

การตอบสนองของข้าวโพดต่อสภาพขาดน้ำในดินและต่อการใส่ปุ๋ย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในช่วงฟื้นตัว

Responses of Corn to Drought and to Nitrogen and Phosphorus Fertilization during
Recovery from Drought Stress

เสนห์ เครือแก้ว¹

วันชัย ถนอมทรัพย์²

Sanayh Kraokaw¹

Wanchai Thanomsub²

ABSTRACT

The response of an open-pollinated Nakhon Sawan 1 (NS 1) and two hybrid (Pioneer 3012 and CP-DK 888) corn varieties to drought and to nitrogen (N) and phosphorus (P) fertilizers applied soon after termination of drought was studied in the field during the dry season (January – April) of 1996 and 1997 at Nakhon Sawan Field Crops Research Center. Water regime consisted of the control and drought treatments. The control plots were received sprinkler irrigation water with sufficient amount (40 mm) just after planting, 7 days after emergence (DAE) and then every 7 days until 98 DAE. While the water stressed (drought) plots also received 40 mm of water at planting were supplied only 10 mm of water at 7 DAE and were withheld from irrigation water scheduled at 14, 21 and 28 DAE. Then, the resumption of sufficient water supply was from 35 DAE. In 1996, NS 1 and Pioneer 3012 were used but CP-DK 888 was used in place of Pioneer 3012 in 1997. Either none, N, P (as P_2O_5) or N+P fertilizers of 93.75 and 62.50 kg N or P each/ha was applied at 37 DAE in 1996 and 1997, respectively. However, 31.25 kg N and P/ha was added to all plots at planting in 1997. At the end of a drought period (35 DAE), top dry mass, leaf areas and N and P concentrations in the tops of all 3 corn varieties were adversely affected by drought but being relatively more severe in NS 1. Overall, either hybrid gave higher grain yield than NS1, regardless of.

¹ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ อ. ตากฟ้า จ. นครสวรรค์ 60190

Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Takfa, Nakhon Sawan 60190

² ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท อ. เมือง จ. ชัยนาท 17000

Chainat Field Crops Research Center, Muang, Chainat 17000

water regime and N and P fertilization. An application of either N, P or N+P fertilizers a few days after the start of a recovery period (37 DAE) could restore the final grain yields of previously water-stressed corn plants.

Key words : open-pollinated and hybrid corn varieties, drought, recovery, N and P fertilization

บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด นครสวรรค์ 1 และพันธุ์ลูกผสม Pioneer 3012 และ CP-DK 888 ต่อสภาพขาดน้ำในดินในสภาพไร่ช่วง 7-35 วันหลังออก และต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) (รูป P_2O_5) หรือ N ร่วมกับ P ในช่วงฟื้นตัว ระดับน้ำในดินมี 2 ระดับ คือ พอเพียง (Control) และขาดน้ำ (Drought) วิธีการแรกเป็นการให้น้ำอย่างพอเพียง (40 มม.) แบบหัวฉีดหมุนทันทีหลังปลูก และทุก ๆ 7 วัน หลังออก จนถึง 98 วัน หลังออก ส่วนแบบขาดน้ำนั้นได้ให้น้ำเช่นเดียวกับแบบพอเพียง แต่ให้เพียง 10 มม. ที่ 7 วันหลังออก และงดให้น้ำที่ 14, 21 และ 28 วัน หลังออก ในปีแรก (ม.ค. - เม.ย. 39) ปลูกข้าวโพด พันธุ์นครสวรรค์ 1 และ Pioneer 3012 และที่ 37 วันหลังออก ได้ใส่ปุ๋ยที่ให้ไนโตรเจน 15 กก. N/ไร่ หรือฟอสฟอรัส 15 กก. P_2O_5 /ไร่ อย่างเดียวหรือ 2 อย่างร่วมกัน ในปีที่สอง (ม.ค. - เม.ย. 40) ได้

ปลูกพันธุ์นครสวรรค์ 1 และ CP-DK 888 พร้อมกับใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหาร 5 กก.N/ไร่ หรือ 5 กก. P_2O_5 /ไร่ พร้อมปลูกในทุกวิธีการใส่ปุ๋ย และที่ 37 วันหลังออก ได้ใส่ปุ๋ยที่ให้ 10 กก.N/ไร่ หรือ 10 กก. P_2O_5 /ไร่ อย่างเดียวหรือ 2 อย่างรวมกัน พบว่าที่ 35 วันหลังออก สภาพขาดน้ำในดินมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต และระดับ N และ P ในส่วนบนดินของข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ (ในแต่ละปี) พันธุ์ Pioneer 3012 และ CP-DK 888 มีสัดส่วนความเสียหาย เนื่องจากสภาพขาดน้ำในดินน้อยกว่า นครสวรรค์ 1 ข้าวโพดลูกผสม Pioneer 3012 และ CP-DK 888 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ผสมเปิด นครสวรรค์ 1 ทั้งในสภาพที่กระทบกับภาวะขาดน้ำในดินหรือในสภาพที่ได้รับน้ำพอเพียงตลอด ไม่ว่าจะมีการใส่ปุ๋ยหรือไม่ก็ตาม การใส่ปุ๋ยที่ให้ N หรือ P อย่างเดียว หรือ N และ P ร่วมกันสามารถทำให้ข้าวโพดที่เคยประสบกับภาวะขาดน้ำในดินสามารถฟื้นตัวได้ และให้ผล

ผลิตได้สูงใกล้เคียงกับข้าวโพดที่ไม่เคยผ่านการขาดน้ำมาก่อนเลย

คำหลัก : ข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด และลูกผสม สภาพขาดน้ำในดิน การฟื้นตัว การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

คำนำ

ข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2538/39 พื้นที่ปลูกข้าวโพดไร่เกือบทั้งหมด (> 8.3 ล้านไร่) อยู่ในเขตที่ต้องพึ่งพาอาศัยน้ำฝน เท่านั้น (นิรนาม, 2539) ดังนั้นเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดในแหล่งปลูกข้าวโพดที่สำคัญของประเทศไทยนั้น จึงมักประสบกับภาวะฝนทิ้งช่วง หรือ ฝนแล้ง (2-3 สัปดาห์ หรือมากกว่า) ไม่ว่าจะปลูกต้นฝน (เม.ย. - พ.ค.) หรือกลางฝน (ก.ค. - ส.ค.) (Sukjaroen *et al.*, 1996) เกษตรกรอาจต้องปลูกใหม่ ทำให้เสียค่าลงทุน (เช่น เตรียมดินและซื้อเมล็ดพันธุ์ใหม่ ปุ๋ย เป็นต้น) เพิ่มขึ้น หรือสูญเสียผลผลิตบางส่วน หรือเสียหายอย่างสิ้นเชิง นอกจากนี้แล้ว ผลผลิตของข้าวโพดที่เกษตรกรได้รับมักจะค่อนข้างต่ำอีกด้วย เนื่องจากดินที่ปลูกข้าวโพดขาดธาตุอาหารที่สำคัญ ได้แก่ N (Takahashi, 1972) และ P (Pichit *et al.*, 1988)

ข้าวโพดเป็นพืชที่ไม่ทนแล้ง อย่างไรก็ตาม ภาวะขาดน้ำในดินที่เกิดในช่วงแรก ๆ ของการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) และสิ้นสุดก่อนข้าว

โพดเข้าสู่ระยะออกดอกตัวผู้และออกใหม่ (เปรียบเทียบกับที่เกิดในช่วงออกดอกตัวผู้และออกใหม่) มีผลเสียหายต่อผลผลิตค่อนข้างน้อย เนื่องจากข้าวโพดสามารถฟื้นตัวได้บางส่วน ซึ่งความสามารถในการฟื้นตัวและให้ผลผลิต อาจมีความแตกต่างกันระหว่างข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิดและพันธุ์ลูกผสม (Classen and Shaw, 1970) และความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Moser *et al.*, 1996) เสน่ห์และคณะ (2537) รายงานว่า การใส่ปุ๋ย N และ P อย่างพอเพียง ทันทีที่ข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด (สุวรรณ 1 และนครสวรรค์ 1) และลูกผสม Pioneer 3264 ผ่านพื้นภาวะขาดน้ำในดินในกระถางทดลอง (ช่วง 15-29 วันหลังออก) สามารถช่วยเร่งการฟื้นตัวของข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ และในสภาพไร่ Moser *et al.* (1996) รายงานไว้ เช่นกันว่า การใส่ปุ๋ย N อย่างพอเพียงพร้อมปลูก สามารถช่วยลดความเสียหายของผลผลิตข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิดและลูกผสมจากภาวะขาดน้ำในดินที่เกิดในช่วงระยะการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน นอกจากนี้แล้ว พบว่า แม้ว่าข้าวโพดจะย่างเข้าสู่ระยะออกใหม่แล้วก็ตาม การใส่ปุ๋ย N และ P อย่างพอเพียงในช่วงดังกล่าวยังสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย (หริ่ง และคณะ, 2535)

ดังนั้น การฟื้นตัวจากภาวะขาดน้ำในดินของข้าวโพดอาจมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ (พันธุ์ผสมเปิด vs. พันธุ์ลูก

ผสม) และถ้าหากดินมีความอุดมสมบูรณ์ (N และ P) สูงอาจช่วยเร่งให้ข้าวโพดฟื้นตัวได้เร็ว และให้ผลผลิตเป็นปรกติ เพื่อทดสอบสมมติฐานข้างต้น จึงทำการทดลองเพื่อ 1) ศึกษาอิทธิพลของสภาพขาดน้ำในดินที่เกิดระยะแรก ๆ ของ vegetative growth และสิ้นสุดก่อนออกดอกตัวผู้และออกใหม่ต่อการเจริญเติบโต ระดับของ N และ P ในลำต้นและใบ และผลผลิตของข้าวโพด พันธุ์ผสมเปิดและพันธุ์ลูกผสม และ 2) ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ย N และ P ทันทีที่ข้าวโพดผ่านพ้นภาวะขาดน้ำในดิน ต่อผลผลิตของข้าวโพด พันธุ์ผสมเปิด และพันธุ์ลูกผสมที่เคยเปรียบเทียบกับภาวะขาดน้ำในดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ จ. นครสวรรค์ ในช่วงเดือนมกราคม ถึง เมษายน (ฤดูแล้ง) ปี 2539 และ 2540 ดินในบริเวณแปลงทดลองเป็นดินชุดลพบุรี ซึ่งพบได้อย่างแพร่หลายในแหล่งปลูกข้าวโพดที่สำคัญของประเทศไทย เป็นดินเหนียว (clay) มีการระบายน้ำดีพอสมควร และมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางเหมาะสำหรับปลูกข้าวโพด (หรั่ง และคณะ, 2535) คุณสมบัติทางฟิสิกส์ และทางเคมีบางประการของดินซึ่งได้เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกชั้นไทรพรวน (0-15 ซม.) มีดังนี้ :- pH 7.3; OM 2.3%, avail. P (Bray II) 19

ppm; exch. K 201 ppm และความชื้นของดินที่ field capacity (FC) @ pF2 และจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point, PWP) @ pF4.2 เท่ากับ 38.5 และ 25.5% และที่ระดับความลึก 15-45 ซม. มีความชื้นของดินที่ FC และ PWP 39.4 และ 26.7% (w/w) ตามลำดับ

วางแผนการทดลองแบบ Split split-plot มีจำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ศึกษามีดังนี้

1. Main plot ประกอบด้วย 2 ระดับน้ำในดิน (water regime) ได้แก่

1.1 พอเพียง (Control): ข้าวโพดที่ปลูกได้รับน้ำพอเพียงตลอดฤดูปลูก โดยทำการให้น้ำครั้งละ 40 มม. ทันทีหลังปลูกเสร็จ และทุก ๆ 7 วันหลังออก (days after emergence = DAE) จนกระทั่ง 98 DAE

1.2 ขาดน้ำ (Drought) : ข้าวโพดประสบกับการขาดน้ำ โดยทำการให้น้ำเช่นเดียวกับ 1.1 (พอเพียง) แต่ให้น้ำเพียง 10 มม. ที่ 7 DAE และงดให้น้ำที่ 14, 21 และ 28 DAE และเริ่มให้น้ำพอเพียงอีกครั้งตั้งแต่วันที่ 35 DAE ซึ่งนับเป็นวันเริ่มระยะฟื้นตัวของข้าวโพด

2. Subplot ประกอบด้วยข้าวโพด 2 พันธุ์ (ในแต่ละปี) โดยปี 2539 ได้ใช้พันธุ์นครสวรรค์ 1 และ Pioneer 3012 สำหรับปี 2540 ได้ใช้พันธุ์ CP – DK 888 แทนพันธุ์ Pioneer 3012 พันธุ์นครสวรรค์ 1 เป็นพันธุ์

ผสมเปิด (open-pollinated) และเป็นพันธุ์
รับรองของทางราชการ ตั้งแต่ปี 2532
เป็นต้นมา ไม่มีประวัติทางด้านทนแล้ง ส่วน
Pioneer 3012 และ CP-DK 888 เป็นพันธุ์
ลูกผสมเดี่ยวของบริษัทเมล็ดพันธุ์ บริษัทฯ
ระบุว่า สามารถทนทานต่อสภาพขาดน้ำใน
ดินอันเนื่องมาจากฝนทิ้งช่วงในฤดูปลูก
ปกติได้ดี

3. Sub-subplot ประกอบด้วย 4 วิธี
การของปุ๋ย N และ P (รูป P_2O_5) ที่ใส่ให้ข้าว
โพดเมื่อเริ่มระยะพื้นตัว โดยทำการใส่ปุ๋ยที่ 2
วันหลังวันเริ่มพื้นตัว (37 DAE) ทั้งนี้เพื่อ
ความสะดวกในการใส่ปุ๋ย เพราะว่าดินไม่
เปียกชื้นมากเกินไป วิธีการใส่ปุ๋ยมีดังนี้

3.1 ไม่มีการใส่ปุ๋ยเลย (None)

3.2 ใส่ปุ๋ย N อย่างเดียว (N)
โดยใช้อัตรา 15 กก. N/ไร่ ในปี 2539 และ 10
กก. N/ไร่ สำหรับปี 2540

3.3 ใส่ปุ๋ย P อย่างเดียว (P)
โดยใช้อัตรา 15 กก. P_2O_5 /ไร่ ในปี 2539 และ
10 กก. P_2O_5 /ไร่ สำหรับปี 2540

3.4 ใส่ปุ๋ย N ร่วมกับ P(NP)
โดยใช้อัตราเดียวกับข้อ 3.2 และ 3.3

ก่อนปลูกข้าวโพด ได้ทำการไถตะ
และพรวนแปลงทดลองอย่างละ 1 ครั้ง เสร็จ
แล้วได้ใช้แทรกเตอร์ยกร่อง (ridge) โดยสัน
ร่องสูง 15 ซม. และห่างกัน 75 ซม. ในปี
2539 ได้ทำการใส่ปุ๋ยที่ให้ N (สูตร 21-0-0)
และ P (สูตร 0-46-0) เพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่ม
ระยะพื้นตัว (ที่ 37 DAE) โดยโรยข้างแถวแล้ว

กลบ สำหรับปี 2540 ที่วันเดียวกันนี้ได้ทำ
การใส่ปุ๋ยอย่างละ 10 กก./ไร่ เท่านั้น แต่ได้
ใส่ปุ๋ยที่ให้ N และ P ร่วมกันพร้อมปลูก
(อย่างละ 5 กก./ไร่) โดยโรยกันร่อง ในทุก ๆ
แปลงทดลองย่อย (sub-subplot) (ขนาด 4.5
x 6.0 ม.)

ได้ปลูกข้าวโพดจำนวน 6 แถวในแต่ละ
แปลงทดลองย่อย ให้แต่ละหลุมห่างกัน
25 ซม. เมื่อปลูกเสร็จแล้วได้ทำการให้น้ำ
แบบหัวฉีดหมุน (rotating sprinkler) ทั่วทั้ง
แปลงในปริมาณ 40 มม. และให้น้ำทุก ๆ 7
วัน หลังออกตามวิธีการ ถอนแยกเหลือ 1
ต้น/หลุมหลังข้าวโพดออก 7 วัน ที่ 14, 21,
28 และ 35 DAE (ปี 2539) ได้เก็บตัวอย่าง
ดินในระดับความลึก 0-15 ซม. โดยที่ 35
DAE ได้เก็บตัวอย่างดินที่ความลึกเพิ่มขึ้นอีก
1 ช่วง คือ 15-45 ซม. จากบริเวณกึ่งกลาง
ของแต่ละแปลงทดลองย่อย เพื่อนำมาหา
เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน (% w/w) เช่น
เดียวกัน ที่ 14, 21, 28, 35, 42, 49 และ 56
DAE ได้ทำการวัดความสูงของต้นข้าวโพด
โดยวัดแปลงทดลองย่อยละ 10 ต้น จาก 2
แถวกลาง (แถวละ 5 ต้นติดต่อกัน) โดยวัด
จากผิวดินจนถึงยอดใบสูงสุด ที่ 34 DAE
(ก่อนวันสิ้นสุดระยะขาดน้ำในดิน 1 วัน) ได้
ให้คะแนนความเหี่ยว (wilting score) ของ
ใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ (uppermost fully
expanded leaf) ของข้าวโพดแปลงทดลอง
ย่อยละ 4 ต้น จาก 2 แถวกลาง (แถวละ 2
ต้น) เริ่มแต่ 12.00 น. (เที่ยงวัน) เป็นต้นไป

โดยวัดการม้วนงอขึ้นของขอบใบส่วนที่กว้างที่สุด (Jones, 1979) และให้คะแนน 0 – 4 ดังนี้ คือ 0 = ใบไม่เหี่ยว (no wilting), 1 = ใบเหี่ยวเล็กน้อย (slight wilting) (<25% ของความกว้างใบงอขึ้น), 2 = ใบเหี่ยวค่อนข้างเล็กน้อย (mild wilting) (25-49 % ของความกว้างใบงอขึ้น), 3 = ใบเหี่ยวปานกลาง (moderate wilting) (50-74% ของความกว้างใบงอขึ้น) และ 4 = ใบเหี่ยวรุนแรง (severe wilting) มีการม้วนของขอบใบ > 75%

ในวันสิ้นสุดระยะขาดน้ำในดิน (35 DAE) ได้เก็บเกี่ยวข้าวโพดจาก 2 แถวกลางของแปลงทดลองย่อยทางด้านหัวแปลงด้านหนึ่ง (แถวละ 2 ต้นชิดกัน) โดยเว้นจากหัวแถว 1 ต้น ตัดลำต้นข้าวโพดที่ระดับผิวดิน หลังจากนั้นได้นับจำนวนใบ/ต้น แยกส่วนบนดินออกเป็น 1) ลำต้น ประกอบด้วยส่วนของลำต้น และก้านใบ และ 2) ใบเป็นส่วนของตัวใบ เท่านั้น นำใบที่ได้ไปวัดหาพื้นที่ โดยใช้ เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Portable leaf area meter) รายงานพื้นที่ใบเป็น ซม.²/ต้น นำส่วนลำต้นและใบเข้าอบในตู้อบที่ 75°C เป็นระยะเวลา 4 วัน เสร็จแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นได้นำส่วนเหล่านี้ไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดพืชและวิเคราะห์หาความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) ของ N และ P ต่อไป สำหรับปี 2540 ได้บันทึกจำนวนวันออกดอกตัวผู้ และวันออกไหม 50% แล้วคำนวณช่วงห่างระหว่างวันออกดอกตัวผู้และ

ออกไหม (anthesis silking interval, ASI) ที่ 115 DAE ได้เก็บเกี่ยวข้าวโพดจาก 4 แถวกลาง โดยเว้นหัวแถวข้างละ 1 ม. (4 หลุม) นำฝักที่ได้ไปตาก 4-5 วัน แล้วชั่งน้ำหนักฝักแห้งเมล็ด สุ่มฝักข้าวโพดที่เก็บจากแต่ละแปลงทดลองย่อยจำนวน 10 ฝัก เพื่อหาจำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 100 เมล็ด และความชื้น และเปอร์เซ็นต์กะเทาะรายงานผลผลิตเป็น กก./ไร่ (ที่ความชื้น 15%)

ผลการทดลองและวิจารณ์

อาการผิดปกติที่ข้าวโพดแสดงออก (visible symptoms) ในช่วงที่ประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน

ระยะเวลาที่ข้าวโพดเริ่มมีอาการใบเหี่ยว (อาการขาดน้ำ) และความรุนแรงของอาการใบเหี่ยวในข้าวโพด พันธุ์นครสวรรค์ 1 และ Pioneer 3012 (ปี 2539) และ นครสวรรค์ 1 และ CP-DK 888 (ปี 2540) ใกล้เคียงกัน (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้) โดยที่ข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์มีอาการใบเหี่ยวปานกลาง (คะแนน = 3) ประมาณ 10 วันหลัง วันเริ่มระยะขาดน้ำในดิน แต่อาการใบเหี่ยวทุเลาลงในช่วงเย็นและกลางคืน และเมื่อสิ้นสุดระยะขาดน้ำในดิน (35 DAE) นั้น ข้าวโพดที่ขาดน้ำมีอาการใบเหี่ยวอย่างรุนแรง (คะแนน = 4) แต่อาการดังกล่าวหมดไป เพียง 1 วัน หลังจากได้รับน้ำพอเพียงอีกครั้ง (ข้าวโพดฟื้นตัว) ทั้งนี้ในปี 2539 ข้าวโพดเริ่มมีอาการใบเหี่ยวเมื่อความชื้นในดินที่ระดับ

ความลึกชั้นไทรพอร์น (0-15 ซม.) ในแปลงข้าวโพดที่ประสบกับภาวะขาดน้ำในดินลดลงถึงระดับจุดเหี่ยวถาวร (ความชื้น 25.5%) ที่ประมาณ 14 วันหลังจากวันเริ่มระยะการขาดน้ำในดิน อย่างไรก็ตาม ยังมีน้ำที่เป็นประโยชน์ (available water) เหลืออยู่ในระดับ 15-45 ซม. (Fig.1) Copeland and Allmaras (1993) และ Nicket *et al.* (1995) รายงานว่า ในภาวะฝนทิ้งช่วงและดินชั้นบนขาดน้ำ ข้าวโพดสามารถหยั่งรากบางส่วนลงลึกในดินเพื่อดูดรับน้ำที่ระดับ 40 ซม. หรือมากกว่าเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตในช่วงดังกล่าว

การเจริญเติบโตของข้าวโพดในช่วงที่ประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน และเมื่อสิ้นสุด

ในปี 2539 พบว่า ไม่มีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่าง พันธุ์ข้าวโพด และระดับน้ำในดินต่อน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นและใบของข้าวโพดที่ 35 DAE โดยวันดังกล่าวข้าวโพดนครสวรรค์ 1 และ Pioneer 3012 มีน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นและใบ ใกล้เคียงกัน และได้รับผลกระทบจากภาวะขาดน้ำในดินทำนองเดียวกัน อีกด้วย โดยน้ำหนักแห้งส่วนลำต้น

และใบลดลง 44.0 และ 34.4 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในปี 2540 พบว่า สภาพดินขาดน้ำทำให้น้ำหนักแห้งส่วนลำต้นและใบของ นครสวรรค์ 1 ลดลง 52.8 และ 39.6% ซึ่งมากกว่า CP-DK 888 ที่น้ำหนักแห้งส่วนลำต้นลดลงเพียง 41.8 และ 28.9% ตามลำดับ เท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากที่ 35 วันหลังจาก ในสภาพที่ไม่มีการขาดน้ำในดินนั้น พันธุ์นครสวรรค์ 1 มีน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นและใบ สูงกว่า CP-DK 888 แต่ในสภาพที่ดินขาดน้ำ ทั้ง 2 พันธุ์ มีน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นและใบ ใกล้เคียงกัน ดังนั้นสัดส่วนความเสียหายจึงพบมากกว่าในพันธุ์นครสวรรค์ 1 (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้)

Fig.2 แสดงพื้นที่ใบของข้าวโพดที่ 35 DAE ในสภาพปกติ ดินไม่ขาดน้ำ นั้นโดยเฉลี่ยข้าวโพดนครสวรรค์ 1 มีพื้นที่ใบสูงกว่า Pioneer 3012 (ปี 2539) และสูงกว่า CP-DK 888 (ปี 2540) แต่ในสภาพขาดน้ำในดินนั้น พื้นที่ใบของข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ในแต่ละปี ไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นสภาพขาดน้ำในดินจึงมีผลกระทบต่อพื้นที่ใบของนครสวรรค์ 1 ในสัดส่วนที่มากกว่าลูกผสมทั้ง 2 พันธุ์

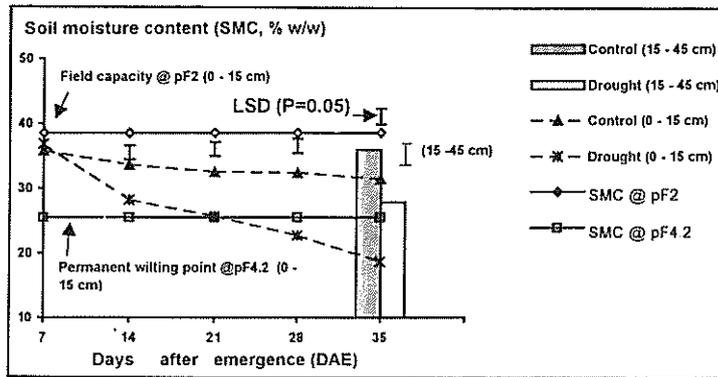


Fig. 1 Soil moisture content during a drought period (7, 14, 21, 28 and 35 DAE) at 0-15 cm depth and at 15-45 cm depth for 35 DAE only, in the control and drought plots (average of 2 corn varieties, i.e. Nakhon Sawan 1 and Pioneer 3012) (1996).

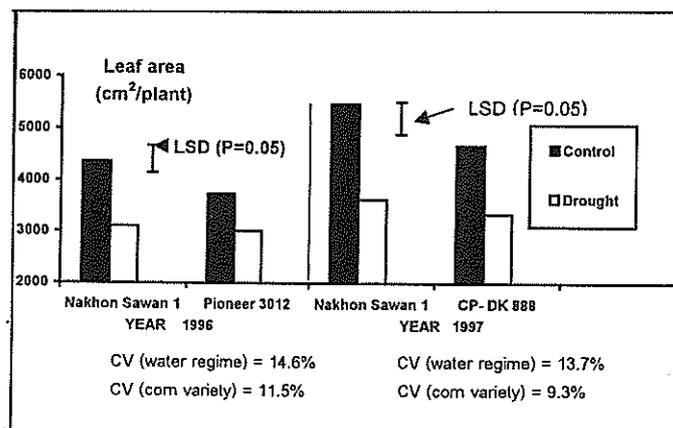


Fig. 2 Effect of water regime x corn variety on leaf areas of corn plants at the end of a drought period (35 DAE) in 1996 and 1997.

ในปี 2539 พบว่า อิทธิพลของสภาพขาดน้ำในดินที่มีต่อความสูงของข้าวโพด พันธุ์นครสวรรค์ 1 และ Pioneer 3012 ปรากฏให้เห็นช่วง 21-28 DAE ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ความชื้นในดินชั้นบน (0-15 ซม.) ลด

ลงถึงระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวรแล้ว (Fig.1) โดยที่ 35 DAE ความสูงของข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ ลดลง 17% เนื่องจากกระทบกับภาวะดินขาดน้ำในดิน (Fig.3) เมื่อข้าวโพดที่ประสบกับภาวะขาดน้ำได้รับน้ำพอ

เพียงอีกครั้งที่ 35 DAE และได้รับการใส่ปุ๋ย N, P หรือ N และ P (ที่ 37 DAE) ข้าวโพดที่เคยกระทบกับการขาดน้ำในดินเริ่มฟื้นตัวค่อนข้างเร็วกว่าข้าวโพดที่ได้รับน้ำอย่างพอเพียงมาตลอด พบว่า ที่ 56 DAE ไม่มีความ

แตกต่างระหว่างข้าวโพดที่เคยประสบกับภาวะขาดน้ำในดินกับข้าวโพดที่ได้รับน้ำพอเพียงมาตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ย N, P หรือ N และ P ร่วมกัน (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้)

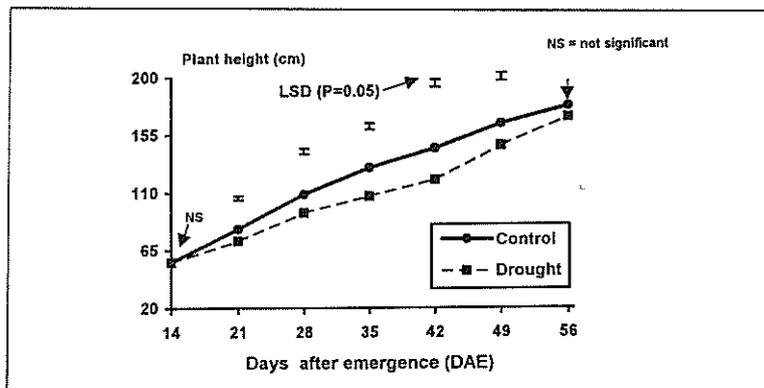


Fig. 3 Plant height of corn at 14, 21, 28 and 35 DAE (average of 2 corn varieties : Nakhon Sawan 1 and CP-DK 888) and at 42, 49 and 56 DAE (average of 2 corn varieties over 4 different N and P fertilizers applied) (1997).

เปอร์เซ็นต์ N และ P ในส่วนบนดินของข้าวโพดเมื่อสิ้นสุดภาวะขาดน้ำในดิน

ที่ 35 DAE พบว่า สภาพขาดน้ำในดินทำให้เปอร์เซ็นต์ N และ P ในส่วนลำต้นและใบของข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 1 และ Pioneer 3012 (ปี 2539) และนครสวรรค์ 1 และ CP-DK 888 (ปี 2540) ลดลง (Table 1)

อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์ N ในส่วนลำต้นและใบของ Pioneer 3012 (ปี 2539) และใน ส่วนลำต้นของ CP-DK 888 (ปี 2540) ที่ประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน ยังคงอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับที่พบในส่วนเดียวกันของ นครสวรรค์ 1 ซึ่งปลูกในสภาพที่ได้รับน้ำพอเพียงมาตลอด ในแต่ละปี

Table 1 Effect of water regime x corn variety on N and P concentrations in stems and leaves of corn plants at the end of a drought period (35 DAE) in 1996 and 1997.

Corn variety	Water regime	N(%)		P(%)	
		Stem	Leaf	Stem	Leaf
<u>Year 1996</u>					
Nakhon Sawan 1	Control	1.82	1.99	0.24	0.30
	Drought	1.11	1.72	0.19	0.23
Pioneer 3012	Control	2.30	2.45	0.29	0.36
	Drought	1.73	1.96	0.22	0.24
LSD (P = 0.05)		0.19	0.20	0.04	0.02
CV (water regime) (%)		6.8	2.9	7.7	6.7
CV (corn variety) (%)		5.9	2.7	5.8	6.3
<u>Year 1997</u>					
Nakhon Sawan 1	Control	1.92	2.13	0.25	0.30
	Drought	1.34	1.76	0.19	0.22
CP-DK 888	Control	2.31	2.50	0.33	0.38
	Drought	1.76	1.90	0.22	0.27
LSD (P = 0.05)		0.18	0.13	0.03	0.02
CV (water regime) (%)		6.70	7.90	5.70	5.90
CV (corn variety) (%)		6.00	5.70	5.40	5.60

วันออกดอกตัวผู้ และช่วงห่างระหว่างวันออกดอกตัวผู้และออกไหม (ASI)

ในปี 2540 พบว่า โดยเฉลี่ย CP-DK 888 และ นครสวรรค์ 1 ออกดอกตัวผู้ที่ 59 และ 49 DAE ตามลำดับ (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้) การใส่ปุ๋ย N และ P ที่ 37 DAE มีผลต่อวันเริ่มออกดอกตัวผู้ในข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ โดยการไม่ใส่ปุ๋ย N หรือ P ทำให้ข้าวโพด

(ทั้ง 2 พันธุ์) ที่ได้รับน้ำพอเพียงมาตลอด ออกดอกตัวผู้ล่าออกไป 2 วัน และถ้าหากว่ามีภาวะขาดน้ำในดินร่วมด้วย ข้าวโพดออกดอกตัวผู้ล่าออกไปอีก 3 วัน และมีค่า ASI กว้างขึ้น 1-2 วัน อย่างไรก็ตาม ข้าวโพดที่ได้รับการใส่ปุ๋ย N, P หรือ N และ P หลังจากระยะแล้งมีวันออกดอกตัวผู้ และ ASI ใกล้เคียงกันกับข้าวโพดที่ได้รับน้ำพอเพียงมาตลอด (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้) ค่า ASI ของ

ข้าวโพดที่กว้างขึ้นจากการขาดน้ำในดิน ยังต่ำกว่าค่าวิกฤติ (6 วัน) ที่รายงานว่ามีผลเสียต่อการติดเมล็ดและการให้ผลผลิตของข้าวโพด (Westgate, 1996)

ผลผลิตของข้าวโพด

ในปี 2539 และ 2540 พบว่า ไม่มีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำในดินและพันธุ์ข้าวโพดต่อผลผลิตของข้าวโพดแต่อย่างใด โดยเฉลี่ย ในปี 2539 ข้าวโพด Pioneer 3012 ให้ผลผลิต (669 กก./ไร่) สูง

กว่า นครสวรรค์ 1 ประมาณ 17% และ 2540 CP-DK 888 ให้ผลผลิต (728 กก./) สูงกว่า นครสวรรค์ 1 ประมาณ 15% (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้) การที่ข้าวโพดลูกผสม Pioneer 3012 และ CP-DK 888 ให้ผลผลิตสูงกว่า พันธุ์ผสมเปิด นครสวรรค์ 1 สาเหตุส่วนหนึ่งมาจากเปอร์เซ็นต์กะเทาะในข้าวโพดลูกผสมทั้ง 2 พันธุ์ (84%) สูงกว่า นครสวรรค์ 1 (77 %) (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้)

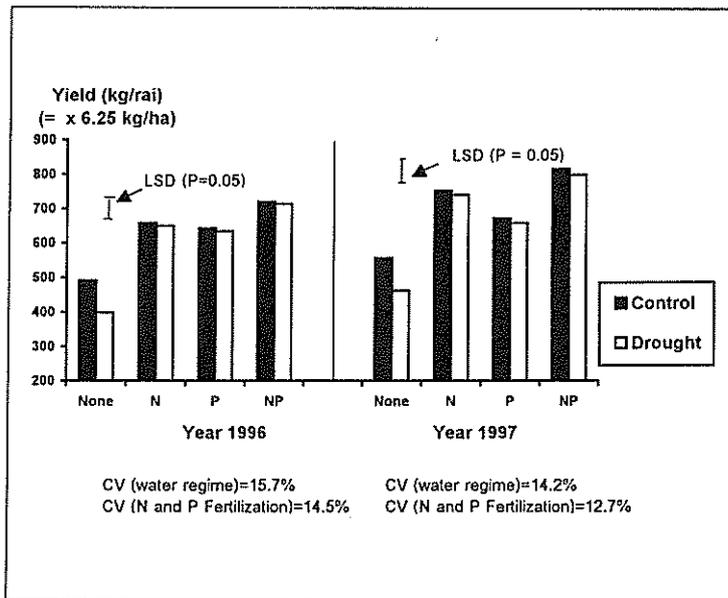


Fig. 4 Effects of water regime x N and P fertilizers applied at 2 days after start of a recovery period (37 DAE) on corn yield (average of 2 corn varieties: Nakhon Sawan 1 and Pioneer 3012 in 1996; and Nakhon Sawan 1 and CP-DK 888 in 1997)

Fig. 4 แสดงปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในดิน และการใส่ปุ๋ย N และ P ที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตของข้าวโพด (ปี 2539 และ 2540) โดยทั้ง 2 ปี การใส่ปุ๋ย N, P หรือ N ร่วมกับ P ที่ 2 วันหลังข้าวโพดผ่านพ้นสภาพขาดน้ำในดิน (37 DAE) สามารถช่วยให้ข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ที่เคยกระทบกับภาวะขาดน้ำในดินสามารถฟื้นตัวได้อย่างสมบูรณ์ และให้ผลผลิตได้ดีเช่นเดียวกับข้าวโพดที่ได้รับน้ำพอเพียงมาตลอด ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากไม่มีการใส่ปุ๋ยชนิดใดเลย ข้าวโพดไม่สามารถฟื้นตัวได้สมบูรณ์และให้ผลผลิตต่ำกว่าข้าวโพดที่ไม่เคยประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน ผลผลิตข้าวโพดลดลงเนื่องจากกระทบกับภาวะขาดน้ำในดินช่วง 7-35 วัน หลังออก นั้น ส่วนหนึ่งเนื่องจากจำนวนเมล็ดต่อฝัก และเปอร์เซ็นต์กะเทาะลดลง (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้) ในขณะที่ การใส่ปุ๋ย N, P หรือ N ร่วมกับ P สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดทั้งในสภาพที่ไม่มีการขาดน้ำในดินและมีการขาดน้ำในดิน แต่การใส่ปุ๋ย N ร่วมกับ P สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดได้สูงสุด รองลงไปได้แก่ N และ P อย่างเดียว ตามลำดับ (Fig.4) ผลผลิตของข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย N และ P เนื่องจากมีจำนวนเมล็ดต่อฝักน้ำหนักเมล็ด และเปอร์เซ็นต์กะเทาะเพิ่มขึ้น (ข้อมูลไม่ได้แสดงไว้)

ผลการทดลองนี้ยังไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัดว่า ข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด

นครสวรรค์ 1 และลูกผสม Pioneer 3012 และ CP-DK 888 มีความแตกต่างกันในความสามารถในการทนแล้ง (ช่วง 7-35 DAE) รวมทั้งในการฟื้นตัว อีกด้วย ข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ (รวม 2 ปี) เริ่มมีอาการและความรุนแรงของอาการใบเหี่ยว หลังประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน รวมทั้งการฟื้นตัวหลังจากได้รับน้ำพอเพียงอีกครั้งใกล้เคียงกัน ในขณะที่ในข้าว (Jones, 1979) และข้าวฟ่าง (Rosenow *et al.*, 1983) นั้น พบว่าพันธุ์ที่สามารถทนแล้งในสภาพไร่ได้ดี จะเริ่มมีอาการใบเหี่ยวช้ากว่าและความรุนแรงน้อยกว่าพันธุ์ที่ไม่ทนทาน อย่างไรก็ตาม ข้าวฟ่างที่มีอาการใบเหี่ยวอย่างรุนแรงเมื่อกระทบแล้งสามารถฟื้นตัวได้เร็วกว่าพันธุ์ที่มีอาการดังกล่าวน้อยกว่า (Blum *et al.*, 1992) นอกจากนี้แล้ว ยังพบว่า ข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ที่กระทบกับภาวะขาดน้ำในดิน มีการเจริญเติบโต (น้ำหนักแห้งส่วนบนดิน และพื้นที่ใบ) ที่ 35 DAE ใกล้เคียงกัน อีกด้วย ทำนองเดียวกัน เสน่ห์และคณะ (2537) รายงานว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate) ในข้าวโพด พันธุ์ผสมเปิด สุวรรณ 1 และนครสวรรค์ 1 และลูกผสม Pioneer 3264 ในช่วงที่ขาดน้ำในดินในกระถางทดลองช่วง 15-29 DAE ไม่แตกต่างกัน

มีรายงานว่า ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร (nutrient availability) รวมทั้ง N และ P ที่จำเป็นต่อข้าวโพด ลดลง ใน

ดินที่กำลังประสบกับภาวะขาดน้ำ (Pitman, 1981) ดังนั้น การดูดธาตุ N และ P ของข้าวโพดในช่วงที่กำลังประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน จึงถูกจำกัด (Greenway *et al.*, 1969) และอาจมีผลให้เปอร์เซ็นต์ของ N และ P ในส่วนบนดินของข้าวโพดลดลง (Table 1) ที่ 35 DAE พบว่าเปอร์เซ็นต์ N ในใบข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ที่ประสบกับภาวะขาดน้ำในดินลดลงต่ำกว่า 2% ซึ่งเป็นระดับวิกฤต (critical concentration) ในข้าวโพดในระยะการเจริญเติบโตดังกล่าว (Lianne *et al.*, 1995) แม้ว่าข้าวโพดไม่แสดงอาการขาดธาตุ N และ P อย่างเด่นชัด แต่อาการขาดอาจจะเป็นแบบแฝง (hidden hunger) ซึ่งมีผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของข้าวโพดในช่วงที่ประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน (น้ำหนักแห้งส่วนบนดิน และพื้นที่ใบ ลดลง) และสมมุติฐานดังกล่าวได้มีข้อสนับสนุนเมื่อ พบว่า มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย N และ P ของข้าวโพด (พันธุ์สุวรรณ 1 นครสวรรค์ 1 และ Pioneer 3264) ทันทึที่ผ่านพ้นภาวะขาดน้ำในดินในช่วง 15-29 DAE (เสนห์และคณะ, 2537)

แม้ว่า การมีธาตุอาหาร N และ P อย่างเพียงพอในดินที่ขาดน้ำอาจจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดอย่างเด่นชัดในช่วงประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน (เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องความเป็นประโยชน์)

แต่อาจจะมีประโยชน์ในช่วงที่ข้าวโพดฟื้นตัวจากภาวะขาดน้ำในดิน (Moser *et al.*, 1996) เพราะว่า ข้าวโพดจะเร่งสร้างรากเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหาร ทันทึที่เริ่มฟื้นตัวจากภาวะขาดน้ำในดิน (เสนห์และคณะ, 2537) และในลักษณะดังกล่าวนี้ ข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมอาจจะได้เปรียบพันธุ์ผสมเปิด เนื่องจากมักมีระบบรากใหญ่กว่า (เสนห์และคณะ, 2537; Van Beem and Smith, 1996) ดังนั้น จะเห็นว่าการทดลองนี้ การตอบสนองของข้าวโพดต่อการใส่ปุ๋ย N และ P ทันทึที่ผ่านพ้นภาวะการขาดน้ำในดิน จึงปรากฏเด่นชัดในทั้ง 2 ปี ซึ่งในสภาพปรกติ ดินไม่ขาดน้ำนั้น ข้าวโพดสามารถตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย N และ P ที่ใส่ตั้งแต่ปลูกจนถึงระยะออกดอกตัวผู้และตัวเมีย (หรั่งและคณะ, 2535) มีรายงานว่า ในระยะที่ข้าวโพดฟื้นตัวไม่ว่าก่อนหรือขณะที่ออกดอกตัวผู้หรือเริ่มสร้างเมล็ดนั้น ถ้าหากดินมี N และ P ในดินเพียงพอเพียง (โดยการใส่ปุ๋ย) ก็จะช่วยให้ข้าวโพดสามารถดูด N และ P ขึ้นไปได้มากยิ่งขึ้นและใบสามารถมีชีวิตและสร้างอาหารได้ยาวนาน (stay green) มากขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวมักจะพบได้ง่ายในข้าวโพดพันธุ์ลูกผสม และเป็นประโยชน์กับข้าวโพดช่วงสร้างเมล็ดได้ยาวนานอีกด้วย (Uhart and Andrade, 1995; Below, 1996)

สรุปผลการทดลอง

การตอบสนองของข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด นครสวรรค์ 1 และพันธุ์ลูกผสม Pioneer 3012 และ CP-DK 888 ต่อการขาดน้ำในดินในสภาพไร่ คล้ายคลึงกัน และมีความสามารถในการฟื้นตัวใกล้เคียงกันอีกด้วย ข้าวโพดลูกผสมทั้ง 2 พันธุ์สามารถให้ผลผลิตสูงกว่า พันธุ์ผสมเปิดนครสวรรค์ 1 ทั้งในสภาพที่ปลูกโดยมีน้ำพอเพียง หรือในสภาพที่มีการขาดน้ำในดิน และไม่ว่ามีการใส่ปุ๋ย N และ P หรือไม่ก็ตาม ข้อได้เปรียบดังกล่าวส่วนหนึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรมที่เรียกว่าความแข็งแรงของข้าวโพดลูกผสม (hybrid vigor) นั่นเอง การขาดน้ำในดินทำให้ข้าวโพดดูดธาตุอาหาร N และ P ลดลงและอาจจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดในขณะที่ประสบกับภาวะขาดน้ำในดิน ดังนั้นการมีระดับ N และ P ในดินอย่างพอเพียง (โดยการใส่ปุ๋ย N และ P ถ้าหากว่าดินขาด

ธาตุทั้ง 2 ชนิด) เป็นสิ่งจำเป็นในระยะเวลาที่ข้าวโพดฟื้นตัวจากกระทบกับภาวะขาดน้ำในดิน เพื่อช่วยให้ข้าวโพดฟื้นตัวได้เร็วขึ้น และให้ผลผลิตเป็นปรกติ อีกด้วย ผลการทดลองนี้จะเป็นประโยชน์กับเกษตรกรในการเลือกพันธุ์ข้าวโพดปลูก และการปรับเปลี่ยนอัตราการใช้ปุ๋ย N และ P ในข้าวโพดให้เหมาะสม (เช่น ใส่ปุ๋ยพร้อมปลูกให้มีสัดส่วน น้อยลง < 50%) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปลูกช่วงกลางฤดูฝน ซึ่งมักประสบกับภาวะฝนทิ้งช่วงในช่วงแรก ๆ หลังข้าวโพดงอก และสิ้นสุดก่อนออกดอกตัวผู้ก่อนเข้าสู่ช่วงฝนตกพอเพียงในเดือน ก.ย. - ต.ค. แต่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของความรุนแรงของการขาดน้ำในดิน และเวลาและอัตราที่เหมาะสมสำหรับการใส่ปุ๋ย N และ P ที่มีต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวโพดให้มากขึ้น เพื่อนำไปสู่การจัดการดินและปุ๋ย และการเลือกใช้พันธุ์ข้าวโพดให้เหมาะสมสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดในเขตที่เสี่ยงกับภาวะฝนทิ้งช่วงในฤดูปลูก ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

นิรนาม, 2539. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2538/39. เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 28/2539. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 272 หน้า.

เสน่ห์ เครือแก้ว อำนาจ ชินเชษฐ เฉลียว ดิษฐสันเทียะ และสมพงษ์ ดิษฐสันเทียะ. 2537. การตอบสนองของข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด และลูกผสมต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในช่วงที่ฟื้นตัวจากสภาพ

- ขาดน้ำในดิน. หน้า 194-221. ใน: รายงานผลการวิจัยประจำปี 2537. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.
- หญิง มีสวัสดิ์ ประดิษฐ์ บุญอำพล มงคลพานิชกุล สันติ อีภรณ์ ประสานพรหมสูงวงศ์ และดิศสพันธ์ุ อรรมาภิรมย์. 2535. ดิน-ปุ๋ย กับข้าวโพด-ข้าวฟ่าง. หน้า 1-40. ใน : เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการใช้น้ำกับพืชต่าง ๆ รุ่นที่ 1 (เล่มที่ 2). 25-27 สิงหาคม 2535 ณ กองปฐพีวิทยา กรุงเทพฯ.
- Below, F.E. 1996. Growth and productivity of maize under nitrogen stress. Pages 235-240. In: *Proceedings of a Symposium on Developing Drought - and Low N- Tolerant Maize*. (Eds. Edmeads *et al.*). March 25-29, 1996. CIMMYT, Mexico.
- Blum. A.; G. Golan; J. Mayer; B. Sinmena and T. Obilina. 1992. Comparative productivity and drought response of semi-tropical hybrids and open-pollinated varieties of sorghum. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*: 118: 29-36.
- Claassen, M.M. and R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II Grain components *Agron. J.* 62: 652-655.
- Copeland, P.J. and R.R. Allmaras. 1993. Corn - sorghum rotation effects on soil moisture depletion. *Agron. J.* 85: 203-210.
- Greenway, H.; P.J. Huges and B. Klepper. 1969. Effects of water deficit on phosphorus nutrition of tomato plants. *Physiol. Plant.* 22: 199-207.
- Jones, H.G. 1979. Visual estimation of plant water status in cereals. *J. Agric. Sci.* 92: 83-89.
- Lianne, M.D.; A.M. Anderson; D.W. Stewart; B.L. Ma and M. Tollenaar. 1995. Changes in maize hybrids photosynthetic response to leaf nitrogen, from pre-anthesis to grain fill. *Agron. J.* 87: 1221-1225.
- Moser, S.; B.F.P. Stamp and R. Thiraporn. 1996. Tropical maize under pre-anthesis drought and low nitrogen supply. Pages. 159 - 162. In: *Proceedings of a Symposium*

- on Development Drought – and Low N – Tolerant Maize. (Eds. Edmeads *et al.*). March 25-29. 1996. CIMMYT, Mexico.
- Nickel. S.E; R.K. Crook and M.P. Russelle. 1995. Root growth and distribution are affected by corn-soybean cropping sequence. *Agron. J.* 87: 895-902.
- Pichit, P.; P. Preeda; S. Prapit; P. Samniao and C. Wisit. 1988. Phosphate sorption of important Thai soils. Pages 19-25. In: Annual Report for 1987/1988, Soil Sci. Div., Dept. Agric., Bangkok.
- Pitman, M.G. 1981. Ion uptake. Pages 71-96. In: The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. (Eds. Paleg and D. Aspinall). Academic Press, Sydney, Australia.
- Rosenow, D.T.; J.E. Quinsenberry and C.W. Wendt. 1983. Drought tolerant sorghum and cotton germplasm. *Agric. Water Management* 7: 207-222.
- Sukjaroen P.; T. Prasatrisupab and K. Suwantaradon. 1996. Development of Ciba's drought tolerant maize hybrids in Thailand. Pages 122-125. In: *Proceedings of a Symposium on Developing Drought – and Low N – Tolerant Maize.* (Eds. Edmeads *et al.*). March 25-29. 1996. CIMMYT, Mexico.
- Takahashi, J. 1972. Times of split application of nitrogen to maize. Micrographed report of UNDP /SF Soil Fertility Research Project in Thailand.
- Uhart, S.A. and F.H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize. II. Carbon – nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Sci.* 35: 1348-1389.
- Van Beem, J. and M.E. Smith. 1996. Variation in nitrogen use efficiency and root system size in temperate maize genotypes. Pages 241-244. In : *Proceedings of a Symposium on Developing Drought – and Low N – Tolerant Maize.* (Eds. Edmeads *et al.*). March 25-29. 1996. CIMMYT, Mexico.

Westgate, M.E. 1996. Physiology of flowering in Maize: Identifying avenues to improve kernel set during drought. Pages 136-141.

In: *Proceedings of a Symposium on Developing Drought – and Low N – Tolerant Maize*. (Eds. Edmeads et al.). March 25-29. 1996. CIMMYT, Mexico.