบดให้ละเอียดใน 10 มิลลิลิตร 3% aqueous sulfosalicylic acid จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman #2 นำส่วนที่กรองได้ 2 มิลลิลิตร ไปทำปฏิกิริยากับ acid ninhydrin 2 มิลลิลิตร และ glacial acetic acid 2 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองที่ 100° ซ เวลา 1 ชม. หยุดปฏิกิริยาที่ 0° ซ นำส่วนผสมนี้ไปสกัดโดยใช้ toluene 4 มิลลิลิตร แล้วแยกส่วนของ toluene ซึ่งมีสีออกมา นำไปอ่านค่า absorbance ที่ 520 nm ปริมาณโพรลีนที่สะกัดได้จากตัวอย่างสามารถคำนวนได้จาก standard curve ของโพรลีน

เมื่อข้าวโพดสุกแก่ทางสรีรวิทยา เก็บผลผลิตโดยเก็บข้อมูลองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น จำนวนแถวต่อฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว ความยาวของเมล็ด ความยาวรอบฝัก น้ำหนัก 1000 เมล็ด ผลผลิตเมล็ดต่อกระถาง พร้อมทั้งหาน้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพดด้วย

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD (0.05)

ผลและวิจารณ์

เมื่อข้าวโพดได้รับสภาวะขาดน้ำจะมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นที่ทุกระยะการเจริญเติบโต (Figure 1) การสะสมปริมาณโพรลีนในข้าวโพดมีน้อยที่สุด เมื่อข้าวโพดขาดน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำตัน ในการขาดน้ำที่ระยะออกช่อดอกตัวผู้ ส่งผลให้มีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นเป็นเกือบ 4 เท่าของ control ในข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ ส่วนการขาดน้ำในระยะออกไหม และระยะติดเมล็ดนั้นมีการสะสมโพรลีนในพันธุ์ Ki3 มากกว่าพันธุ์ DK888 การตอบสนองต่อการขาดน้ำของพันธุ์ Ki3 ในรูปของการสะสมโพรลีนในระยะออกช่อดอกตัวผู้ ระยะออกไหม และระยะติดเมล็ดนั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน (Figure 1A) คือมีการสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 4 เท่าของ control ส่วนในพันธุ์ DK888 การขาดน้ำในระยะหลังมีผลต่อการสะสมโพรลีนลดน้อยลงเรื่อยๆ (Figure 1B) เมื่อมีการให้น้ำใหม่จนกระทั่งพืชฟื้นตัว พบว่าปริมาณโพรลีนลดลงในทุกระยะการเจริญเติบโต โดยที่ในระยะเจริญเติบโตทางลำต้น ปริมาณโพรลีนจะลดลงมาเท่ากับ control ในพันธุ์ DK888 นั้น พบว่าเมื่อพืชได้รับน้ำใหม่จนกระทั่งฟื้นตัว ปริมาณโพรลีนจะลดลงมาเท่ากับ control ในทุกระยะการเจริญเติบโต ยกเว้นที่ระยะออกช่อดอกตัวผู้ ซึ่งมีโพรลีนลดลงแต่ยังคงมีปริมาณเป็นประมาณ 2 เท่าของ control สำหรับใน

พันธุ์ Ki3 นั้น พบว่าหลังจากพืชฟื้นตัวแล้วปริมาณโพรลีนยังสูงกว่า control ทั้งในระยะออกช่อดอกตัวผู้และระยะติดเมล็ด

เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตของข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าพันธุ์ Ki3 มีผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์ DK888 มาก (Table 1) โดยที่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ (Table 2) พบว่า พันธุ์ Ki3 มีผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์ DK888 ทุกลักษณะ ยกเว้นจำนวนฝักต่อต้น และจำนวนแถวต่อฝักซึ่งไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง treatment (Table 3) พบว่าการขาดน้ำที่ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น และระยะติดเมล็ดไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตทุกลักษณะที่ทำการศึกษา ผลผลิตได้รับผลกระทบมากที่สุดเมื่อข้าวโพดขาดน้ำที่ระยะออกช่อดอกตัวผู้ คือจะมีผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตลดลงทุกลักษณะ การขาดน้ำที่ระยะออกไหมจะมีผลรองลงมา และจะทำให้องค์ประกอบของผลผลิตลดลงบางลักษณะเท่านั้น ซึ่งการขาดน้ำที่ระยะออกช่อดอกตัวผู้นี้ได้มีการศึกษามาก และพบว่าเป็นระยะที่ sensitive ต่อการขาดน้ำมากที่สุด โดยมีผลกระทบต่อผลผลิตมากที่สุด (Abrecht and Carberry, 1993; NeSmith and Ritchie, 1992a; Westgate and Grant, 1989) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ การขาดน้ำในช่วงออกช่อดอกตัวผู้อาจมีการผสมเกสร และการปฏิสนธิเกิดขึ้นได้ แต่ zygote ไม่สามารถพัฒนาต่อไปได้ (Westgate and Boyer, 1986) ส่วนการขาดน้ำที่ระยะติดเมล็ดนั้นมีผลต่อการพัฒนาของเมล็ดน้อยกว่า ถึงแม้ว่าการสังเคราะห์แสงจะถูกยับยั้ง หากอาหารสำรองยังมีอยู่ (Jurgens *et al.*, 1978; Ouattar *et al.*, 1987)

เมื่อพิจารณาถึงการสะสมปริมาณโพรลีน (Figure 1) ควบคู่ไปกับผลผลิตในแต่ละพันธุ์ (Table 1) จะพบแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมปริมาณโพรลีนกับผลผลิตในลักษณะตรงกันข้าม โดยในพันธุ์ Ki3 ซึ่งมีการสะสมโพรลีนเนื่องจากการขาดน้ำในปริมาณสูงที่ระยะออกช่อดอกตัวผู้ ระยะออกไหม และระยะติดเมล็ด จะให้ผลผลิตเมล็ดต่อกระถาง น้ำหนัก 1000 เมล็ด และน้ำหนักแห้งรวม ต่ำกว่า control เมื่อได้รับการขาดน้ำที่ทั้ง 3 ระยะนี้ ส่วนในระยะ เจริญเติบโตทางลำต้นซึ่งมีการสะสมปริมาณโพรลีนน้อยมากนั้น พบว่าผลผลิตไม่แตกต่างจาก control สำหรับในพันธุ์ DK888 ก็เช่นเดียวกัน คือการขาดน้ำในระยะออกช่อดอกตัวผู้ซึ่งมีผลให้มีการสะสมปริมาณโพรลีนสูงสุด มีผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตลดลงมากที่สุดด้วย และในระยะออกไหมซึ่งมีการสะสมปริมาณโพรลีนน้อยลงมา มีผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตลดลงไม่มากเท่าในระยะออกช่อดอกตัวผู้ ส่วนในระยะติดเมล็ดซึ่งมีการสะสมโพรลีนสูงกว่าในระยะเจริญเติบโตทางลำต้นเล็กน้อยนั้น พันธุ์ DK888 มีผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตไม่แตกต่างไปจาก control เมื่อพิจารณาภาพรวมระหว่างพันธุ์ (Table 2) พบว่าพันธุ์ Ki3 ซึ่งมีการสะสมปริมาณโพรลีนเนื่องจากการขาดน้ำสูงกว่าพันธุ์ DK888 ในทุกระยะการเจริญเติบโต จะมีผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์ DK888 ด้วย และเมื่อพิจารณาระหว่าง treatment (Table 3) ก็พบว่าการขาดน้ำในระยะออกช่อดอกตัวผู้ซึ่งมีผลให้มีการสะสมปริมาณโพรลีนสูงในทั้ง 2 พันธุ์ก็มีผลให้ผลผลิตต่ำที่สุดด้วย ส่วนการขาดน้ำในระยะออกไหมซึ่งมีผลให้มีการสะสมปริมาณโพรลีนน้อยลงมาก็มีผลต่อผลผลิตน้อยลงด้วย ผลการทดลองนี้ขัดกับผลที่เสนอโดย Blum and Ebercon (1976) และ Waldren *et al.* (1974) ซึ่งพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรลีนควบคู่ไปกับความทนทานของพืช ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการศึกษาเหล่านั้นทำในพืชชนิดอื่น คือ ข้าวฟ่างและถั่วเหลือง แต่ความสัมพันธ์ในลักษณะตรงกันข้ามระหว่างผลผลิตและการสะสมปริมาณโพรลีนดังที่พบในการทดลองครั้งนี้ ก็พบเช่นเดียวกันในการทดลองกับข้าวบาร์เลย์ (นวรัตน์ และอมรรัตน์, 2536) นอกจากนี้ Hanson *et al.* (1977) ซึ่งได้ทำการทดลองกับข้าวบาร์เลย์ก็ชี้แนะเช่นเดียวกันว่าจากผลการทดลองที่พบ ปริมาณโพรลีนที่สะสม

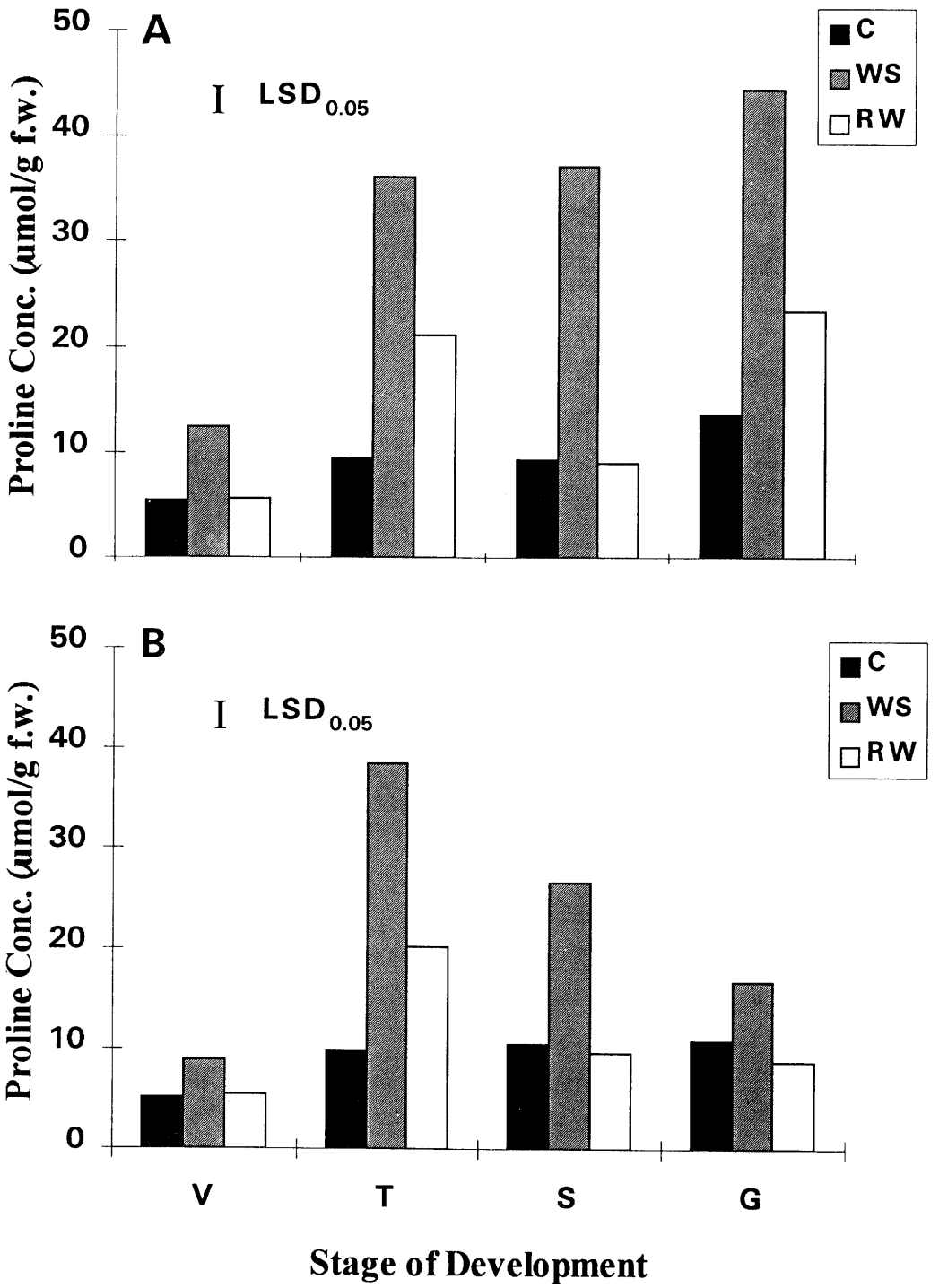

Figure 1 Proline concentrations in two cornvarieties; Ki3 (A) and DK888 (B),when water stressedat differentstages of development (V = vegetative,T = tasseling, S = silking, G =grain filling). C = Control; WS = Water stressed; RW = Rewatered.

Table 1 Yield and yield components of two corn varieties under different water stress treatments.

Variety	Treatment	No. ear/ plant	No. row/ ear (cm)	No seed/ row (cm)	Ear length (g)	Ear girdth	1000 seed weight	Grain Yield (g/plant)	Total DM (g/plant)	Harvest Index (%)
Ki3	C	1.4	11.1	1.9	7.0	6.6	164	4.3	44.2	11.2
	WS_V	1.8	9.4	3.7	7.4	7.7	166	4.9	44.6	17.6
	WS_T	1.0	8.0	2.3	3.6	5.4	123	2.7	26.2	10.3
	WS_S	1.0	9.0	3.0	4.9	6.1	123	3.7	36.4	8.9
	WS_G	1.2	9.4	1.5	6.0	5.9	149	3.3	28.2	10.6
DK888	C	1.6	10.4	19.1	12.7	12.4	338	71.4	130.5	54.5
	WS_V	1.6	9.0	25.6	12.6	11.5	271	63.8	115.8	54.1
	WS_T	1.2	9.6	10.2	9.0	8.9	198	25.4	80.5	26.8
	WS_S	1.2	10.4	16.9	10.7	11.4	270	51.0	107.0	47.0
	WS_G	1.8	10.0	26.3	15.0	12.1	294	78.3	141.6	55.0

C = Control ; WSV, WST, WSS, and WSG = Water stressed atve getative, tasseling, silking and grain filling stage, respectively.

Table 2 Least significant differenc pairwise comparisons of corn yield and yield components by variety. Values in each column followed by the same letter are not significantly different.

Variety	No. ear/ plant	No. row/ ear	No. seed/ row	Ear length (cm)	Ear girdth (cm)	1000seed weight (g)	Grainyield (g/plant)	TotalDM (g/plant)	Harvest Index (%)
Ki3	1.28**a**	9.38**a**	2.46**b**	5.76**b**	6.33**b**	144.8**b**	3.78**b**	34.85**b**	11.72**b**
DK888	1.48**a**	9.88**a**	19.64**a**	12.00**a**	11.25**a**	272.7**a**	57.99**a**	115.10**a**	47.47**a**
LSD(0.05)	0.58	0.95	8.58	3.41	2.57	108.24	30.56	43.42	18.37

Table 3 Deast significant difference pairwise comparisons of corn yield and yield components by treatment. Values in each the some column followed by the same letter are not significantly different.

Treatment	No. ear/ plant	No. row/ ear	No. seed/ row	Ear length (cm)	Ear girdth (cm)	1000 seed weight (g)	Grain yield (g/plant)	Total DM (g/plant)	Harvest Index (%)
C	1.50**ab**	10.75**a**	10.49**abc**	9.83**ab**	9.49**a**	250.70**a**	37.83**ab**	87.36**a**	32.83**a**
WSV	1.70**a**	9.20**b**	14.66**a**	9.98**a**	9.58**a**	218.40**ab**	34.37**ab**	77.51**a**	35.86**a**
WST	1.70**b**	8.80**b**	6.25**c**	6.30**c**	7.15**b**	160.30**b**	14.05**c**	53.37**b**	18.58**b**
WSS	1.70**b**	9.70**ab**	9.91**bc**	7.80**bc**	8.75**a**	193.10**ab**	27.38**b**	71.69**ab**	27.91**ab**
WSG	1.50**ab**	9.70**ab**	13.92**ab**	10.48**a**	9.00**a**	221.20**a**	40.81**a**	84.92**a**	32.79**a**
LSD(0.05)	0.44	1.26	4.51	2.12	1.34	60.40	12.37	18.56	11.91
CV(%)	19.57	7.58	30.68	19.93	11.15	16.25	34.51	18.10	22.91

เนื่องจากการขาดน้ำจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความ sensitive ต่อสภาวะขาดน้ำแทนที่จะเป็นความทนทาน จึงมีแนวโน้มว่าจะใช้ลักษณะการสะสมปริมาณโพรลีนเป็นตัวบ่งชี้ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ได้ โดยใช้เป็น negative index ซึ่งการสะสมปริมาณโพรลีนที่สามารถวิเคราะห์ได้สะดวกและรวดเร็ว จะช่วยให้การคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์พืชทนแล้งเป็นไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

สรุป

1. การขาดน้ำที่ทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดพันธุ์ Ki3 และ DK888 ส่งผลให้มีการสะสมปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นในทั้ง 2 พันธุ์ที่ทำการศึกษา การขาดน้ำที่ระยะเจริญเติบโตทางลำต้นส่งผลให้มีการสะสมโพรลีนน้อยที่สุด

2. เมื่อให้น้ำใหม่จนกระทั่งพืชฟื้นตัว ปริมาณโพรลีนลดลงใกล้เคียงกับ control

3. ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของพันธุ์ Ki3 ต่ำกว่าพันธุ์ DK888 ยกเว้นจำนวนฝักต่อต้น และจำนวนแถวต่อฝักที่ไม่แตกต่างกัน

4. การขาดน้ำที่ระยะออกช่อดอกตัวผู้ส่งผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตลดลงมากที่สุด

5. การสะสมปริมาณโพรลีนเนื่องจากสภาวะขาดน้ำและผลผลิตมีความสัมพันธ์กันในลักษณะตรงกันข้าม โดยพันธุ์ที่สะสมโพรลีนสูงให้ผลผลิตต่ำ และระยะการเจริญเติบโตที่มีการสะสมโพรลีนสูงสุดเมื่อได้รับการขาดน้ำก็ให้ผลผลิตต่ำสุดด้วย

6. อาจใช้ปริมาณการสะสมโพรลีนเป็น negative index ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดที่ทนทานต่อสภาพแห้งแล้ง

เอกสารอ้างอิง

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ และ อมรรัตน์ พรหมบุญ. 2537. การใช้ลักษณะการสะสมปริมาณโพรลีนเนื่องจากสภาวะขาดน้ำบ่งบอกถึงความทนแล้งในข้าวบาร์เลย์. *ใน* รายงานผลการวิจัยในการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่

32 วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2537 สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กระทรวงเกษตรฯ และกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ.

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 : 55-69.

Bates, L.S., R.P. Waldren, and L.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline forwater-stress studies. Plant and Soil 39 : 205-207.

Blum, A. and A. Ebercon. 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. Crop Sci. 16 : 428-431.

Boggess, S.F., C.R. Stewart, D. Aspinall, and L.G. Paleg. 1976. Effect of water stresson proline synthesis from radioactive precursors. Plant Physiol. 58 : 398-401.

Handa, S., A.K. Handa, P.M. Hasegawa, and R.A. Bressan. 1986. Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. Plant Physiol. 80 : 938-945.

Hanson, A. D., C.E. Nelsen, and E.H. Everson. 1977. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. Crop Sci. 17 : 720-726.

Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annu. Rev. Plant Physiol. 24 : 519-570.

Jurgens, S.K., R.R. Johnson, and J.S. Boyer. 1978. Dry matter production and translocation in maize subjected to drought during grain fill. Agron. J. 70 : 678-682.

McMichael, B.L. and C.D. Elmore. 1977. Proline accumulation in water stressed cotton leaves. Crop Sci. 17 : 905-908.

NeSmith, D.S. and J.T. Ritchie. 1992a. Effects of soil water deficits during tassel emergence on development and yield components of maize (*Zea mays*). Field Crops Res. 28 : 251-256.

NeSmith, D.S. and J.T. Ritchie. 1992b. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water deficit during grain-filling. Field Crops Res. 29 : 23-35.

Ouattar, S., R.J. Jones, and R.K. Crook ston. 1987. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. Crop Sci. 27 : 726-730.

Stewart, C.R. 1972. Proline content and metabolism during rehydration of wilted excised leaves in the dark. Plant Physiol. 50 : 679-681.

Waldren, R.P., I.D. Teare, and S.W. Ehler. 1974. Changes in free proline concentration in sorghum and soybean plants under field conditions. Crop Sci. 14 : 447-450.

Westgate, M.E. and J.S. Boyer. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. Crop Sci. 26 : 951-956.

Westgate, M.E. and D.L.T. Grant. 1989. Water deficits and reproduction inmaize : Response of the reproductive tissue to water deficits at anthesis and mid grainfill. Plant Physiol. 91 : 862-867.