การตอบสนองของข้าวโพดคั่วต่ออัตราและระยะเวลาการหยุดให้น้ำ

Responses of Popcorn to Irrigation Rates and Timing of Irrigation Termination

วันชัย ถนอมทรัพย์[1] เสน่ห์ เครือแก้ว[2] สุมนา งามผ่องใส[1]
วิไลวรรณ พรหมคำ[1] จิราลักษณ์ ภูมิไธสง[1]
Wanchai Thanomsub[1] Sanayh Kraokaw[2] Sumana Ngampongsai[1]
Wilaiwan Promkum[1] Jiraluk Phoomthaisong[1]

ABSTRACT

Irrigation rates and timing of irrigation termination in relation to crop maturity directly affect yield and costs of popcorn production. Responses of a popcorn variety to 3 irrigation rates (the ratios of irrigation water to evaporation, IW/E 0.5, 0.7 and 0.9) and 4 irrigation termination (R1, R3, R4 and R6) were examined on a clay soil at Chai Nat Field Crop Research Centre. The number of irrigation throughout the growing season was between 4–8 with irrigation amounts of 108–315 mm, depending up on irrigation rates and timing of the last irrigation. The responses in growth and yield of irrigation rates to irrigation termination were similar. Leaf area index, leaf area duration, crop growth rate and plant height increased with increasing irrigation rates. IW/E 0.9 gave an average yield of 637 kg/rai, which was 6.4 and 17.0% higher than IW/E 0.7 and 0.5, respectively. Irrigation terminated at R4 and R6 stages showed no significant differences in yields, whereas irrigation terminated at R3 and R1 reduced yields up to 7.3 and 17.6%, respectively, compared to R6 termination. Reduction in the number of ears harvested, and grain size was the main factors causing lower yields of lower irrigation rates and early irrigation termination.

Key words : popcorn, irrigation rate, irrigation termination, growth stage

[1] ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท อ. เมือง จ. ชัยนาท 17000
Chai Nat Field Crops Research Centre, Chai Nat 17000
[2] สถาบันวิจัยพืชไร่ กรุงเทพมหานคร 10900
Field Crops Research Institute, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

อัตราการให้น้ำและระยะเวลาการหยุดให้น้ำ มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและค่าใช้จ่ายการให้น้ำ ได้ดำเนินการทดลองเพื่อตรวจสอบการตอบสนองของข้าวโพดคั่วต่อปริมาณการให้น้ำและระยะเวลาการหยุดให้น้ำ บนดินเหนียวชุดราชบุรี (clay) ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท โดยให้น้ำที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ให้ต่อค่าการระเหย (irrigation water to evaporation, IW/E) เท่ากับ 0.5, 0.7 และ 0.9 และหยุดให้น้ำที่ระยะ R1, R3, R4 และ R6 ตลอดฤดูปลูกมีการให้น้ำ 4–8 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ให้มีค่าระหว่าง 108–315 มม. การหยุดให้น้ำที่ระยะ R1, R3 และ R4 จะลดปริมาณน้ำที่ให้ลงโดยเฉลี่ย 43, 27 และ 22% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการหยุดให้น้ำที่ระยะ R6 ไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราและระยะเวลา การหยุดให้น้ำ leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR) และความสูง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อลดปริมาณการให้น้ำ ขณะที่การหยุดให้น้ำที่ระยะ R1–R6 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว การให้น้ำที่ IW/E 0.9 ให้ผลผลิต 637 กก./ไร่ แต่เมื่อลดอัตราการให้น้ำเป็น IW/E 0.7 และ 0.5 ผลผลิตลดลงโดยเฉลี่ย 6.4 และ 17.0% ตามลำดับ การหยุดให้น้ำที่ระยะ R4 และ R6 ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน แต่การหยุดให้น้ำที่ระยะ R3 และ R1 ผลผลิตลดลง 17.6 และ 7.3% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการหยุดให้น้ำที่ระยะ R6 การลดลงของผลผลิตของการให้น้ำที่ IW/E 0.7 และ 0.5 และการหยุดให้น้ำที่ระยะ R3 และ R1 เป็นผลมาจากการลดลงของจำนวนฝักเก็บเกี่ยว และขนาดเมล็ด

คำหลัก : ข้าวโพดคั่ว อัตราการให้น้ำ ระยะเวลาการหยุดให้น้ำ ระยะการเจริญเติบโต

คำนำ

ปริมาณน้ำที่ให้มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด นอกจากนี้ ยังมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิต อย่างไรก็ตาม การให้น้ำและการหยุดให้น้ำในระยะที่เหมาะสม สามารถลดค่าใช้จ่ายการผลิตลงได้ บางส่วนความต้องการน้ำของข้าวโพดจะเพิ่มขึ้นตามอายุ และถึงจุดสูงสุดในช่วงระยะออกดอก และระยะน้ำนม หลังจากระยะนี้ปริมาณความต้องการน้ำจะลดลง (Doorenbos and Pruitt, 1977 และ Slater and Goode, 1967) เมื่อขาดน้ำทั้งในช่วง vegetative และ reproductive stages ผลผลิตข้าวโพดจะลดลง แต่การขาดน้ำในช่วงระยะเวลาออกไหม จะมีผลกระทบต่อผลผลิตของข้าวโพดมากที่สุด นอกจากนี้ การลดลงของผลผลิตจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความรุนแรง และยาวนานของการขาดน้ำ (Doorenbos and Kassam, 1979 และ Claassen and Show, 1970) เมื่อเกิดการขาดน้ำอย่างรุนแรงและยาวนานในช่วง 2 สัปดาห์หลังออกไหม ผลผลิตข้าวโพดจะลดลง 33% น้ำหนักเมล็ดลดลง 20% และจำนวนเมล็ด/ต้น ลดลง 15% (Harder *et al.*, 1982) เมื่อลดอัตราการให้น้ำจาก 1.5 เป็น 0.5 เท่าของปริมาณความต้องการน้ำ ผลผลิตข้าวโพดลดลง 34% (Follett *et al.*, 1978) อย่างไรก็ตาม ข้าวโพดแต่ละพันธุ์มีความต้องการน้ำ และความทนทานต่อการขาดน้ำแตกต่างกัน (Lorens *et al.*, 1987; Barnes and Woolley, 1969 และ Howell *et al.*, 1998) และยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับผลของอัตราการให้น้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดคั่ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บนดินเหนียวชุดราชบุรี (clay soil) ดังนั้น จึงมีการตรวจสอบการตอบสนองของข้าวโพดคั่ว ต่อปริมาณการให้น้ำและระยะเวลาการหยุดให้น้ำ บนดินชนิดดังกล่าวในสภาพแวดล้อมเขตชลประทานภาคกลาง

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองโดยเริ่มปลูกวันที่ 11 พฤศจิกายน 2540 และเก็บครั้งสุดท้าย วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2541 ดินที่ใช้ทำการทดลองเป็นดินเหนียวชุดราชบุรี (clay soil) มีค่า pH 7.12 OM. 1.48% P 14.0 ppm, K 98.7 ppm ความชื้นดินที่จุด field

capacity และ permanent wilting point มีค่า 21.41% และ 16.92% ตามลำดับ ในการทดลองครั้งนี้ใช้ค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหยชนิด US. Class A pan ที่รวบรวมจากสถานีตรวจอากาศเกษตรชัยนาท ที่อยู่ห่างจากแปลงทดลองประมาณ 1 กม. เป็นตัวกำหนดระยะเวลาและอัตราการให้น้ำพันธุ์ข้าวโพดคั่ว ที่ใช้ทำการทดลองครั้งนี้ได้แก่พันธุ์ CNPC 1 (เมล็ดกลม) ซึ่งพันธุ์ดังกล่าวได้รับมาจากศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ

วางแผนการทดลองแบบ Split plot design จำนวน 3 ซ้ำ main plots ประกอบด้วยการให้น้ำ 3 อัตรา ที่กำหนดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ให้ต่อค่าการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหย (irrigation water/evaporation, IW/E) ที่ค่า 0.5, 0.7 และ 0.9 ในการทดลองครั้งนี้ จะให้น้ำทุกครั้งเมื่อค่าการระเหยสะสมครบ 50 มม. ดังนั้นปริมาณการให้น้ำแต่ละครั้งมีค่า 25, 35 และ 45 มม. สำหรับการให้น้ำที่ IW/E 0.5, 0.7 และ 0.9 ตามลำดับ การให้ทำโดยปล่อยน้ำจากถังบรรจุน้ำที่สามารถวัดปริมาณน้ำได้ โดยใช้สายยางปล่อยจากถัง พยายามให้แต่ละพื้นที่ของแปลงได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอ

sub–plots ได้แก่การให้น้ำครั้งสุดท้ายที่การเจริญเติบโตระยะต่าง ๆ 4 ระยะ ได้แก่ระยะ R1 (ระยะออกไหม – silking), R3 (ระยะน้ำนม – milky), R4 (ระยะแป้งอ่อน – dough) และ R6 (ระยะสุกแก่ทางสรีระ – physiological maturity) ซึ่งระยะการเจริญเติบโตดังกล่าว กำหนดตามข้อเสนอของ Ritchie and Hanway (1984)

ก่อนปลูกทุกแปลงปลูกจะได้รับปุ๋ยสูตร 16–20–0 อัตรา 50 กก./ไร่ หว่านแล้วไถกลบ แล้วปลูกข้าวโพด โดยใช้ระยะปลูก 75 x 25 ซม. ภายหลังงอกประมาณ 7 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/หลุม เมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 30 วัน จะใส่ปุ๋ยสูตร 46–0–0 อัตรา 25 กก./ไร่ โดยวิธีโรยข้างแถวแล้วพูนโคน

แปลงย่อยขนาด 4.5 x 6 เมตร และพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 3 x 4 เมตร ระหว่าง main plots และ sub–plots จะมีคันดินกว้างประมาณ 300 และ 150 ซม. กั้นเพื่อป้องกันการไหลซึมของน้ำ

หลังปลูกทุกวิธีการจะได้รับน้ำอย่างเพียงพอสำหรับความงอก (ประมาณ 40 มม.) หลังจากนั้นจะเริ่มบันทึกค่าการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหย และเมื่อค่าการระเหยสะสมครบ 50 มม. จะทำการให้น้ำตามอัตราที่กำหนดไว้ใน main plots ในกรณีที่การหยุดให้น้ำ ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่าง ๆ เกิดขึ้นก่อนค่าการระเหยสะสมครบ 50 มม. ปริมาณการให้น้ำจะคำนวณโดยใช้ค่าการระเหยที่สะสม จากการให้น้ำครั้งล่าสุดจนถึงระยะการเดิบโตที่กำหนดไว้ใน sub–plots

ระหว่างดำเนินการทดลองมีการบันทึกระยะเวลาที่ใช้จากงอกจนถึงระยะ VT (ระยะออกช่อดอกเกสรตัวผู้ – tasseling), R1 (กำหนดเมื่อ 50% ของต้นข้าวโพด ในแต่ละแปลงย่อยมีไหมพ้นกาบหุ้มฝัก), R3 (กำหนดเมื่อ 50% ของฝักข้าวโพดในแต่ละแปลงย่อยมีไหมเริ่มแห้งเป็นสีน้ำตาล เมล็ดบนฝักปรากฏเป็นสีเหลือง), R4 (กำหนดเมื่อ 50% ของฝักข้าวโพดในแต่ละแปลงย่อยภายในเมล็ดเป็นแป้ง, embryo เริ่มขยายใหญ่มากขึ้น และมีขนาดครึ่งหนึ่งของเมล็ด) และ R6 (กำหนดเมื่อ 50% ของฝักข้าวโพดในแต่ละแปลงย่อยเมล็ดมีแป้งแข็งตัวโดยสมบูรณ์ และเกิดชั้นเนื้อดำที่ส่วนโคนของเมล็ด)

นอกจากนี้ยังมีการเก็บตัวอย่างพืช 2 ครั้ง ที่ระยะ 30 และ 50 วันหลังงอก เพื่อวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งทั้งหมดส่วนเหนือดิน และอัตราการเดิบโต ในการเก็บตัวอย่างทุกครั้งจะสุ่มเก็บ โดยใช้จำนวนต้นในแต่ละแปลงย่อย 5 ต้น

สำหรับช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต มีการบันทึกจำนวนฝักทั้งหมด น้ำหนักเมล็ด ความสูงต้น ความสูงฝัก และน้ำหนัก 100 เมล็ด สำหรับความสูงต้นในการทดลองครั้งนี้กำหนด โดยวัดความสูงจากโคนต้นถึงโคนกาบใบของใบธง และความสูงฝักจะวัดจากโคนต้นถึงข้อของฝักบนสุด ทำการสุ่มวัดจำนวน 10 ต้น สำหรับน้ำหนักเมล็ดแห้งและน้ำหนัก 100 เมล็ด จะปรับเป็นน้ำหนักที่ระดับความชื้น15%ซึ่งน้ำหนักเมล็ดแห้งคำนวณโดยใช้สูตร

$$G = (100 - M) \times E \times \%\ \text{กะเทาะ}$$

โดย G = น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 15%

E = น้ำหนักฝักต่อแปลงย่อย

M = ความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว

การวิเคราะห์พื้นที่ใบทำโดยใช้เครื่องมือวัดพื้นที่ใบชนิด Automatic Area Meter Model AAM 7 ของ

Hayashi Denkon Co., Ltd. หลังจากนั้นนำส่วนต่าง ๆ ของพืชมาอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชม. แล้วนำมาหาน้ำหนักแห้งทั้งหมด, leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR) และ Net assimilation rate (NAR)

การคำนวณหาค่า leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR) และ net assimilation rate (NAR)ทำโดยใช้วิธีการที่เสนอโดย Hunt (1978) ได้แก่

LAI = AL/AG เมื่อ

AL = พื้นที่ใบทั้งหมด (total leaf area)

AG = พื้นที่ดิน (ground area which supports AL)

LAD = (LAI 1 + LAI 2) (T2 – T1) /2 เมื่อ

LAI 1 และ LAI 2 = พื้นที่ใบของการวัดครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

T1 และ T2 = ระยะเวลาในการวัดพื้นที่ใบครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

CGR = 1/AG x (W2–W1)/(T2–T1) เมื่อ

W1 และ W2 = น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่ระยะเวลา T1 และ T2 ตามลำดับ

NAR = CGR x (ln LAI 2 – ln LAI 1)/(LAI 2 – LAI 1) เมื่อ

ln LAI 1 และ ln LAI 2 = natural logarithm ของ LAI 1 และ LAI 2 ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Irrigation amounts and water use efficiency, WUE) คำนวณได้จากสูตร

WUE = น้ำหนักแห้งเมล็ด/ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ ..... กก./ไร่/มม.

ผลการทดลอง

สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศในช่วงดำเนินการทดลอง (พฤศจิกายน 2540 – กุมภาพันธ์ 2541) เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหย ได้รวบรวมไว้ใน Table 1 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 32.5–34.9 และ 20.7–23.2 °ซ ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ย มีค่าระหว่าง 27.1–29.1 °ซ ในช่วง 3 เดือนแรก ข้าวโพดคั่วเจริญเติบโตในสภาพอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนัก (27.9–27.1 °ซ) แต่ในช่วงท้ายของการเจริญเติบโต (กุมภาพันธ์) อุณหภูมิเฉลี่ยจะสูงขึ้นเป็น 29.1 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 66–74% โดยเดือนพฤศจิกายน มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ขณะที่เดือนอื่น ๆ มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน (66–67%) ปริมาณการระเหยน้ำมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.8 – 5.2 มม./วัน โดยค่าการระเหยสูงสุดพบในเดือนกุมภาพันธ์ ขณะที่เดือนอื่น ๆ มีค่าการระเหยใกล้เคียงกัน ระหว่างดำเนินการทดลองไม่มีฝนตก

Table 1 Maximum, minimum and mean temperatures, mean relative humidity (R.H.) and mean daily evaporation from U.S. Class A pan between November 1997 and March 1998 at Chai Nat Field Crops Research Centre.

Month	Temperature (°C)			R. H. (%)	Evaporation (mm.)	
	Maximum	Minimum	Mean		Mean daily	Total
November	32.5	22.6	27.9	74	3.8	114.0
December	33.1	21.1	27.1	66	4.0	124.0
January	33.8	20.7	27.3	67	3.8	117.8
February	34.9	23.2	29.1	67	5.2	145.6

ระยะเวลาที่ใช้จากปลูกจนถึงการเจริญเติบโตระยะ VT, R1, R3, R4, และ R6

ข้าวโพดใช้ระยะเวลาจากปลูกจนถึงงอก 5 วัน สำหรับระยะเวลาที่ใช้จนถึงระยะ VT, R1, R3, R4 และ R6 แสดงไว้ใน Table 2 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวบันทึกเมื่อ 50% ของต้นข้าวโพดจากแปลงที่ได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอ (ได้รับน้ำทุกครั้งเมื่อค่าการระเหยสะสมครบ 50 มม.) เติบโตถึงระยะต่าง ๆ ที่กำหนด โดยไม่นำข้อมูลของแปลง ที่หยุดให้น้ำก่อนถึงระยะการเจริญเติบโตที่บันทึกมาเกี่ยวข้อง ระยะเวลาที่ใช้จนถึงการเจริญเติบโตระยะต่าง ๆ ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณการให้น้ำ โดยการให้น้ำที่ IW/E 0.5 ใช้ระยะเวลาจากปลูกจนถึงระยะ VT, R1, R3, R4 และ R6 โดยเฉลี่ย 51, 56, 71, 77 และ 95 วัน ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มการให้น้ำเป็น IW/E 0.7 และ 0.9 จำนวนวันที่ใช้จะลดลง 3–4 วัน และ 5–6 วัน ตามลำดับ

Table 2 Date and numbers of days from planting to R1, R3, R4 and R6 growth stages of a popcorn (round seed) sown at Chai Nat Field Crops Research Centre in 1997/98.

Irri. Rate	Growth Stage					Days from Planting				
(IW/E)	VT	R1	R3	R4	R6	VT	R1	R3	R4	R6
0.5	31/12/97	5/1/98	20/1/98	26/1/98	13/2/98	51	56	71	77	95
0.7	26/12/97	2/1/98	17/1/98	22/1/98	10/2/98	46	53	68	73	92
0.9	25/12/97	31/12/97	15/1/98	20/1/98	7/2/98	45	51	66	71	89

IW/E indicate the ratio of irrigation water to evaporation.

R1, R3, R4 and R6 growth stages according to Ritchie and Hanway (1984)

จำนวนครั้ง และปริมาณการให้น้ำ

วันให้น้ำและปริมาณน้ำที่ให้ของการให้น้ำในอัตรา และระยะเวลาการหยุดให้น้ำในระยะต่าง ๆ รวบรวมไว้ใน Table 3 โดยทั่ว ๆ ไป ความถี่การให้น้ำมีค่าระหว่าง 11–14 วัน ยกเว้นการให้น้ำครั้งสุดท้ายที่ระยะ R1–R6 ของ IW/E 0.5 และ 0.7 และระยะ R3–R4 ของ IW/E 0.9 ที่การให้น้ำครั้งสุดท้ายเกิดก่อนที่ค่าการระเหยภายหลังการให้น้ำ ครั้งที่ผ่านมาสะสมครบ 50 มม. ตลอดฤดูปลูกมีการให้น้ำ 4–8 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ให้มีค่า 108–315 มม.

การให้น้ำครั้งสุดท้ายที่ระยะ R6 ของ IW/E 0.5, 0.7 และ 0.9 ทำเมื่อข้าวโพดอายุ 95, 92 และ 89 วัน ตามลำดับ ตลอดฤดูปลูกมีการให้น้ำ 7–8 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ให้มีค่าระหว่าง 188–315 มม. การหยุดให้น้ำที่ระยะ R1, R3 และ R4 จะลดปริมาณน้ำที่ให้ลง 22, 27 และ 43% ตามลำดับ แม้ว่าการหยุดให้น้ำที่ระยะ R3 และ R4 จะมีจำนวนครั้งการให้น้ำเท่ากัน แต่การหยุดให้น้ำที่ระยะ R3 จะมีปริมาณการให้น้ำน้อยกว่าโดยเฉลี่ย 7%

Table 3 Irrigation dates and amounts (mm) for 3 irrigation rates and 4 timing of irrigation termination of popcorn sown at Chai Nat Field Crop Research Center in 1997/98.

Irri. Rate	Timing of Irrigation Termination								
	R1		R3		R4		R6		Mean
	Date	Amount	Date	Amount	Date	Amount	Date	Amount	
IW/E 0.5									
1	23/11/97	25	23/11/97	25	23/11/97	25	23/11/97	25	
2	5/12/97	25	5/12/97	25	5/12/97	25	5/12/97	25	
3	17/12/97	25	17/12/97	25	17/12/97	25	17/12/97	25	
4	31/12/97	25	31/12/97	25	31/12/97	25	31/12/97	25	
5	5/1/98	8	14/1/98	25	14/1/98	25	14/1/98	25	
6			20/1/98	10	26/1/98	23	27/1/98	25	
7							7/2/98	25	
8							13/2/98	13	
Total (mm)		108		135		148		188	145
IW/E 0.7									
1	23/11/97	35	23/11/97	35	23/11/97	35	23/11/97	35	
2	5/12/97	35	5/12/97	35	5/12/97	35	5/12/97	35	
3	17/12/97	35	17/12/97	35	17/12/97	35	17/12/97	35	
4	31/12/97	35	31/12/97	35	31/12/97	35	31/12/97	35	
5	2/1/98	5	14/1/98	35	14/1/98	35	14/1/98	35	
6			17/1/98	10	22/1/98	22	27/1/98	35	
7							7/2/98	35	
8							10/2/98	9	
Total (mm)		145		185		197		254	195
IW/E 0.9									
1	23/11/97	45	23/11/97	45	23/11/97	45	23/11/97	45	
2	5/12/97	45	5/12/97	45	5/12/97	45	5/12/97	45	
3	17/12/97	45	17/12/97	45	17/12/97	45	17/12/97	45	
4	31/12/97	45	31/12/97	45	31/12/97	45	31/12/97	45	
5			14/1/98	45	14/1/98	45	14/1/98	45	
6			15/1/98	6	20/1/98	20	27/1/98	45	
7							7/2/98	45	
Total (mm)		180		231		245		315	243
Mean (mm)		144		183		197		252	

IW/E indicate the ratio of irrigation water to evaporation.

R1, R3, R4 and R6 growth stages according to Ritchie and Hanway (1984)

Leaf area index (LAI), Leaf area duration (LAD), Crop growth rate (CGR), Net assimilation rate (NAR), ความสูงต้นและฝัก

ไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการให้น้ำและระยะเวลาการหยุดให้น้ำในทุกส่วนของการเจริญเติบโต เมื่อลดอัตราการให้น้ำจาก IW/E 0.9 เป็น 0.7 และ 0.5 มีผลให้ LAI ที่อายุ 30 และ 50 วันหลังปลูก CGR ช่วง 1–30 และ 30–50 วัน และ LAD ช่วง 30–50 วัน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับการให้น้ำ ขณะที่ NAR ไม่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม การหยุดให้น้ำที่ระยะ R1–R6 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง LAI, LAD, CGR และ NAR ทั้งนี้เพราะในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างทุกวิธีการยังได้รับน้ำไม่แตกต่างกัน (Table 4)

เมื่อเพิ่มอัตราการให้น้ำจาก IW/E 0.5 เป็น 0.7 ความสูงต้นเพิ่มจาก 160 เป็น 177 ซม. และความสูงฝักเพิ่มจาก 74 เป็น 88 ซม. อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มอัตราการให้น้ำเป็น IW/E 0.9 ไม่มีผลให้ความสูงต้นและฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การหยุดให้น้ำที่การเจริญเติบโตระยะ R1–R6 ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสูงต้น และความสูงฝัก (Table 4)

Table 4 Effect of irrigation amount and irrigation termination on leaf area index (LAI) at 30 and 50 days after emergence (DAE), crop growth rate (CGR) between 1–30 and 30–50 DAE, net assimilation rate (NAR) between 30–50 DAE, leaf area duration (LAD) between 30–50 DAE, plant and ear height of popcorn.

	LAI30	CGR 1–30 g/m^2/day	LAI50	CGR 30–50 g/m^2/day	NAR 30–50 g/m^2/day	LAD 30–50 day	Plant Height cm	Ear Height cm
Irri. Rate (IW/E)								
0.5	0.58 c	1.29 c	1.63 c	15.4 c	15.2 a	22.1 c	160 b	74 b
0.7	0.65 b	1.50 b	2.03 b	18.6 b	15.4 a	26.78 b	177 a	88 a
0.9	0.84 a	2.01 a	2.26 a	20.8 a	14.5 a	31.00 a	185 a	98 a
Irri. termination								
R1	0.69 a	1.60 a	1.95 a	18.2 a	15.1 a	26.4 a	173 a	88 a
R3	0.69 a	1.61 a	1.98 a	18.3 a	15.0 a	26.7 a	174 a	86 a
R4	0.68 a	1.56 a	1.97 a	18.4 a	15.2 a	26.5 a	174 a	87 a
R6	0.69 a	1.62 a	2.0 a	18.1 a	14.8 a	26.9 a	175 a	87 a
CV. (a) %	4.5	2.8	7.2	6.0	6.5	6.4	8.9	12.7
CV. (b) %	6.6	5.8	5.1	5.9	6.9	4.2	7.9	13.5

R1, R3, R4 and R6 growth stages according to Ritchie and Hanway (1984)

IW/E indicate the ratio of irrigation water to evaporation.

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

ผลผลิต, องค์ประกอบผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้น้ำ ของผลผลิต (water use efficiency, WUE)

ไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอัตราการให้น้ำและระยะเวลาการหยุดให้น้ำ ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการให้น้ำ และระยะเวลาการหยุดให้น้ำ (Table 5) การให้น้ำที่ IW/E 0.9 ให้ผลผลิต 637 กก./ไร่ แต่เมื่อลดอัตราการให้น้ำมาเป็นที่ IW/E 0.7 และ 0.5 มีผลให้ผลผลิตลดลงโดยเฉลี่ย 6.4 และ 17.0% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของผลผลิตของการให้น้ำที่ IW/E 0.9 เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของจำนวนฝักเก็บเกี่ยว น้ำหนักฝัก และขนาดเมล็ด โดยการให้น้ำที่ IW/E 0.9 มีจำนวนฝักเก็บเกี่ยว/ไร่ และน้ำหนัก 100 เมล็ด สูงกว่าการให้น้ำที่ IW/E 0.5 และ 0.7 ระหว่าง 4.3–18.8 และ 4.1–6.1% ตามลำดับ

การหยุดให้น้ำที่ระยะ R6 ให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการหยุดให้น้ำที่ระยะ R4 แต่ให้ผลผลิตสูงกว่าการหยุดให้น้ำที่ระยะ R3 และ R1 เท่ากับ 7.3 และ 17.6% ตามลำดับ การลดลงของผลผลิตของการหยุดให้น้ำที่ระยะ R3 และ R1 เป็นผลมาจากจำนวนฝักเก็บเกี่ยว/ไร่ ลดลง 2.7–4.6% และน้ำหนัก 100 เมล็ด ลดลง 5.4–9.4% เมื่อเปรียบเทียบกับการหยุดให้น้ำที่ระยะ R6

ปริมาณน้ำที่นำมาคำนวณค่า WUE ของผลผลิตครั้งนี้เป็นปริมาณน้ำที่ให้ภายหลังปลูก ที่รวมรวบไว้ใน Teble 3 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) มีค่าสูงสุด เมื่อให้น้ำที่ IW/E 0.5 และมีค่าต่ำสุด เมื่อให้น้ำที่ IW/E 0.9 การหยุดให้น้ำที่ R1 มีค่า WUE สูงสุด และการหยุดให้น้ำที่ระยะ R6 ให้ค่า WUE ต่ำสุด ขณะที่การหยุดให้น้ำที่ระยะ R3 และ R4 มีค่า WUE ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

วิจารณ์ผลการทดลอง

การลดลงอย่างมีนัยสำคัญของ LAI และ LAD เมื่อลดอัตราการให้น้ำจาก IW/E 0.9 เป็น 0.6 และ 0.3 ที่พบจากการทดลองที่นำเสนอนี้ แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำที่ IW/E 0.7 และ 0.5 ไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการขยายตัวของพื้นที่ใบ โดยการให้น้ำที่ IW/E 0.5 มีการขาดน้ำที่รุนแรงกว่า IW/E 0.7 ทำให้ LAI และ LAD มีค่าต่ำสุด ซึ่ง Boyer (1970), Bunce (1978) และ Turk and Hail (1980) แสดงให้เห็นว่าการขาดน้ำเป็นปัจจัยหลัก ที่มีผลต่อการพัฒนาพื้นที่ใบ และจำนวนใบย่อย และเมื่อเกิดการขาดน้ำจะทำให้พื้นที่ใบลดลง แต่อัตราการลดลงจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความรุนแรงและความยาวนานของการขาดน้ำ และโดยทั่ว ๆ ไปเมื่อเกิดการขาดน้ำ ส่วนของใบจะได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด ตามด้วยส่วนลำต้น และ ราก ตามลำดับ (May and Milthrope, 1962) โดยการขาดน้ำจะไปขัดขวางการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ ทำให้ขนาดของเซลล์เล็กลง (Kramer, 1969) การลดลงของ LAI และ LAD ของ IW/E 0.7 และ 0.5 เป็นผลให้ปริมาณแสงที่พืชได้รับลดลง ผลที่ตามมาคืออัตราการเติบโตลดลง ทั้งนี้เพราะน้ำหนักแห้งของพืชเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการเติบโต (Monteith, 1977 และ Montojos and Magalhaes, 1971) นอกจากนี้ยังอาจจะเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงเพราะเมื่อพืชขาดน้ำ กระบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกยับยั้ง (Boyer, 1970)

Table 5 Effect of irrigation amount and irrigation termination at different growth stages on grain yield at 15% moisture content, 100 grain weight, number of ears harvested/rai, and water use efficiency (WUE) of a pop corn cultivar sown at Chai Nat Field Crop Research Center in 1997/98.

	Grain wt. (kg/rai)	100 grain wt. (g)	Ears/ rai	WUE (kg/rai/mm)
Irri. rate				
IW/E 0.5	529 c	13.9 c	7019 c	3.75 a
IW/E 0.7	596 b	14.2 b	8270 b	3.12 b
IW/E 0.9	637 a	14.8 a	8643 a	2.71 c
Irri. termination				
R1	521 c	13.5 b	7580 c	3.69 a
R3	586 b	14.1 b	7735 b	3.30 b
R4	611 ab	14.6 a	7838 ab	3.19 b
R6	632 a	14.9 a	7948 a	2.58 c
CV. (a) %	9.7	4.7	9.7	5.8
CV. (b) %	9.2	5.1	8.8	4.9

R1, R3, R4 and R6 growth stages according to Ritchie and Hanway (1984)
IW/E indicate the ratio of irrigation water to evaporation.
In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

การให้น้ำที่ IW/E 0.5 ข้าวโพดอาจจะขาดน้ำตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ของการเจริญเติบโตเป็นต้นไปขณะที่ IW/E 0.7 การขาดน้ำอาจจะเกิดขึ้นในช่วงท้ายของระยะ vegetative เป็นต้นไป และการขาดน้ำรุนแรงน้อยกว่า IW/E 0.5 โดยเฉพาะอย่างยิ่งตั้งแต่ระยะออกไหมเป็นต้นไป ในทางตรงกันข้าม IW/E 0.9 ไม่มีการขาดน้ำตลอดฤดูปลูก ดังนั้นผลผลิตของ IW/E 0.5 จึงลดลงถึง 17.0% ขณะที่การให้น้ำที่ IW/E 0.7 ผลผลิตลดลงเพียง 6.4% Follett *et al.* (1978) รายงานว่า เมื่อลดอัตราการให้น้ำจาก 1.5 เป็น 0.5 เท่าของปริมาณการใช้น้ำของพืช (evapotranspiration, ET) ผลผลิตของข้าวโพดลดลง 34% สำหรับข้าวโพดฝักอ่อน ราเชนทร์และสดใส (2534) พบว่า การให้น้ำที่ ET/E เท่ากับ 1 ให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตสูงกว่าการให้น้ำที่ ET/E 0.6 อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับ ET/E 1.2

การหยุดให้น้ำที่ระยะ R1 ข้าวโพดอาจจะขาดน้ำ ตั้งแต่ก่อนระยะ R3 เป็นต้นไป ขณะที่การหยุดให้น้ำที่ระยะ R3 ข้าวโพดอาจจะขาดน้ำตั้งแต่ระยะ R4 หรือหลังระยะ R4 เป็นต้นไป ดังนั้นการหยุดให้น้ำที่ระยะ R1 จึงเกิดการขาดน้ำที่รุนแรง และยาวนานกว่าการหยุดให้น้ำที่ระยะอื่น ๆ นอกจากนี้ การขาดน้ำยังเกิดในระยะการเจริญเติบโตที่มีผลกระทบต่อผลผลิตมากที่สุด ทำให้ผลผลิตลดลงมากที่สุด (17.6%) สำหรับการหยุดให้น้ำที่ระยะ R4 ข้าวโพดอาจขาดน้ำในช่วงท้าย ๆ ของการเจริญเติบโต แต่การขาดน้ำอาจไม่รุนแรง และเกิดในช่วงการเจริญเติบโตที่ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตมากนัก ดังนั้นการหยุดให้น้ำที่ระยะ R4 จึงให้ผลผลิต ไม่แตกต่างกับการหยุดให้น้ำที่ระยะ R6 Classen and Show (1970) ชี้ให้เห็นว่า เมื่อข้าวโพดขาดน้ำในช่วง early ear shoot และ ovule development ผลผลิตลดลง 12–15%

และการขาดน้ำที่ 75% ของระยะ R1 ผลผลิตลดลง 53% และถ้าเกิดการขาดน้ำอย่างต่อเนื่องในช่วง 3 สัปดาห์หลังระยะ R1 ผลผลิตลดลง 30% นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเกิดการขาดน้ำ ในช่วงระหว่างและหลังออกไหม เป็นผลให้น้ำหนักเมล็ด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นไปในแนวเดียวกับการทดลองที่นำเสนอครั้งนี้ ที่พบว่าน้ำหนักเมล็ดลดลง เมื่อหยุดให้น้ำที่ระยะ R1 และ R3

ผลการทดลองอาจจะแตกต่างไปจากที่นำเสนอครั้งนี้ ถ้าชนิดและพันธุ์ข้าวโพดที่ใช้ ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของดิน หรือสภาพภูมิอากาศ แตกต่างไปจากการทดลองครั้งนี้ เพราะปัจจัยดังกล่าวเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณการใช้น้ำของพืช และปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ทั้งนี้เพราะ Barnes and Woolley (1969) และ Howell *et al.* (1998) แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดลูกผสมแต่ละพันธุ์มีความทนทานต่อการขาดน้ำและความต้องการน้ำ แตกต่างกัน ขณะที่ Johnson and Smith (1975) เสนอว่าโดยทั่ว ๆ ไป ดินร่วนจะมีปริมาณน้ำ ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด ตามด้วยดินเหนียว และดินทราย

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่นำเสนอครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าในการปลูกข้าวโพดครั้วบนดินชุดราชบุรี ที่มี texture ชนิด clay และปลูกในสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ ควรให้น้ำที่อัตรา 90% ของค่าการระเหย หรือให้น้ำในปริมาณ 45 มม. ทุกครั้งเมื่อค่าการระเหยสะสม 50 มม. (ใช้ระยะเวลาระหว่าง 12–14 วัน) และให้น้ำจนถึงระยะ R4 ก็เพียงพอ ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องให้น้ำจนถึง ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (R6) เพราะผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณน้ำที่ให้ลดลงประมาณ 22% ซึ่งวิธีการดังกล่าวตลอดฤดูปลูกจะมีการให้น้ำ 6 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ให้ทั้งหมดประมาณ 245 มม. หรือ 392 ลบม./ไร่ อย่างไรก็ตามผลการทดลองชี้ว่า ไม่ควรมีการให้น้ำที่อัตรา 50 หรือ 70% ของค่าการระเหย หรือหยุดให้น้ำก่อนถึงระยะแป้งอ่อน (R4) เพราะผลผลิตจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

ราเชนทร์ ถิรพร และสดใส ช่างสลัก. 2534. การศึกษาศักยภาพการคายระเหย และความต้องการน้ำสำหรับการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน. *วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (สาขาวิทยาศาสตร์).* 25 : 282–291.

Barnes, D. L. and D. G. Woolley. 1969. Effect of moisture stress at different stagesof growth. I. Comparison of a single–eared and a two–eared corn hybrid. *Agron. J.* 61: 788–790

Boyer, J. S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybeans and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46 : 236–239.

Bunce, J. A. 1978. Effects of water stress on leaf expansion, net photosynthesis and vegetative growth of soybeans and cotton. *Can. J. Bot.* 56: 1492–1498.

Claassen, M. M. and R. H. Show. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62: 652–655.

Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage paper. No. 33. Rome: FAO.

Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. *Crop Water Requirements.* Guide line for preducting irrigation and drainage. Paper. No. 24. Rome: FAO.

Follett, R. F.; L. C. Benze; E. J. Doering and G. A. Reichman. 1978. Yield response of corn to irrigation on sandy soils. *Agron. J.* 70: 823–828.

Harder, H. J.; R. E. Carlson and R. H. Show. 1982. Yield, yield components and nutrient of corn grain as influenced by post–silking moisture stress. *Agron. J.* 74: 275–278.

Howell, T. A.; J. A. Tolk; A. D. Schneider and S. R. Evett. 1998. Evaporation, yield and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. *Agron. J.* 90:3–9.

Hunt, R. 1978. *Plant Growth Analysis.* London : Edward Arnold. 67 p.

Johnson, G. G. and R. C. G. Smith. 1975. Accuracy of soil water buggets based on a range of relationship for the influence of soul water availability on actual water use. *Aust. J. Agric. Res.* 26: 871–883.

Kramer, P. J. 1969. Plant and soil water relationships: a modern synthesis. McGraw–Hill, New York.

Lorens, G. F.; J. M. Bennett and L. B. Loggale. 1987. Differences in drought resistance between two corn hybrids. I. Water relations and root length density. *Agron. J.* 79: 802–807.

May,L. H. and F. L. Milthrope. 1962. Drought resistance of crop plants. *Field Crop Abstr.* 15 (3) : 171–179.

Montojos, J. C. and A. C. Magalhaes. 1971. Growth analysis of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L. var. Pintado) under varying conditions of solar radiation and nitrogen application. *Plant and Soil.* 35 : 217–223.

Monteith, J. L. 1977. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 281 : 277–294.

Ritchie, S. W. and J. J. Hanway. 1984. *How a Corn Plant Develops.* Special Report No 48. Iowa State University of Science and Technology. 21 p.

Slater, P.J. and J. E. Goode. 1967. *Crop Response to Water at Different Stages of Growth.* Commonwealth Agricultural Burear.

Turk, K. J. and A. E. Hall. 1980. Drought adaptation of cowpea. II. Influence of drought on plant water status and relations with seed yield. *Agron. J.* 72: 421–427.