

การตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของข้าวโพดลูกผสม 3 พันธุ์
ภายใต้สภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
Morphological and Physiological Responses of Three Corn Hybrids
to Saturated Soil

พรรณญาภา ฉายศรีสุริย^{1,*} เอ็จ สโรบล¹ สุตเขตต์ นาคะเสถียร¹ และ ทิวา พาโคกทม²
Punyada Chaisrisuriyos^{1,*}, Ed Sarobol¹, Sutkhet Nakasathien¹ and Tiwa Pakoktom²

¹ ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

² Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kamphaeng Saen Campus, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

รับเรื่อง: 3 เมษายน 2563 Received: 3 April 2020

ปรับแก้ไข: 31 พฤษภาคม 2563 Revised: 31 May 2020

รับตีพิมพ์: 2 มิถุนายน 2563 Accepted: 2 June 2020

* Corresponding author: rdipnc@ku.ac.th

ABSTRACT: To evaluate the morphological and physiological responses of three corn hybrids to saturated soil conditions, the experiment was conducted at the National Corn and Sorghum Research Center, Pak Chong district, Nakhon Ratchasima province. A split plot in RCBD was used with 3 replications. There were 3 main plots: normal irrigation (7-day interval), saturated soil (SS) at V2 stage (7 days) and SS at V6 (7 days) and 3 sub plots: SW4452, NS3 and CP888new corn hybrids. The experiment was carried out in the dry season 2014 (31 Jan to 5 June), dry season 2015 (11 Feb to 31 May) and late rainy season 2016 (19 Aug to 2 Dec). The results showed that grain yield (GY) did not significantly different between SS. GY of corn under SS at V2 and V6 decreased 17 and 18%, respectively, from control (C, normal irrigation). Corn applied SS at V2 and V6 had greater root number (RN) and percentage of aerenchyma development (%AD) than control. SS treated at V2 stimulated ethylene production significantly greater than control. No adventitious root formed in corn under control plots as was observed in corn under SS at V2 and V6. Corn treated with SS at V2 reduced photosynthesis rate (Pn), LAI, total dry weight (dw) and 100-seed weight (SW). SS at V2 and V6 treatments also reduced ear girth, ear length and seed numbers per ear. For hybrids, NS3 was well-adapted, morphologically and physiologically, to SS conditions. Adjustment was observed since SS was treated at V2 and exhibiting greater RN, %AD, Pn, LAI, green leaf (%), root dw, root partitioning, ear number per plant and 100-SW. NS3 can be a model for SS tolerant varieties development.

Keywords: Saturated soil, stress, corn, V2-stage, V6-stage

บทคัดย่อ

เพื่อประเมินการตอบสนองทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของข้าวโพดลูกผสม 3 พันธุ์ ภายใต้สภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil, SS) ได้ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางช่อง จังหวัดนครราชสีมา ใช้แผนการทดลองแบบ Split plot in RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ดำรับทดลองประกอบด้วย 3 Main plot ได้แก่ การให้น้ำแบบปกติ ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ นาน 7 วัน ที่ระยะใบที่สอง (V2) และระยะใบที่หก (V6) และมี 3 Sub plot คือ ข้าวโพดลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 4452 (SW4452) นครสวรรค์ 3 (NS3) และ CP888new ทดลอง 3 ปี ในฤดูแล้ง 2557 (31 ม.ค. ถึง 5 มิ.ย.) ฤดูแล้ง 2558 (11 ก.พ. ถึง 31 พ.ค.) และปลายฤดูฝน 2559 (19 ส.ค. ถึง 2 ธ.ค.) ผลการทดลอง พบว่า SS ในระยะ V2 และ V6 ให้ผลผลิตลดลงไม่แตกต่างกัน แต่ SS ทั้งสองระยะให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 17 และ 18 ของการให้น้ำปกติตามลำดับ ข้าวโพดภายใต้ SS ที่ระยะ V2 และ V6 มีจำนวนราก และพัฒนา aerenchyma ที่ระยะ V2 มากกว่าการให้น้ำแบบปกติ ช่วงแรกของ SS ในระยะ V2 ข้าวโพดสร้าง ethylene มากกว่าการให้น้ำปกติ และแตกต่างทางสถิติ ไม่พบการเกิด adventitious root ในข้าวโพดที่ให้น้ำแบบปกติ SS ในระยะ V2 มีอัตราการสังเคราะห์แสง ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้ง และน้ำหนัก 100 เมล็ดลดลง SS ในระยะ V2 และ V6 มีเส้นผ่าศูนย์กลางฝัก ความยาวฝัก และจำนวนเมล็ดต่อฝักลดลง NS3 มีการปรับตัวทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาได้ดีกว่าพันธุ์อื่น คือ ปรับตัวได้เร็วตั้งแต่ในระยะ V2 มีจำนวนรากมาก ร้อยละของการพัฒนา aerenchyma มาก สร้างพื้นที่ใบได้เร็ว อัตราการสังเคราะห์แสงสูง มีจำนวนใบที่มีชีวิตมาก รากสร้างน้ำหนักแห้งได้เร็ว มีการกระจายน้ำหนักแห้งสู่รากสูง จำนวนฝักต่อต้นมาก มีน้ำหนัก 100 เมล็ดสูง NS3 จึงสามารถใช้เป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาพันธุ์ที่ทนทานต่อ SS ได้

คำสำคัญ: ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, ความเครียด, ข้าวโพด, ระยะ V2, ระยะ V6

บทนำ

ในพื้นที่เขตร้อน (Tropical countries) มีปริมาณฝนตกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate changes) จากการศึกษาแบบจำลองการตกของฝน พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของโลกจะมีฝนตกหนักเพิ่มขึ้นร้อยละ 16–24 ภายในปี 2100 โดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อน (Zeke, 2018) ในทศวรรษที่ผ่านมาทวีปเอเชียใต้และตะวันออกเฉียงใต้มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขัง (Water-logging) มากกว่าร้อยละ 15 ของพื้นที่ปลูก (Rathore *et al.*, 1997) นำมาสู่ปัญหาผลผลิตข้าวโพดไม่เพียงพอต่อการบริโภค สำหรับประเทศไทย การปลูกข้าวโพดที่ผ่านมาประสบสภาวะน้ำท่วมขังเป็นแอ่ง (Ponding) กระจายทั่วแปลงปลูกเมื่อฝนตก โดยเฉพาะในปลายฤดูฝน ความเสี่ยงจากสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละครั้งตกในปริมาณมาก และตกบ่อยครั้งทำให้พื้นที่ปลูกข้าวโพดหลายพื้นที่ได้รับความเสียหาย ส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดลดลง จากข้อมูลของ Meteorological Department (2017) พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝน 37 ปี (2524–2560) คือ 1,478 มม. ต่อปี มีปริมาณฝนตกมากกว่าค่าเฉลี่ย 14 ปี ข้าวโพดจึงมีความเสี่ยงที่จะประสบกับปัญหาดินอิ่มตัวด้วยน้ำร้อยละ 41 ซึ่งข้าวโพดมีข้อจำกัดของการให้ผลผลิตหากต้องเผชิญกับสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่ข้าวโพดมีความหลากหลายทางพันธุกรรม การสูญเสียผลผลิตจึงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรม (Genotype) สภาพการท่วมขังของน้ำ ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน และความทนทานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต (Ajaz and Warsy, 2009) ข้าวโพดมีการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาผ่านลักษณะทางกายวิภาคเพื่อเพิ่มช่องทางให้ออกซิเจนเคลื่อนย้าย

จากส่วนของลำต้นบริเวณผิวดินและเหนือผิวดินสู่ลำต้นหรือรากที่อยู่ใต้น้ำ มีผลให้ข้าวโพดมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา (Saab and Sachs, 1996) การพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดที่ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมขังเพื่อรองรับสภาวะแวดล้อมที่แปรปรวนของการกระจายตัวของฝนและปริมาณน้ำฝน รวมทั้งพัฒนาพันธุ์ให้ทนทานต่อสภาพการปลูกหลังนา ซึ่งมีการระบายน้ำต่ำ เพื่อขยายพื้นที่ปลูกให้พอเพียงกับความต้องการใช้ภายในประเทศเป็นการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ปลูกและความชื้นในดินได้อย่างคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น (Boonpradap, 2013) ดังนั้นจึงสมควรศึกษาระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่อ่อนแอต่อสภาวะดินอ้อมด้วยน้ำ ลักษณะทางสรีรวิทยา และสัณฐานวิทยาที่สามารถปรับตัวได้ในสภาพดินอ้อมด้วยน้ำหรือน้ำท่วมในระยะเวลาสั้น เพื่อรักษาระดับผลผลิตของข้าวโพด และเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ให้มีความทนทานต่อความเครียดที่เกิดจากสภาพการอ้อมด้วยน้ำของดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

ทดลอง 3 ปี ในฤดูแล้ง 2557 (31 ม.ค. ถึง 5 มิ.ย.) ฤดูแล้ง 2558 (11 ก.พ. ถึง 31 พ.ค.) และปลายฤดูฝน 2559 (19 ส.ค. ถึง 2 ธ.ค.) วางแผนการทดลองแบบ Split plot in RCBD มี 3 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ การให้น้ำ มี 3 วิธีการ คือ 1) แปลงควบคุม (Control) ให้น้ำตามปกติสัปดาห์ละ 1 ครั้ง (40 มิลลิเมตร) 2) ดินอ้อมด้วยน้ำ (Saturated soil; SS) นาน 7 วัน เมื่อข้าวโพดอยู่ในระยะ V2 3) ดินอ้อมด้วยน้ำ (SS) นาน 7 วัน เมื่อข้าวโพดอยู่ในระยะ V6 เนื่องจากข้าวโพดในระยะ V2 และ V6 เป็นระยะที่อ่อนแอต่อ SS จุดเจริญของข้าวโพดยังคงอยู่ใต้ผิวดิน (Lui *et al.*, 2010) ปัจจัยรอง คือ ข้าวโพดลูกผสม 3 พันธุ์ โดยเป็นพันธุ์จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 1 พันธุ์ คือ พันธุ์สุวรรณ 4452 (SW4452) พันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร 1 พันธุ์ คือ พันธุ์นครสวรรค์ 3 (NS3) และพันธุ์จากภาค

เอกชน 1 พันธุ์ คือ พันธุ์ CP888new

หน่วยทดลอง (Plot) มี 6 แถว แถวยาว 5 เมตร ปลูกลูก 1 ต้นต่อหลุม ใช้ระยะระหว่างแถว 0.75 ม. ระหว่างต้น 0.20 ม. ก่อนปลูกใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 35 กก. ต่อไร่ และใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กก. ต่อไร่ โดยโรยเป็นแถวบริเวณโคนต้นเมื่อข้าวโพดอายุ 1 เดือน

การบันทึกข้อมูล

เก็บข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยา ได้แก่ 1) ความสูงฝัก 2) ความสูงต้นวันเก็บเกี่ยว โดยสุ่มต้นตัวอย่าง จำนวน 10 ต้นจาก 2 แถวกลาง วัดความสูงจากโคนต้นถึงตำแหน่งที่เกิดฝักเมื่อข้าวโพดอยู่ในระยะสร้างเมล็ด (R2) และวัดความสูงวันเก็บเกี่ยวจากโคนต้นถึงตำแหน่งข้อของใบธง 3) ความมีชีวิตของใบ (Green leaves) เมื่อข้าวโพดอายุ 75 วันหลังปลูก (Days after planting; DAP) นับจำนวนใบข้าวโพดที่มีชีวิตและจำนวนใบที่แห้งตาย นำมาคำนวณเป็นร้อยละต่อต้น 4) ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) วัดความยาวและความกว้างของใบที่ปรากฏ leaf collar ให้เห็น เก็บข้อมูลต้นตัวอย่างครั้งละ 3 ต้นต่อแปลงย่อยในแถวที่ 2 และแถวที่ 5 จำนวน 7 ครั้ง (ก่อนปล่อยน้ำท่วมผิวดินที่ระยะ V2 หลังปล่อยน้ำท่วมผิวดินที่ระยะ V6 อายุ 45DAP 60DAP 70DAP และ 80DAP) เพื่อหาพื้นที่ใบ นำความกว้างคูณกับความยาวของแต่ละใบ นำมารวมกันแล้วนำมาแทนค่าในสมการ [1] ตามวิธีการของ Thiraporn (1996) and Sarobol (2015)

$$LAI = \frac{0.75 \times \text{พื้นที่ใบทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ที่พืชขึ้นปกคลุม}} \quad [1]$$

และ 5) จำนวนราก นับจำนวนรากจากต้นตัวอย่างจากแถวที่ 2 และ 5 ครั้งละ 3 ต้น จำนวน 6 ครั้ง (ก่อนปล่อยน้ำท่วมผิวดินที่ระยะ V2 หลังปล่อยน้ำท่วมผิวดินที่ระยะ V2 หลังปล่อยน้ำท่วมผิวดินที่ระยะ V6 อายุ

45DAP 60DAP และ อายุเก็บเกี่ยว) โดย LAI และ จำนวนราก เก็บข้อมูลเฉพาะในปลายฤดูฝน 2559

ปลายฤดูฝน 2559 เก็บข้อมูลลักษณะทางกายวิภาค ประเมินการพัฒนา aerenchyma ตัดขวาง (Cross section) รากที่อยู่ระดับผิวดิน (Nodal root) จำนวน 2 ราก ห่างจากบริเวณจذورยต่อระหว่างต้น และราก 2 ซม. หลังปล่อยน้ำท่วมผิวดิน 4 วันในระยะ V2 และ V6 ครั้งละ 1 ต้น (ประเมินเฉพาะค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยเนื่องจากมีความจำกัดในเรื่องเวลา) บันทึกภาพและคำนวณพื้นที่คิดเป็นร้อยละของการเกิด aerenchyma ต่อพื้นที่ราก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ตัดแปลงจากวิธีการของ Mano *et al.* (2006)

ปลายฤดูฝน 2559 เก็บข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยา ได้แก่ 1) ประเมินอัตราการสังเคราะห์แสง (Pn) โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงรุ่น LICOR 6400XT (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA) เป็นการวัดค่าการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Leaf gaseous exchange) วัดตรงกลางใบของใบบนสุดที่ปรากฏ leaf collar ให้เห็น ในช่วงเวลาระหว่าง 9.00 น. ถึง 11.00 น. สำหรับประเมิน Pn โดยวัดจากพื้นที่ใบขนาด 6 ซม.² มีการไหลของอากาศใน chamber ที่มีความเข้มข้นของ CO₂ 380 mmol/mol ปฏิบัติการภายนอกโรงเรือน ใช้ photon flux density (PPFD) 1500 μmol/m²/s

แหล่งกำเนิดแสงสีแดง-สีน้ำเงิน โดยเก็บตัวอย่าง 1 ต้น ต่อ 1 หน่วยทดลอง ใช้แสงจากดวงอาทิตย์และท้องฟ้า เมื่อข้าวโพดอายุ 22DAP (ภายใต้ SS ที่ระยะ V2 (13DAP) นาน 7 วัน) และอายุ 35DAP (ภายใต้ SS ที่ระยะ V6 (22DAP) นาน 7 วัน) 2) ปริมาณ ethylene โดยคลุมต้นข้าวโพดด้วยถุงพลาสติก 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างก๊าซด้วย syringe ปริมาตร 10 มล. นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas chromatography โดยเก็บตัวอย่างครั้งละ 1 ต้นต่อหน่วยทดลองในแถวที่ 2 และแถวที่ 5 จำนวน 3 ครั้ง คือ ที่อายุ 15DAP (หลัง SS ที่ระยะ V2 (13DAP) นาน 2 วัน) ที่อายุ 22 DAP (หลัง SS ที่ระยะ V2 (13DAP) นาน 7 วัน และที่อายุ 35DAP วิธีวัดปริมาณ ethylene ตัดแปลงวิธีการวัดจาก Romagnano (2008) 3) น้ำหนักแห้งรวม และร้อยละการกระจายน้ำหนักแห้งสู่ราก โดยเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งลำต้นและน้ำหนักแห้งราก ครั้งละ 3 ต้นต่อแปลงย่อยในแถวที่ 2 และแถวที่ 5 จำนวน 7 ครั้ง คือ ก่อน SS ที่ระยะ V2 (13DAP) 22DAP (หลังระบายน้ำ 1 วัน เมื่อ SS นาน 7 วันในระยะ V2) 35DAP 45DAP 60DAP 70DAP และวันเก็บเกี่ยว หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน และนำมาคำนวณดังสมการ [2]

$$\text{ร้อยละการกระจายน้ำหนักแห้งสู่ราก} = 100 \times \frac{(\text{น้ำหนักแห้งราก})}{(\text{น้ำหนักแห้งลำต้น} + \text{น้ำหนักแห้งราก})} \quad [2]$$

เก็บข้อมูลผลผลิต โดยเก็บข้อมูลจาก 2 แถวกลาง นำมาคำนวณดังสมการ [3]

$$\text{ผลผลิตเมล็ด (กิโลกรัม/ไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ด} - (\text{ความชื้นเมล็ดที่วัดได้} \times \text{น้ำหนักเมล็ด})}{100} \times \frac{1600}{\text{พื้นที่เก็บเกี่ยว}} \quad [3]$$

เก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตจาก 2 แถวกลาง ได้แก่ 1) จำนวนฝักต่อต้น และสุ่มตัวอย่างฝักจำนวน 5 ฝักเพื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละ

ลักษณะ คือ 2) เส้นผ่าศูนย์กลางฝัก 3) ความยาวฝัก 4) จำนวนเมล็ดต่อฝัก และ 5) น้ำหนัก 100 เมล็ด แล้วนำมาคำนวณดังสมการ [4]

น้ำหนัก 100 เมล็ด - (ความชื้นเมล็ดที่วัดได้ $\times$ น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด)

[4]

100

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิธี analysis of variance วัดความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้ Least significant difference (LSD) และทำ Combined Analysis ลักษณะผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต ความสูงฝัก ความสูงวันเก็บเกี่ยว และความมีชีวิตของใบ และนำข้อมูล Pn และปริมาณ ethylene มาวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย t-test

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ความสูงฝัก (Fear height) และ ความสูงต้นวันเก็บเกี่ยว (Plant height)

ดินอ้อมตัวด้วยน้ำ (SS) ทั้งระยะ V2 และ V6 ให้ ความสูงของฝักเฉลี่ย และความสูงวันเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากข้าวโพดในระยะ V2 เมื่อได้รับความเครียดจาก SS มีการปรับตัวได้เร็วกว่าระยะ V6 สร้างรากได้เร็ว ซึ่งสอดคล้องกับ Sarobol (2015) ที่ได้รายงานไว้ว่า พืชที่ได้รับ ความเครียดในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมีการปรับตัวได้เร็ว จึงส่งผลให้ ความสูงฝักและความสูงต้นวันเก็บเกี่ยวของ SS ที่ระยะ V2 และ V6 ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ SS ทั้งสองระยะให้ความสูงฝักและความสูงวันเก็บเกี่ยวน้อยกว่า ข้าวโพดที่ให้น้ำตามปกติและแตกต่างทางสถิติ ซึ่ง สอดคล้องกับการทดลองของ Ren *et al.* (2013) ที่พบว่า เมื่อข้าวโพดถูกน้ำท่วมขังในระยะการเจริญเติบโต จะมีผลให้การเจริญเติบโตทางลำต้นช้าลง สำหรับพันธุ์ ลูกผสม พบว่า พันธุ์ SW4452 มีความสูงฝักมากกว่าพันธุ์ NS3 และพันธุ์ CP888new สำหรับข้าวโพดลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์ ให้ความสูงวันเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกัน (Table 1)

จำนวนใบที่มีชีวิต (Green leaves)

SS ที่ระยะ V2 และ V6 ให้จำนวนใบที่มีชีวิต ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ข้าวโพดที่ให้น้ำแบบปกติให้ จำนวนใบที่มีชีวิตสูงที่สุด พันธุ์ SW4452 ให้จำนวนใบ มีชีวิตต่ำที่สุด (Table 1) ซึ่ง Shah *et al.* (2012) พบว่า ข้าวโพดระยะ knee-high stage (V6-V7) เมื่ออยู่ในสภาวะความชื้นดินมากเกินไปความเหมาะสม (excess soil moisture) นาน 5 วัน จำนวนใบที่มีชีวิตของ ข้าวโพด 10 สายพันธุ์ ลดลงร้อยละ 22-45

ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI)

ข้าวโพดที่อายุ 22 และ 35DAP ภายใต้ SS ที่ระยะ V2 และ V6 มีค่า LAI ไม่แตกต่างจากข้าวโพด ที่ให้น้ำปกติ แต่ข้าวโพดที่อายุ 45DAP SS ที่ระยะ V2 ให้ค่า LAI ต่ำกว่าข้าวโพดที่ให้น้ำปกติ และ SS ที่ระยะ V6 เมื่อข้าวโพดอายุ 50 และ 70DAP ข้าวโพดที่เจริญ ใน SS ที่ระยะ V2 และ V6 มี LAI ไม่แตกต่างกัน แต่ข้าวโพดที่เจริญใน SS ทั้ง 2 ระยะ ให้ค่า LAI ต่ำกว่า ข้าวโพดที่ให้น้ำปกติอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 1a) ข้าวโพดภายใต้ SS ทั้ง 2 ระยะ ลดค่า LAI ลงอย่าง ชัดเจนภายหลังระบายน้ำออกประมาณ 2 สัปดาห์ ที่อายุ 45 และ 70DAP พันธุ์ CP888new ให้ค่า LAI ต่ำที่สุด (Figure 1b) พบปฏิสัมพันธ์ระหว่าง SS กับ พันธุ์ ซึ่งข้าวโพดภายใต้ SS ที่ระยะ V2 ที่อายุ 50 และ 70DAP พันธุ์ CP888new ให้ค่า LAI ต่ำที่สุด NS3 ให้ ค่า LAI สูงที่สุด ในขณะที่การให้น้ำปกติ และ SS ที่ระยะ V6 ข้าวโพดลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์ให้ค่า LAI ไม่แตกต่างกัน แสดงว่า ข้าวโพดพันธุ์ CP888new อ่อนไหวต่อสภาวะ SS ที่ระยะ V2 มากกว่าระยะ V6 (Figure 1c and d) ซึ่งการทดลองของ Ren *et al.* (2013) พบว่า ข้าวโพดที่ได้รับน้ำท่วมขังมีพื้นที่ใบ ลดลง

การสร้างราก และ adventitious root

ข้าวโพดที่เจริญในสภาพน้ำปกติ ที่ nodal root ไม่พบการเกิด adventitious root (Figure 2a) แต่ข้าวโพดที่อายุ 22DAP เมื่อเจริญภายใต้ SS ที่ระยะ V2 (13DAP) นาน 7 วัน (22DAP) ให้จำนวนรากต่อต้นมากกว่าข้าวโพดที่เจริญภายใต้สภาพน้ำปกติ ลักษณะการเกิดรากของข้าวโพดในสภาวะ SS ที่ระยะ V2 จะเกิด adventitious root ที่ข้อแรก (nodal root) ระดับผิวดินประมาณ 2-3 ราก (Figure 2b) ในขณะที่ข้าวโพดที่อายุ 35 45 และ 60DAP เมื่อเจริญเติบโตภายใต้ SS ที่ระยะ V2 มีแนวโน้มให้จำนวนรากต่อต้นน้อย และที่วันเก็บเกี่ยวให้จำนวนรากต่อต้นน้อยที่สุดในขณะที่อายุ 45 และ 60DAP หลังได้รับความเครียดจาก SS ที่ระยะ V6 มีแนวโน้มให้จำนวนรากต่อต้นมากกว่าข้าวโพดที่อยู่ภายใต้สภาพน้ำปกติไปจนถึงอายุวันเก็บเกี่ยว (Figure 3a) ที่อายุ 35 และ 45DAP พันธุ์ NS3 มีจำนวนรากต่อต้นมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากพันธุ์ CP888new แต่ที่วันเก็บเกี่ยว พันธุ์ NS3 ให้จำนวนรากต่อต้นสูงที่สุด (Figure 3b) Mano *et al.* (2006) พบว่า ข้าวโพดอายุ 2 สัปดาห์ (V2-stage) เมื่อถูกน้ำท่วมสูง 3 ซม. นาน 7 วัน เกิด adventitious root ใน 3 ข้อแรก จำนวนรากเกิดขึ้นในบริเวณข้อบน

(ข้อที่ 3 และ 4) มากกว่าข้อล่าง (ข้อที่ 1 และ 2) และรากข้อบนมีความยาวมากกว่าข้าวโพดที่ให้น้ำแบบปกติ

การสร้าง aerenchyma

ข้าวโพดระยะ V2 (13DAP) ภายใต้ SS นาน 4 วัน (18DAP) รากมีการสร้าง aerenchyma เฉลี่ยร้อยละ 22.66 ของพื้นที่รากตัดขวาง ส่วนข้าวโพดที่ให้น้ำตามปกติรากมีการสร้าง aerenchyma เฉลี่ยร้อยละ 1.19 สำหรับข้าวโพดลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์ รากมีการสร้าง aerenchyma เมื่อเจริญภายใต้ SS ที่ระยะ V2 เฉลี่ยร้อยละ 21.55-24.03 ซึ่งทั้ง 3 พันธุ์ให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันอาจเป็นเพราะพันธุ์ลูกผสมทั้งสามพันธุ์มีพันธุกรรมในลักษณะของการสร้าง aerenchyma ไม่แตกต่างกัน การประเมินการเกิด aerenchyma ในครั้งนี้ประเมินเฉพาะค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยเนื่องจากมีข้อจำกัดในจำนวนตัวอย่างจากการ cross section และเวลาในการประเมินการเกิด aerenchyma จึงไม่ได้วิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการทดลองในครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตาม ข้าวโพดทั้งสามพันธุ์สร้าง aerenchyma เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะ SS (Figure 4a, b, c and d)

Table 1 Influence of 3 water regimes (W) and 3 corn hybrids (H) on ear height, plant height and green leaves when planted in dry season 2014 and 2015 and late rainy season 2016 (combined data)

Factor	Ear height (cm)	Plant height (cm)	Green leaves (%)
Water regimes (W)			
Normal irrigation	116.36 ^{a1/}	205.41 ^a	79.07 ^a
Saturated soil at V2	101.46 ^b	186.63 ^b	74.68 ^b
Saturated soil at V6	101.91 ^b	189.15 ^b	71.35 ^b
Hybrids (H)			
SW4452	111.12 ^a	191.78	72.40 ^b
NS3	103.42 ^b	192.04	77.08 ^a
CP888new	105.19 ^b	197.34	75.62 ^a
Mean	106.58	193.73	75.03
LSD _(0.05) W	5.63	5.46	3.90
H	3.90	10.05	3.63
CV (%) W	41.31	27.62	26.82
CV (%) H	19.66	8.46	16.55

Note: ^{1/}In a column means followed by different letters are statistically different at the 95% by LSD

การทดลองของ Mano *et al.* (2006) และ Zaidi *et al.* (2004) พบว่า ข้าวโพดลูกผสมบางสายพันธุ์สร้าง aerenchyma ในระดับปานกลาง แต่ *Z. nicaraguensis* สร้าง aerenchyma มากกว่า และข้าวโพดที่ทนทานน้ำท่วมสร้าง aerenchyma มากกว่าพันธุ์ที่อ่อนแอ การสร้าง aerenchyma เป็นการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาของราก ใช้ลำเลียงออกซิเจนสำหรับการหายใจจากชั้นบรรยากาศไปยังเนื้อเยื่อรากและบริเวณรอบรากพืชที่อยู่ใต้น้ำ aerenchyma จึงเป็นลักษณะหนึ่งที่สำคัญของข้าวโพดที่ทนทานต่อดินอืดด้วยน้ำ ซึ่ง Irfan *et al.* (2010) รายงานว่า ออกซิเจนที่สูญเสียไปอย่างรวดเร็วในรากที่อยู่ใต้น้ำ ทำให้พืชรับรู้และปรับการทำงานเพื่อเปลี่ยนขบวนการ metabolism ไปสู่วิถี anaerobic

fermentation เพื่อใช้พลังงานที่ลดลง จึงเกิดการปรับโครงสร้างของเนื้อเยื่อราก ชักนำให้สร้าง aerenchyma และ adventitious root ขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการสะสม ethylene ในเนื้อเยื่อของข้อที่ช่วยให้เกิดรากที่ผิวน้ำ เพื่อช่วยรับออกซิเจน เป็นการทำงานร่วมกับ auxin และ ethylene ซึ่ง Romagnano (2008) พบว่า ข้าวโพดระยะ V6 ที่เจริญภายใต้ น้ำท่วมขัง 2 วัน มีการสังเคราะห์ ethylene สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม

ลักษณะทางสรีรวิทยา

อิทธิพลของดินอืดด้วยน้ำและพันธุ์ต่ออัตราการสังเคราะห์แสง

ประเมินอัตราการสังเคราะห์แสงของใบ (Pn) วัด 2 ครั้ง ในช่วงเวลา 9.00–11.00 น. การวัดแต่ละ

ครั้งมีความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์และท้องฟ้าแตกต่างกัน ครั้งที่ 1 ความเข้มแสงอยู่ในช่วง 574–2,334 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (เฉลี่ย 1,107 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) วัดขณะที่ข้าวโพดอายุ 22DAP หรือหลังระบายน้ำ 1 วันของ SS นาน 7 วันที่ระยะ V2 (13 DAP) พบว่า มี Pn เฉลี่ย 13.76 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ซึ่งต่ำกว่าข้าวโพดที่เจริญในสภาพน้ำปกติ (18.35 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) (Figure 7a) วัด Pn

ครั้งที่ 2 ขณะที่ข้าวโพดอายุ 35DAP หรือหลังระบายน้ำ 5 วันของ SS นาน 7 วันที่ระยะ V6 (22 DAP) มีความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์และท้องฟ้าอยู่ในช่วง 335–1,983 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (เฉลี่ย 778 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) พบว่า มี Pn มีแนวโน้มต่ำกว่าข้าวโพดภายใต้สภาวะปกติเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (17.00 และ 18.72 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ตามลำดับ) (Figure 5a)

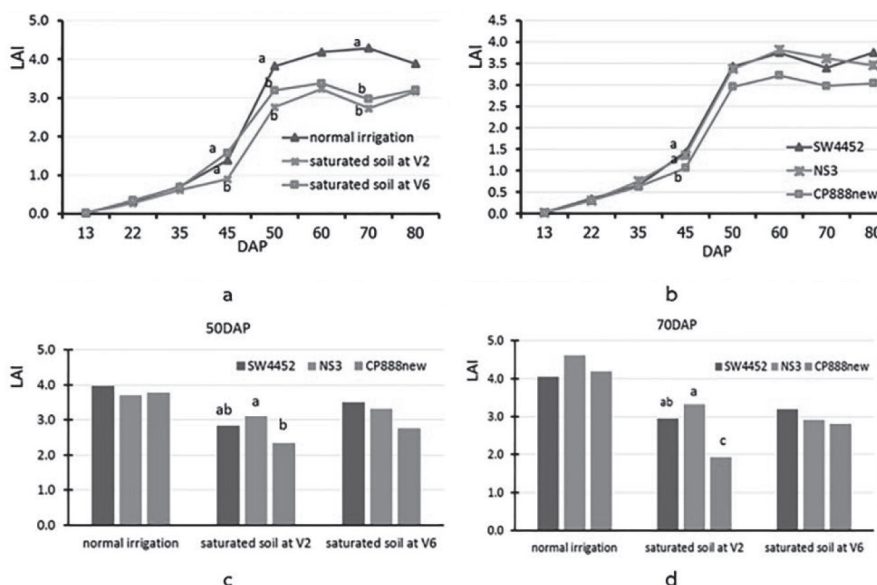


Figure 1 Influence of 3 water regimes (W) (a) and 3 corn hybrids (b) on leaf area index (LAI) and interaction between water regimes and hybrids on LAI 50 DAP (c) and 70 DAP (d) when planted in late rainy season 2016

ผลการทดลองสอดคล้องกับ Pourabdal *et al.* (2008) ที่พบว่า ข้าวโพดที่ระยะ V3 ภายใต้สภาวะน้ำท่วมขัง 4–10 วัน Pn ช้าลง เพราะเมื่อดิสคลอโรฟิลล์ถูกทำลายลงอย่างรวดเร็ว ซึ่ง Pn ที่ลดลงส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวม และ LAI ของการทดลองในครั้งนี้นลดลง ข้าวโพดเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะน้ำท่วมขัง Pn ลดลง เพราะพืชมีการปิดของปากใบบางส่วนจึงลดการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์ และการคายน้ำลดลง การเจริญเติบโตและอัตราส่วนของน้ำหนักแห้งของต้นและราก (Shoot/root ratio) จึงลดลง สำหรับข้าวโพดลูกผสม

ทั้ง 3 พันธุ์ พบว่า SW4452 NS3 และ CP888new ที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะน้ำปกติ SS ที่ระยะ V2 และ SS ที่ระยะ V6 มี Pn ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

อิทธิพลของดินอ้อมตัวด้วยน้ำและพันธุ์ต่อการสังเคราะห์ ethylene

ข้าวโพดภายใต้ SS ที่ระยะ V2 นาน 2 วัน (15 DAP) สร้าง ethylene สูงกว่าข้าวโพดที่ให้น้ำปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 0.055 ppm (Figure 5b) และเมื่อ cross section รากที่เจริญระดับผิวดิน

ข้อบนสุด หลัง SS นาน 4 วัน พบว่า มีการสร้าง aerenchyma ร้อยละ 22.66 ของพื้นที่ราก (Figure 4a, b, c and d) และภายใต้ SS ที่ระยะ V2 นาน 7 วัน เกิด

ethylene สูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับข้าวโพดที่ให้น้ำตามปกติ สำหรับข้าวโพดลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์ พบว่า มีการสังเคราะห์ ethylene ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

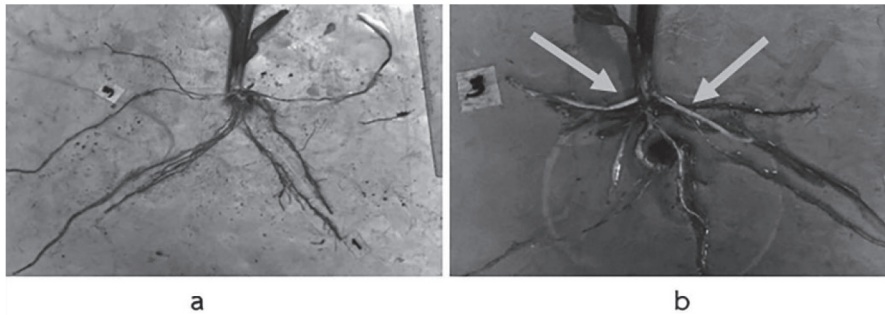


Figure 2 Adventitious root development (arrows) at 18DAP under saturated soil at V2 when planted in late rainy season 2016 (a; normal irrigation, b; saturated soil at V2 after 4 days at V2 stage)

ซึ่ง Drew *et al.* (1979) รายงานว่า ethylene มีการสะสมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเก็บกักก๊าซด้วยชั้นของน้ำรอบรากพืช และมีการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการนำ ethylene ไปใช้ลดลง การเกิด ethylene มีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับการสร้าง aerenchyma, ethylene ควบคุมการย่อยสลายของผนังเซลล์ของพืชภายใต้สภาวะดินอึดตัวด้วยน้ำ ซึ่งมีระดับของปริมาณออกซิเจนต่ำ แต่มีเพียงพอสำหรับสังเคราะห์ ethylene ได้ตามปกติ ethylene เกิดขึ้นในบางส่วนของพืชเท่านั้น เพื่อให้พืชมีชีวิตรอดในดินที่ขาดออกซิเจนจากน้ำท่วมขัง

ซึ่ง Weston (1994) รายงานว่า เมื่อเกิดน้ำท่วมขังดินขาดออกซิเจน มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ ethylene ในเซลล์พืช เนื่องจากการขาดออกซิเจนพืชไม่สามารถสร้าง ethylene ได้ ทำให้ ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) สะสมและถูกส่งไปยังส่วนเหนือผิวดิน เมื่อได้รับออกซิเจนบริเวณฐานของลำต้น ACC จะถูกเปลี่ยนเป็น ethylene หน้าที่ของ ethylene คือ การยับยั้ง auxin polar transport ทำให้ auxin สะสมบริเวณข้อที่ฐานของลำต้น และกระตุ้นให้มีการสร้าง adventitious root

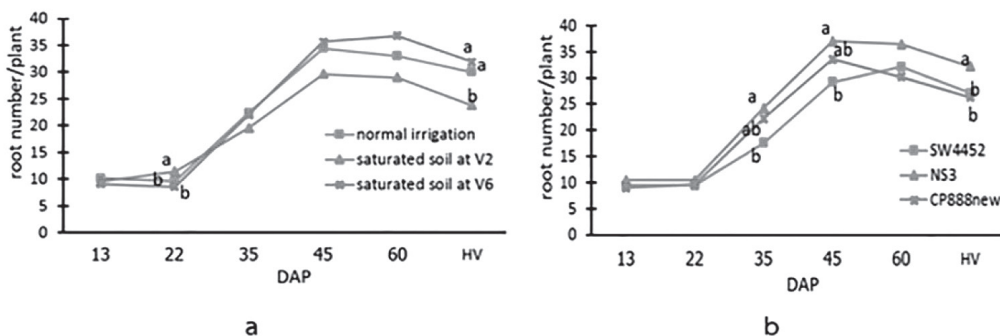


Figure 3 Influence of 3 water regimes (a) and 3 corn hybrids (b) on root number/plant when planted in late rainy season 2016

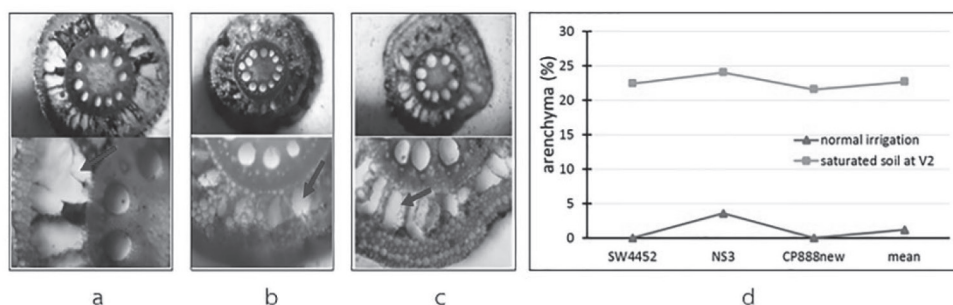


Figure 4 Aerenchyma development (arrows) per root area cross section (%) of SW4452 (a; 22.42%) NS3 (b; 24.03%) and CP888new (c; 21.55%) and aerenchyma development percentage of corn grown under normal and saturated soil at V2 (d) (after 4 days at V2 stage; 18DAP)

น้ำหนักแห้งรวม (Total dry weight) และการกระจายน้ำหนักแห้งสู่ราก (Partitioning root dry weight)

ข้าวโพดที่เจริญภายใต้ SS ที่ระยะ V2 ให้น้ำหนักแห้งรวมที่อายุ 22DAP ต่ำกว่าข้าวโพดภายใต้สภาวะน้ำปกติ สำหรับที่อายุ 45DAP พบว่า SS ที่ระยะ V2 ข้าวโพดให้น้ำหนักแห้งรวมต่ำกว่า SS ที่ระยะ V6 และการให้น้ำตามปกติ และที่อายุ 70DAP SS ที่ระยะ V2 ให้น้ำหนักแห้งรวมต่ำกว่า SS ที่ระยะ V6 และการให้น้ำแบบปกติ ในขณะที่ SS ที่ระยะ V6 ให้น้ำหนักแห้งรวมต่ำกว่าข้าวโพดภายใต้สภาวะน้ำปกติที่อายุ 70DAP

(Figure 6a) พันธุ์ข้าวโพดลูกผสมทั้ง 3 พันธุ์ ให้น้ำหนักแห้งรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ NS3 มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งรวมสูงกว่า SW4452 (Figure 6b) น้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ได้รับความเครียดจาก SS ที่ระยะ V2 ได้รับผลกระทบมากที่สุด ซึ่ง Ren *et al.* (2013) รายงานว่า การเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ถูกน้ำท่วมจะถูกจำกัด เนื่องจากพื้นที่ในการสังเคราะห์แสงของใบลดลง Pn ลดลง จึงส่งผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้ง การลดลงของน้ำหนักแห้งจะแตกต่างกันไปตามระยะการเจริญเติบโตและระยะเวลาของการได้รับความเครียด

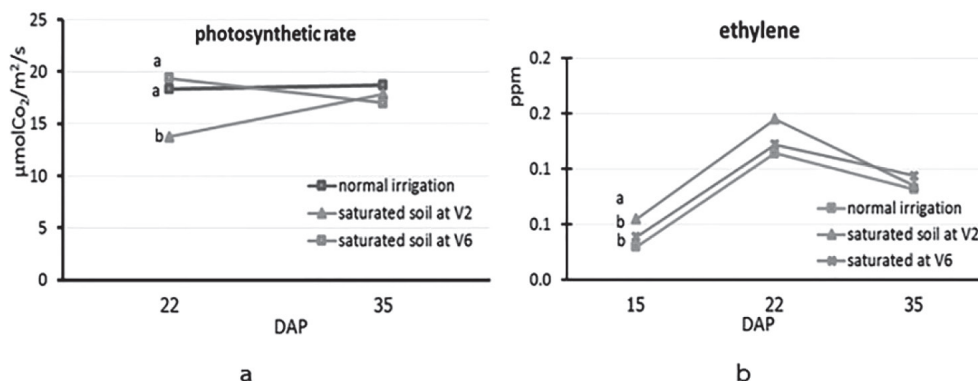


Figure 5 Mean photosynthesis rate ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) (a) at 22DAP and 35DAP (mean solar radiation; 1,107 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ and 778 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, respectively) and ethylene (b) at 15DAP (after 2 days of saturated soil at V2 stage) 22DAP (after 7 days of saturated soil at V2 stage) and 35DAP (after 7 days saturated soil at V6)

เมื่อนำน้ำหนักแห้งรวมมาหาสัดส่วนการกระจายของน้ำหนักแห้งสู่ราก พบว่า SS มีอิทธิพลต่อการกระจายของน้ำหนักแห้งสู่รากแปรปรวนไปตามอายุ ข้าวโพดที่ระยะ V2 (13DAP) SS นาน 7 วัน (22DAP) มีการกระจายของน้ำหนักแห้งสู่รากสูงกว่าข้าวโพดที่เจริญในสภาพน้ำปกติ คือ ร้อยละ 67.26 และ 46.06 ตามลำดับ และที่ระยะ V6 (22DAP) SS นาน 7 วัน (35DAP) มีการกระจายน้ำหนักแห้งสู่รากสูงกว่าข้าวโพดที่เจริญในสภาพน้ำปกติ คือ ร้อยละ 15.56 และ 11.49 ตามลำดับ หลังจากระบายน้ำ SS ทั้ง 2 ระยะยังคงมีการกระจายน้ำหนักแห้งสู่รากสูงกว่าข้าวโพดในสภาพน้ำปกติไปจนถึงอายุ 45 และ 60DAP แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ที่อายุ 70 DAP และวันเก็บเกี่ยว มีแนวโน้มให้สัดส่วนการกระจายของน้ำหนักแห้งสู่รากลดลงมากกว่าข้าวโพดที่ให้น้ำแบบปกติ (Figure 6c) สำหรับอิทธิพลของพันธุ์ต่อสัดส่วนของน้ำหนักแห้งสู่ราก พบว่า NS3 มีแนวโน้มให้สัดส่วนการ

กระจายน้ำหนักแห้งสู่รากมากกว่า SW4452 และ CP888new ตั้งแต่อายุ 35 50 และที่ 70DAP (Figure 6d)

ผลการทดลองสอดคล้องกับ Lizaso and Ritchie (1997) และ Benjamin *et al.* (2014) ที่พบว่า การสะสมน้ำหนักแห้งของลำต้นลดลงร้อยละ 20–50 เมื่อข้าวโพดถูกน้ำท่วมในระยะ V4 นาน 6 วัน แต่การเจริญเติบโตของรากจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังเข้าสู่สภาวะปกติ 10 วัน โดยสายพันธุ์ที่ทนทานจะมีการแบ่งสัดส่วนของน้ำหนักแห้งสู่รากทั้งขณะน้ำท่วมและหลังจากเข้าสู่สภาวะปกติ ข้าวโพดที่ขาดน้ำในระยะ V2 สัดส่วนของ shoot biomass จึงลดลงมากกว่าสัดส่วนของ root biomass ประกอบกับข้าวโพดภายใต้ น้ำท่วม มีการสร้างและเพิ่มจำนวนของ adventitious root ใกล้กับบริเวณผิวดินและการพัฒนาของ nodal root ที่เร็วขึ้น ทำให้ root biomass มีสัดส่วนลดลงน้อยกว่า shoot biomass

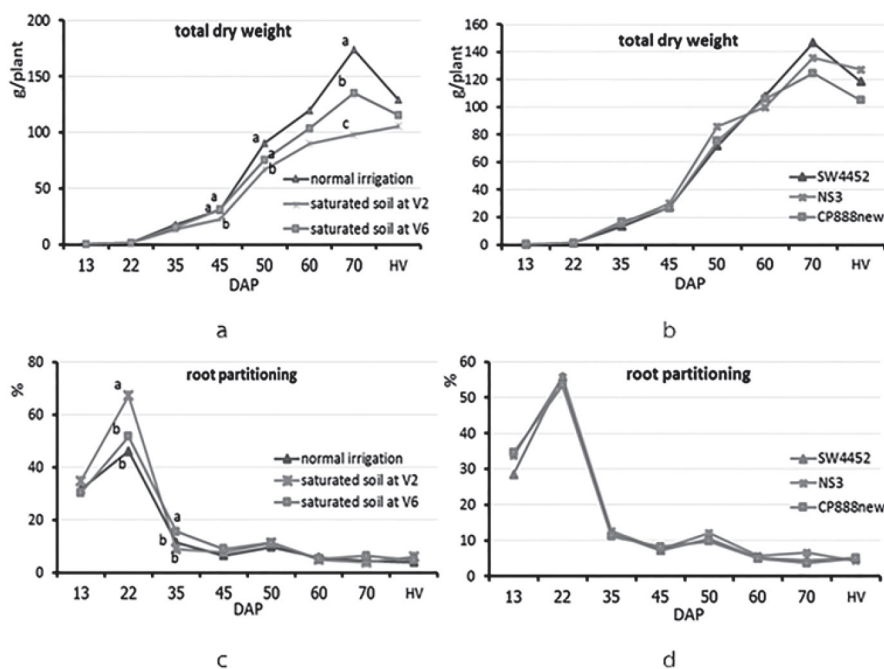


Figure 6 Influence of water regimes (a) and corn hybrids (b) on total dry weight; (g/plant) and on root partitioning (%) (c and d) when planted in late rainy season 2016

ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

ข้าวโพดภายใต้ SS ที่ระยะ V2 และ V6 ให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 17 และ 18 ของข้าวโพดที่ให้น้ำปกติ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 637 627 และ 763 กก. ต่อไร่ ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งผลการทดลองส่วนใหญ่ พบว่า ความเครียดจาก SS ทำให้ข้าวโพดที่อายุน้อยกว่าสูญเสียการให้ผลผลิตมากกว่า ซึ่ง Palapala and Moses (2016) พบว่า ข้าวโพดอายุ 17 วันภายใต้ให้น้ำท่วมขังสูง 2 ซม. นาน 10 วัน ให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 15-47 และ Ren *et al.* (2013) พบว่า ข้าวโพดที่ได้รับน้ำท่วมขังในระยะ V3 และ VT ผลผลิตลดลงร้อยละ 35 และ 18 ตามลำดับ

พันธุ์ลูกผสมทั้งสามพันธุ์ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ NS3 มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่า

SW4452 และ CP888new คือ 697.7 665.6 และ 664 กก. ต่อไร่ ตามลำดับ (Table 2) กรรมวิธีการให้น้ำทั้ง 3 วิธี ให้จำนวนฝักต่อต้นไม่แตกต่างกัน แต่ SS ที่ระยะ V2 และ V6 ให้จำนวนเมล็ดต่อฝักลดลงร้อยละ 10 และ 13 ของการให้น้ำปกติ SS ที่ระยะ V2 ทำให้น้ำหนัก 100 เมล็ดลดลงร้อยละ 2 ของข้าวโพดที่เจริญในสภาพน้ำปกติ ในขณะที่ SS ที่ระยะ V6 ให้เส้นผ่าศูนย์กลางฝักและความยาวฝักลดลงร้อยละ 4 และ 5 ของข้าวโพดที่เจริญในสภาพน้ำปกติ ตามลำดับ (Table 2) ซึ่ง Chen *et al.* (1989) พบว่า ข้าวโพดที่ได้รับน้ำท่วมขังในระยะ V3 มีผลกระทบต่อน้ำหนัก 100 เมล็ด แต่น้ำท่วมข้าวโพดในระยะ V6 มีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดต่อฝัก

Table 2 Influence of 3 water regimes (W) and 3 corn hybrids (H) on grain yield (kg/rai), ear number/plant, seed number/row, 100-seed weight, ear girth (cm) and ear length (cm) when planted in dry season 2014 and 2015 and late rainy season 2016 (combined data)

Factor	Grain yield (kg/rai)	Ear No./ plant	Seed No./ ear	100-seed weight (g)	Girth (cm)	Ear length (cm)
Water regimes (W)						
Normal irrigation	763.2 ^{a1/}	0.960	523.71 ^a	24.02 ^a	14.42 ^a	17.89 ^a
Saturated soil at V2	636.8 ^b	0.887	470.73 ^b	23.45 ^b	13.98 ^b	17.61 ^b
Saturated soil at V6	627.2 ^b	0.887	454.36 ^b	24.31 ^a	13.78 ^c	16.99 ^c
Hybrids (H)						
SW4452	665.6	0.827 ^b	554.59 ^a	23.21 ^b	15.14 ^a	18.10 ^a
NS3	697.7	0.965 ^a	461.96 ^b	24.93 ^a	13.83 ^b	17.23 ^b
CP888new	664.0	0.941 ^a	432.25 ^b	23.64 ^b	13.21 ^c	17.17 ^b
Mean	675.20	0.911	482.93	23.93	14.06	17.50
LSD _(0.05) W	87.80	0.096	26.31	0.554	0.075	0.295
H	60.32	0.083	24.81	0.718	0.390	0.756
CV (%) W	58.62	33.89	39.00	9.53	11.99	13.71
CV (%) H	14.91	59.75	68.66	19.44	36.37	15.49

Note: ^{1/}In a column means followed by different letters are statistically different at the 95% by LSD

สรุป

ข้าวโพดในระยะ V2 เมื่อได้รับความเครียดจากดินอ้อมด้วยน้ำ มีการสร้าง adventitious root ที่เกี่ยวข้องกับ aerenchyma เร็ว มีจำนวนรากมากในระยะแรกที่ได้รับ ความเครียด อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง น้ำหนักแห้งลดลง น้ำหนัก 100 เมล็ดลดลง แต่ดินอ้อมด้วยน้ำที่ระยะ V6 ให้ความกว้างและความยาวของฝักลดลง ดินอ้อมด้วยน้ำในระยะ V2 และ

ระยะ V6 ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน (637 vs 627 กิโลกรัมต่อไร่) แต่แตกต่างทางสถิติจากการให้น้ำปกติ (763 กก. ต่อไร่) พันธุ์นครสวรรค์ 3 ปรับตัวทางสัณฐานวิทยาได้เร็ว มีจำนวนรากมากกว่า สร้างพื้นที่ใบเร็ว จำนวนใบที่มีชีวิตสูง และมีการปรับตัวทางสรีรวิทยา คือ มีการสะสมน้ำหนักแห้งของราก และกระจายน้ำหนักแห้งสู่รากสูง น้ำหนัก 100 เมล็ดสูง และมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์สุวรรณ 4452 และพันธุ์ CP888new (697.7 vs 665.6 และ 664 กก. ต่อไร่ ตามลำดับ) พันธุ์

สุวรรณ 4452 มีจำนวนราก และจำนวนใบที่มีชีวิตลดลง ทั้งระยะ V2 และ V6 พันธุ์ CP888new มีดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งรากลดลงที่ระยะ V2 พันธุ์นครสวรรค์ 3 สามารถใช้เป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาวะดินอืดได้ด้วยน้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา
แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนงบประมาณ
สำหรับการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Ajaz, A. and M.Z.K. Warsy. 2009. Response of maize (*Zea mays* L.) to excess soil moisture (ESM) tolerance at different stages of life cycle. *BRI*. 2 (3): 211–217.
- Benjamin, J.G., D.C. Nielsen, M.F. Vigil, M.M. Mikha and F. Calderon. 2014. Water deficit stress effects on corn (*Zea mays*, L.) root:shoot ratio. *Sci. Res.* 4: 151–160.
- Boonpradap, S. 2013. Development of Maize Production System in Paddy Fields during Dry Season in Phitsanulok. Available Source: <http://research.trf.or.th/>, May 13, 2014. (in Thai)
- Chen, G., S. Zhao and Z. Liu. 1989. Studies on waterlogging of corn and protective measures II. Responses of corn to waterlogging in various growing stages. Available Source: http://en.cnki.com.cn/Article_en/, June 19, 2016.
- Drew, M.C., M.B. Jackson and S. Giffard. 1979. Ethylene-promoted adventitious rooting and development of cortical air spaces (aerenchyma) in roots may be adaptive responses to flooding in *Zea mays* L. *Planta*. 147: 83–88.
- Irfan, M., S. Hayat, Q. Hayat, S. Afroz and A. Ahmad. 2010. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. *Protoplasma*. 241: 3–17.
- Liu, Y., T. Bin, Z. Yong-Lian, M. June, X. Shang-Zhong and Q.F. Zhan. 2010. Screening method for water-logging tolerance at maize (*Zea mays* L.) seedling stage. *JIA*. 9(3): 362–369.
- Lizaso, J.I. and J.T. Ritchie. 1997. Maize shoot and root response to root zone saturation during vegetative growth. *Agron. J.* 89: 125–124.
- Mano, Y., F. Omori, T. Takamizo, B. Kindiger, R. McK Bird and C.H. Loaisiga. 2006. Variation for root aerenchyma formation in flooded and non-flooded maize and teosinte seedlings. *Plant Soil*. 281: 269–279.

- Meteorological Department. 2017. Rainfall in Thailand. Available Source: https://www.tmd.go.th/_climate/, September 21, 2018. (in Thai)
- Palapala, V. and N. Moses. 2016. Effect of water logging on selected morphological characteristics in maize. JAFT. 2(6): 80–92.
- Pourabdal, L., R. Heidary and T. Farboodnia. 2008. Effects of three different flooding periods on some anatomical, morphological and biochemical changings in maize (*Zea mays* L.) seedlings. Available Source: <http://scialert.net/fulltext/?doi=ajps.2008.90.94>., December 9, 2013.
- Rathore, T.R., M.Z.K. Warsi, P.H. Zaidi and N.N. Singh. 1997. Water-logging problem for maize production in Asian region. TAMNET News Lett. 4: 13–14.
- Ren, B., J. Zhang, X. Li and X.D. Fan. 2013. Effects of waterlogging on the yield and growth of summer maize under field conditions. Can. J. Plant. Sci. 94(1): 23–31.
- Romagnano, J.F. 2008. Ethylene Synthesis and Sensitivity in Crop Plants. Doctor of Philosophy Thesis, Utah State University, USA.
- Saab, I.N. and M.M. Sachs. 1996. A flooding-induced xyloglucan endo-transglycosylase homolog in maize is responsive to ethylene and associated with aerenchyma. Plant Physiol. 7(72): 385–391.
- Sarobol, E. 2015. Advanced Physiology of Crop Production. Department of Agronomy, Kasetsart University. Bangkok, Thailand. 249 p. (in Thai)
- Shah, N., J.A.T. Silva, T.S. Jaime and J.P. Shahi. 2012. Morphological and yield responses of maize (*Zea mays* L.) genotypes subjected to root zone excess soil moisture stress. Plant Stress Global Science Books 6(1): 59–72.
- Thiraporn, R. 1996. Maize. Department of Agronomy, Kasetsart University. Bangkok, Thailand. 274 p. (in Thai)
- Weston, G.D. 1994. Plant hormone, pp. 131-178. In A. Cobb, ed. Crop Physiology. Butter worth-Heinemann Ltd., Linacre house, Jordan Hill, Oxford.
- Zaidi, P.H., S. Rafiquea, P.K. Rai, N.N. Singha and G. Srinivasanb. 2004. Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays* L.): susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. Field Crops. Res. 90: 189–202.
- Zeke, H. 2018. Climate modelling G Explainer: What climate models tell us about future rain fall. Available Source: <https://www.carbonbrief.org/explainer-what-climate-models-tell-us-about-future-rainfall>., May 29, 2019.