

# ผลผลิตและรอยเท้าน้ำของข้าวโพดฝักอ่อนที่ตอบสนองต่ออัตราการให้น้ำ และปุ๋ยที่แตกต่างกัน

## Responses of baby corn yields and water footprints to different fertilizer and water supply rates

รัฐกร สืบคำ<sup>1</sup>, วิทยา ตรีโลเกส<sup>1,2\*</sup>, สุภลธิธิ์ คนใหญ่<sup>3</sup>, พีรพงษ์ เชาวณพงษ์<sup>4</sup> และ สุจิตตรา ปะนันโต<sup>5</sup>  
 Ratgon Suebkam<sup>1</sup>, Vidhaya Trelo-ges<sup>1,2\*</sup>, Supasit Konyai<sup>3</sup>, Peerapong Chouwanapong<sup>4</sup>  
 and Sujittra Pananto<sup>5</sup>

**บทคัดย่อ:** ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอันดับ 1 ของโลก สามารถสร้างมูลค่าการส่งออกเฉลี่ยปีละ 1,000 ล้านบาท ในทางตรงกันข้ามพบว่าเกษตรกรสามารถขายผลผลิตได้กำไรเฉลี่ยไร่ละ 400 – 500 บาท ซึ่งเป็นรายได้ที่อยู่ในระดับต่ำมีสาเหตุมาจากต้นทุนปัจจัยการผลิตที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการศึกษากาบน้ำและปุ๋ยที่เหมาะสมบนชุดดินรังสิตในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน และเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้เกษตรกรลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตได้เป็นอย่างดี การศึกษานี้วางแผนการทดลองเป็นแบบสปลิทพลอต สุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ 1) ให้น้ำชลประทาน 40% ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (ADC) 2) 60% ADC และ 3) 80% ADC ร่วมกับปัจจัยรอง 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ใส่ปุ๋ยอัตรา 15-5-5 kg rai<sup>-1</sup> (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) 3) ใส่ปุ๋ยอัตรา 7.5-2.5-2.5 และ 4) ใส่ปุ๋ยอัตรา 7.5-7.5-7.5 kg rai<sup>-1</sup> จากผลการทดลอง พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างเมื่อมีการให้น้ำชลประทาน 40% ร่วมกับใส่ปุ๋ยอัตรา 15-5-5 kg rai<sup>-1</sup> ทำให้น้ำหนักฝัก, ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชและประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานของพืชเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละตำรับการทดลองซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติขณะที่ปริมาณรอยเท้าน้ำสีเขียว สิ้นน้ำเงินและปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละตำรับการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การผลิตข้าวโพดฝักอ่อน, ปริมาณน้ำลดลง, รอยเท้าน้ำ, การใส่ปุ๋ย

<sup>1</sup> ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002  
 Department of Plant Science and Agriculture resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University 40002

<sup>2</sup> นักวิจัย ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002  
 Researcher, Ground water research center, Faculty of Technology, Khon Kaen University 40002

<sup>3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002  
 Department of Agriculture Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

<sup>4</sup> นักวิจัย กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
 Researcher, Department of Agriculture, Cha-tuchak, Bangkok, 10900

<sup>5</sup> นักวิจัย กรมพัฒนาที่ดิน เขต 5 จ.ขอนแก่น 40002 Researcher, Land Development Department, Khon Kaen, 40002

\* Corresponding author: vidtre@kku.ac.th

**ABSTRACT:** Baby corn (*Zea mays L.*) is one of the most significant and lucrative crops grown in Thailand. Moreover, Thailand has exported the largest amount of baby corns in the world. The average export income is 1,000 million baht each year; whereas farmers earn average profits of between 400 and 500 baht per rai for baby corn cultivation. Such income levels were lower than expected due to increases in production factors. The purpose of this study was to evaluate the appropriate irrigation and fertilizer usage on Rangsit soil series in order to create higher yields for baby corn production. The experiment design was split plots in randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of three main plots: 1) 40% allowable depletion content (ADC), 2) 60% ADC, and 3) 80% ADC. These were in combination with four sub plots: 1) no fertilization, 2) 15-5-5 kg rai<sup>-1</sup> (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), 3) 7.5-2.5-2.5 kg rai<sup>-1</sup>, and 4) 7.5-7.5-7.5 kg rai<sup>-1</sup>. The results found that 40% ADC irrigation in combination with 15-5-5 kg/rai fertilizer application yielded the highest pod weight, water use efficiency, and irrigation water use efficiency when compared with those of other treatments; however, these were not statistically significant. For water footprint, the amounts of green, blue and total water footprints were the lowest when compared with those of other treatments; these were statistically significant.

**Keywords:** baby corn production, deficit water, water footprint, fertilizer utilization

## บทนำ

ข้าวโพดฝักอ่อน (Baby corn, *Zea mays L.*) เป็นพืชเศรษฐกิจหนึ่งของประเทศไทยที่มีศักยภาพในการส่งออก โดยร้อยละ 60 ใช้บริโภคภายในประเทศ ส่วนที่เหลือส่งออกต่างประเทศสามารถสร้างมูลค่าการส่งออกเฉลี่ยปีละ 1,000 ล้านบาท ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอันดับ 1 ของโลก มีส่วนแบ่งการตลาดประมาณร้อยละ 35 ของโลก ส่งออกในรูปแบบของข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุกระป๋อง ร้อยละ 98 ส่วนที่เหลือส่งออกในรูปแบบข้าวโพดฝักอ่อนสดแช่แข็ง โดยตลาดส่งออกส่วนใหญ่ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และญี่ปุ่น แม้ความสามารถในการส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนของไทยจะอยู่ในอันดับ 1 แต่เกษตรกรผู้ผลิตยังคงได้รับผลตอบแทนค่อนข้างต่ำ ตลอดในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เกษตรกรขายผลผลิตได้กำไรเฉลี่ยกิโลกรัมละ 2.50 - 3.00 บาท ขณะที่ต้นทุนการผลิตเฉลี่ยกิโลกรัมละ 3 - 4 บาท และมีต้นทุนเพิ่มขึ้นจากราคาปัจจัยการผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยคิดเป็นผลตอบแทนประมาณร้อยละ 400 - 500 บาท ซึ่งเป็นรายได้ที่อยู่ในระดับต่ำสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 1,200-1,500 กิโลกรัม ขณะที่ผลผลิตที่ทำให้เกษตรกรอยู่ได้โดยไม่ขาดทุน ประมาณร้อยละ 2,000 - 2,500 กิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผลิตของเกษตรกรค่อนข้างต่ำ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

และลดต้นทุนการผลิต จำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ย และการให้น้ำชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งมีส่วนสำคัญที่จะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (ดิเรก และคณะ, 2542) ประกอบกับต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช เพื่อจัดการให้น้ำให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยคำนึงถึงช่วงเวลาการให้น้ำ และการควบคุมปริมาณน้ำที่ให้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (รักศักดิ์ และคณะ, 2555) และตัวชี้วัดหนึ่งที่ใช้เป็นตัวประเมินความต้องการน้ำในการผลิตพืช คือ รอยเท้าน้ำ (Water footprint) คือ ตัวชี้วัดความต้องการน้ำในการผลิตพืชหรือผลิตสินค้าทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณจากผลรวมปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตผลในกระบวนการผลิตพืชและสินค้า เพราะทรัพยากรน้ำตามธรรมชาติมีน้อยกว่าความต้องการใช้ปริมาณน้ำเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของประชากรโลก ดังนั้นจึงต้องเริ่มจากภาคเกษตรที่จะต้องปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์โดยมีการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด (ชินานิปกรณ์ และอำรงรัตน์, 2554) Kongboon and Sampattagul (2012) ได้ทำการศึกษารอยเท้าน้ำของอ้อยและมันสำปะหลังในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่ามันสำปะหลังมีรอยเท้าน้ำเฉลี่ย 509 l/kg มากกว่าอ้อยที่มีรอยเท้าน้ำเฉลี่ย 202 l/kg ซึ่งรอยเท้าน้ำจะมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศในพื้นที่เพาะปลูกด้วย พวงเล็ก และนงลักษณ์ (2543) ได้ทำการศึกษาพบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนมีการ

ดูดีใช้ธาตุไนโตรเจนสูงสุด รองลงมาเป็นโพแทสเซียม ส่วนฟอสฟอรัสจะถูกนำไปใช้ในปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ลักษณะดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนควรเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดี หน้าดินลึก 25-30 เซนติเมตร มี pH อยู่ในช่วง 5.5-6.8 อินทรีย์วัตถุไม่น้อยกว่า 1.5% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 10 mg kg<sup>-1</sup> และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 40 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นพืชที่ใช้ระยะเวลาในการปลูกค่อนข้างสั้น ตั้งแต่วันปลูกจนถึงวันเก็บฝักอ่อนหมดจะใช้เวลาไม่เกิน 60 วัน และหากพื้นที่เพาะปลูกนั้นอยู่ในเขตพื้นที่ชลประทานจะสามารถปลูกข้าวโพดฝักอ่อนได้ 4-5 ครั้ง หมุนเวียนติดต่อกันตลอดทั้งปีจากผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช (Water use efficiency) และรอยเท้าน้ำ (Water footprint) ร่วมกับอัตราการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน เพื่อหาอัตราการให้น้ำและปุ๋ยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนบนชุดดินรังสิตและเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี

### วิธีการทดลอง

#### 1. สภาพพื้นที่ศึกษา

การศึกษาค้นคว้านี้ทำในพื้นที่แปลงเกษตรกรรมหมู่บ้านหนองสามวัง ตำบลหนองสามวัง อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่ละติจูด 14°11' N และลองติจูด 100° 53' E ขนาดพื้นที่ศึกษา 1 ไร่ มีลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบ น้ำท่วมถึงและมีความสูงเฉลี่ยจากระดับน้ำทะเล 4 เมตร ชุดดินที่พบในพื้นที่เป็นชุดดินรังสิต (Rang sit series, Very-fine, mixed, semiactive, acid, isohyperthermic Sulfic Endoaquepts) ซึ่งดินชั้นบนเป็นดินเหนียวและดินล่างเป็นดินร่วนปนเหนียว การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2557) และจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินก่อนทำการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณการให้น้ำและอัตราการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดังแสดงใน Tables 1 and 2

**Table 1** Average of some soil physical properties of Rang-sit soil series from 2 years. (2011 and 2012)

| Soil depth (cm)             | Soil texture | Bulk density (g cm <sup>-3</sup> ) | Hydraulic conductivity (cm hr <sup>-1</sup> ) | Soil moisture (%) | FC <sup>1/</sup> (mm) | PWP <sup>2/</sup> (mm) | AWC <sup>3/</sup> (mm) |
|-----------------------------|--------------|------------------------------------|---|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| (Rang sit soil series : Rs) |              |                                    |   |                   |                       |                        |                        |
| 0-15                        | Clay         | 1.19                               | 0.020   | 33.51             | 71.96                 | 61.25                  | 10.71                  |
| 15-30                       | Clay loam    | 1.19                               | 0.004   | 38.35             | 75.90                 | 66.23                  | 9.67                   |
| 30-45                       | Clay loam    | 1.22                               | 0.004   | 34.58             | 77.16                 | 66.39                  | 10.77                  |
| 45-60                       | Clay loam    | 1.33                               | 0.002   | 38.21             | 78.26                 | 71.51                  | 6.75                   |

<sup>1/</sup> Field capacity, FC <sup>2/</sup> Permanent wilting point, PWP <sup>3/</sup> Available water content, AWC

**Table 2** Average of some soil chemical properties of Rang-sit soil series from 2 years. (2011 and 2012)

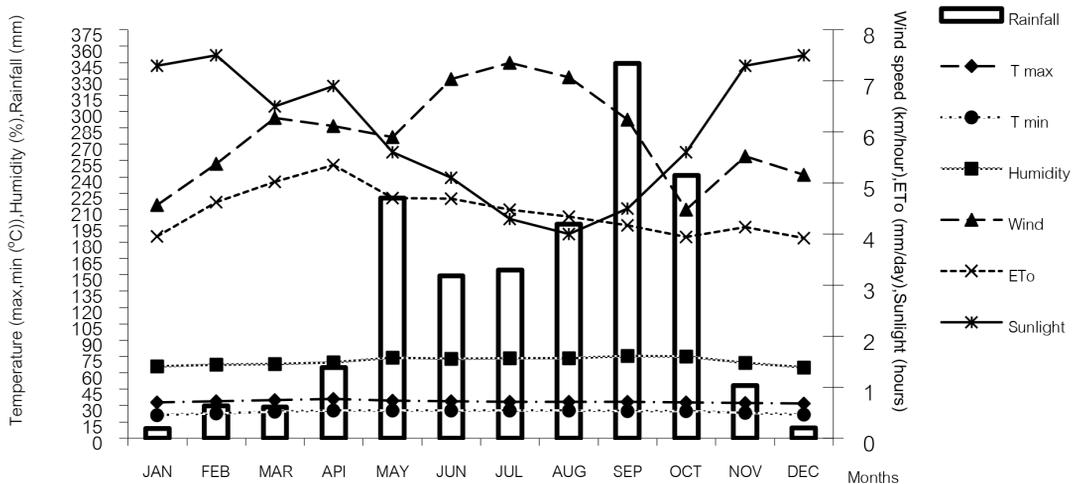
| (Rang sit soil series : | Soil depth (cm) | pH (1:1) | LR <sup>1/</sup> (kg rai <sup>-1</sup> ) | EC <sup>2/</sup> (1:1) (ms cm <sup>-1</sup> ) | OM <sup>3/</sup> (%) | Avai. P <sup>4/</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) | Exch. K <sup>5/</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) | Exch.Ca <sup>6/</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) | Exch.Mg <sup>7/</sup> (mg kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|-----------------|----------|--|---|----------------------|--|--|--|--|
| Rs)                     | 0-15            | 4.19     | 934                                      | 0.10  | 2.42                 | 70.1   | 339.4  | 1,542  | 405.3  |
|                         | 15-30           | 4.02     | 1,054                                    | 0.11  | 1.75                 | 36.8   | 314.8  | 1,029  | 380.8  |
|                         | 30-45           | 4.00     | 1,090                                    | 0.11  | 2.18                 | 7.2  | 349  | 673.8  | 313.6  |
|                         | 45-60           | 3.87     | 1,072                                    | 0.16  | 1.60                 | 3.4  | 270.7  | 634.2  | 415.2  |

<sup>1/</sup> Lime requirement, LR <sup>2/</sup> Electrical conductivity, EC <sup>3/</sup> Organic matter, OM <sup>4/</sup> Available phosphorus, Avai.P <sup>5/</sup> Exchangeable potassium, Exch.K <sup>6/</sup> Exchangeable calcium, Exch.Ca <sup>7/</sup> Exchangeable magnesium, Exch. Ca

**2. สภาพภูมิอากาศ**

สภาพภูมิอากาศพื้นที่ศึกษาเป็นแบบทุ่งหญ้าเมืองร้อน (Tropical Savannah climate) ที่มีฤดูแล้งและฤดูฝนแตกต่างกันอย่างชัดเจน ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนพฤษภาคม ฝนตกชุกกลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนมกราคมของปีถัดไป Figure 1 แสดงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ทำการทดลองย้อนหลัง

30 ปี ได้แก่ การคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference plants evapo-transpiration, ET<sub>o</sub>) (mm day<sup>-1</sup>) อุณหภูมิสูงสุด (Maximum temperature, T max) (°C) อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum temperature, T min) (°C) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (Average Relative Humidity) (%) ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตร (Wind) (km hour<sup>-1</sup>) และชั่วโมงที่มีแสงแดดต่อวัน (Sun light) (hours) และปริมาณฝนตก (Rain fall) (mm) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2555)



**Figure 1** Weather data 30 years (1980 to 2010) of Pathum-Thani province.

### 3. แผนการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบสปลิตพล็อต (Split plot design) เมื่อจัดปัจจัยหลัก (Main plots) เป็นแบบสุ่มภายในบล็อกผสมบูรณ์ (Randomized complete block design) ทำ 3 ซ้ำ (Replications) ประกอบด้วยปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ได้แก่ 1. ให้น้ำชลประทาน 40% ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Allowable Depletion Content, ADC) (M1) 2. ให้น้ำชลประทาน 60% ADC (M2) 3. ให้น้ำชลประทาน 80% ADC (M3) โดยให้น้ำชลประทานแบบหยดในอัตราการไหลเท่ากับ  $380 \text{ L hour}^{-1}$  ร่วมกับปัจจัยรอง (Sub plots) 4 ปัจจัย ได้แก่ 1. ไม่ใส่ปุ๋ย Control (S1) 2. ใส่ปุ๋ยอัตรา  $15-5-5 \text{ kg rai}^{-1}$  ( $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ ) (S2) 3. ใส่ปุ๋ยอัตรา  $7.5-2.5-2.5 \text{ kg rai}^{-1}$  (S3) และ 4. ใส่ปุ๋ยอัตรา  $7.5-7.5-7.5 \text{ kg rai}^{-1}$  (S4) ในแต่ละแปลงย่อยมีขนาดพื้นที่  $4 \times 5$  เมตร จำนวน 36 แปลง (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

### 4. วิธีการคำนวณการให้น้ำของพืช

ทำการคำนวณหาค่าการคายน้ำของพืชอ้างอิง (Reference plants evapotranspiration,  $ET_o$ ) ตามรูปแบบสมการ Penman-Monteith (Allen et al., 1998) ดัง Equation 1

$$ET_o = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma 900 / (T + 273) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad \text{Equation 1}$$

$ET_o$  = การคายน้ำของพืชอ้างอิง ( $\text{mm day}^{-1}$ ),  $R_n$  = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $G$  = ค่าการไหลของความร้อนพื้นดิน ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $T$  = อุณหภูมิเฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Delta$  = ค่าความลาดเทของเส้นแรงดันไอ ( $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $\gamma$  = ค่าคงที่ของ psychrometric ( $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $U_2$  = ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $(e_s - e_a)$  = ค่าความต่างของแรงดันไอน้ำ (KPa), จากนั้นนำค่าการคายน้ำของพืชอ้างอิงที่ได้มาทำการคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในแต่ละชนิด (Crop coefficient,  $K_c$ ) ที่ตรวจวัดได้จากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter Tank) ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ในแต่ละชนิดของกรมชลประทาน (กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน, 2553) ประกอบกับเมื่อพืชเกิดสภาวะการขาดน้ำที่เป็นประโยชน์ในดินสามารถคำนวณการคายน้ำของพืชแท้จริงได้จาก Equations 2 and 3

$$ET_c (\text{Crop evapo-transpiration, mm/day}) = K_s \times K_c \times ET_o \quad \text{Equation 2}$$

$ET_c$  = การคายระเหยน้ำของพืช,  $K_s$  = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชลดลงคำนวณได้จาก Equation 3,  $K_c$  = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช  $ET_o$  = การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง ( $\text{mm day}^{-1}$ )

$$K_s = \frac{TAW - Dr}{(1-p) TAW} \quad \text{Equation 3}$$

$Dr$  = ความสูงของน้ำในเขตรากพืชที่ใช้ได้หมด (mm)  
 $TAW$  = ความสูงของน้ำที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดในเขตรากพืช (mm)  
 $p$  = สัดส่วนความสูงของน้ำที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดในเขตรากพืชที่ปราศจากสภาวะการขาดน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.50 (Allen et al., 1998)

### 5. รอยเท้าน้ำของพืช (Water footprint)

Kongboon and Sampattagul (2012) กล่าวว่ารอยเท้าน้ำในภาคการเกษตร (Water footprint) สามารถแยกออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1. รอยเท้าน้ำสีเขียว (Green Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการคายน้ำของพืช และสูญเสียไปกับการระเหยน้ำจากผิวดินที่ทำการเพาะปลูกสามารถคำนวณได้ดัง Equation 4 (Babel et al., 2011)

$$CWU_{\text{green}} = 10 \times \sum_{d=1}^{Lgp} ET_{\text{green}} \quad \text{Equation 4}$$

$CWU_{\text{green}}$  = Crop water use green มีหน่วยเป็น ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), 10 = ค่า factor ในการแปลงค่า  $ET_{\text{green}}$  หน่วย  $\text{mm day}^{-1}$  ไปเป็นหน่วย  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ,  $ET_{\text{green}}$  = (Evapo-transpiration ( $\text{mm day}^{-1}$ ),  $Lgp$  = ช่วงระยะที่พืชเจริญเติบโต (day) (Length of growing period in days) และ  $d$  = วันแรกของการปลูกพืช จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหารอยเท้าน้ำสีเขียวได้ดัง Equation 5

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad \text{Equation 5}$$

$WF_{green}$  = รอยเท้าน้ำสีเขียว (Green Water Footprint) ( $m^3 ton^{-1}$  หรือ  $L kg^{-1}$ ),  $Y$  = ผลผลิตน้ำหนัสดของพืช ( $ton ha^{-1}$ )

2. รอยเท้าน้ำสีฟ้า (Blue Water Footprint) คือ ปริมาณน้ำจากแหล่งธรรมชาติที่แหล่งน้ำผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำ, ทะเลสาบรวมทั้งน้ำในอ่างเก็บน้ำต่างๆ ตลอดจนแหล่งน้ำใต้ดินที่ใช้ในการผลิตพืชหรือเลี้ยงสัตว์ (ซินาธิปรกรณ์และธำรงรัตน์, 2554) Babel et al. (2011) รอยเท้าน้ำสีฟ้าคำนวณได้ดัง Equation 6

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{I_{gp}} I_{blue} \quad \text{Equation 6}$$

$CWU_{blue}$  = Crop water use blue มีหน่วยเป็น ( $m^3 ha^{-1}$ ), 10 = ค่า factor ในการแปลงค่า  $I_{blue}$  หน่วย  $mm day^{-1}$  ไปเป็นหน่วย  $m^3 ha^{-1}$ ,  $I_{blue}$  = irrigation requirement ( $mm day^{-1}$ ),  $I_{gp}$  = ช่วงระยะเวลาที่พืชเจริญเติบโต (Length of growing period in days) และ  $d$  = วันแรกของการปลูกพืชจากนั้นนำมาคำนวณหา Blue Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีฟ้า) ดัง Equation 7

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad \text{Equation 7}$$

$WF_{blue}$  = รอยเท้าน้ำสีฟ้า (Blue Water Footprint) ( $m^3 ton^{-1}$  หรือ  $L kg^{-1}$ ),  $Y$  = ผลผลิตน้ำหนัสดของพืช ( $ton ha^{-1}$ )

3. รอยเท้าน้ำสีเทา (Grey Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ไปทำการเจือจางน้ำเสียจากการผลิตพืชหรือเลี้ยงสัตว์ให้เป็นน้ำที่สามารถบริโภคและอุปโภคได้ในที่นี้คำนึงถึงปริมาณไนเตรทที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (ซินาธิปรกรณ์ และธำรงรัตน์, 2554) สามารถคำนวณได้ดัง Equation 8

$$WF_{grey} = \frac{(\alpha \times apply)/(C_{max}-C_{nat})}{Y} \quad \text{Equation 8}$$

$WF_{grey}$  = รอยเท้าน้ำสีเทา (Grey Water Footprint) ( $m^3 ton^{-1}$  หรือ  $L kg^{-1}$ ),  $\alpha$  = สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนสูญเสียไปกับการไหลบ่าของน้ำผิวดินโดยมีค่าเป็น 10%

ของปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมด (Chapagain et al., 2006)  $apply$  = อัตราการใส่ปุ๋ยเคมี ( $kg ha^{-1}$ ),  $C_{max}$  = มาตรฐานของน้ำดื่มที่ให้มีไนเตรทปนเปื้อนได้ไม่เกิน  $50 mg L^{-1}$  (Hoekstra and Hung., 2005) สามารถเปลี่ยนหน่วยเป็น  $kg m^{-3}$  โดยนำ 1000 ไปหาร (Chapagain et al., 2006),  $C_{nat}$  = การปนเปื้อนของไนเตรทในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.3 mg L^{-1}$  (เปี่ยมศักดิ์, 2539) และ  $Y$  = น้ำหนัสดผลผลิตของพืช ( $ton ha^{-1}$ ) จากนั้นนำ Equations 5, 7 and 8 มาบวกกันจะได้ดัง Equation 9

$$WF_{process} = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{grey} \quad \text{Equation 9}$$

$WF_{process}$  = ปริมาณของรอยเท้าน้ำในช่วงที่พืชเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยว ( $m^3 ton^{-1}$  หรือ  $L kg^{-1}$ ),  $WF_{blue}$  = รอยเท้าน้ำสีฟ้า (Blue Water Footprint) ( $m^3 ton^{-1}$ ),  $WF_{green}$  = รอยเท้าน้ำสีเขียว (Green Water Footprint) ( $m^3 ton^{-1}$ ) และ  $WF_{grey}$  = รอยเท้าน้ำสีเทา (Grey Water Footprint) ( $m^3 ton^{-1}$ ) (Kongboon and Sampattagul, 2012)

## 6. การเก็บข้อมูล

ทำปลูกข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์ผสม SG 17 ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2555 และในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2556 ระยะปลูก  $50 \times 50 cm^2$  จำนวน 2 ต้น/หลุม และทำการเก็บเกี่ยวในพื้นที่  $3 \times 3 m^2$  ทำการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 รองกันหลุม และครั้งที่ 2 เมื่อข้าวโพดเมื่ออายุ 20-25 วัน จากนั้นทำการวัดความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อน (cm), น้ำหนักฝัก ( $kg 9m^{-2}$ ), ความยาวฝัก (cm), จำนวนฝัก ( $pods 9m^{-2}$ ), Payero et al. (2009) ประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวโพดฝักอ่อน ( $kg m^{-3}$ ) (Water use efficiency, WUE) สามารถคำนวณได้ดัง Equation 10

$$WUE = \frac{Y}{ETc} \quad \text{Equation 10}$$

$Y$  = ผลผลิต ( $g m^{-2}$ ) และ  $ETc$  = ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช (mm) และประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานของข้าวโพดฝักอ่อน ( $kg m^{-3}$ ) (Irrigation water use efficiency, IWUE) สามารถคำนวณได้ดัง Equation 11

$$IWUE = \frac{Y}{I} \quad \text{Equation 11}$$

$Y$  = ผลผลิต ( $g\ m^{-2}$ ) และ  $I$  = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (mm) แล้วนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี (Duncan's multiple rank test, DMRT) โดยใช้โปรแกรม MSTAT-C ในการวิเคราะห์ข้อมูล (M stat C, 1989)

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 1 ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน

จากการศึกษาพบว่าเมื่อมีการให้ตำรับการทดลองปัจจัยหลัก (Main plots) ในข้าวโพดฝักอ่อนโดยมีการให้น้ำ 40% ADC (M1) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของความสูงของข้าวโพดฝักอ่อน, น้ำหนักฝัก, ความยาวฝัก, ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชและประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานของพืชเท่ากับ 188.75 (cm), 6.97 ( $kg\ 9m^{-2}$ ), 9.6 (cm), 3.26 ( $kg\ m^{-3}$ ) และ 3.44 ( $kg\ m^{-3}$ ) ตามลำดับ ขณะที่ตำรับการทดลองเมื่อมีการให้น้ำ 60% ADC (M2) มีค่าเฉลี่ย 180.61(cm), 6.78 ( $kg\ 9m^{-2}$ ), 9.5 (cm), 3.19 ( $kg\ m^{-3}$ ) และ 3.09 ( $kg\ m^{-3}$ ) ตามลำดับ ตลอดจนการให้น้ำ 80% ADC (M3) มีค่าเฉลี่ย 184.37(cm), 6.13 ( $kg\ 9m^{-2}$ ), 9.2 (cm), 2.54 ( $kg\ m^{-3}$ ) และ 3.84 ( $kg\ m^{-3}$ ) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของปัจจัยหลัก ( $P > 0.05$ ) ในขณะที่เมื่อมีการให้น้ำ 80% ADC (M3) มีค่าเฉลี่ยของจำนวนฝัก, เท่ากับ 115 (pods  $9m^{-2}$ ) และค่าเฉลี่ยตำรับการทดลองที่มีการให้น้ำ 40% ADC (M1) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 114 (pods  $9m^{-2}$ ) ตลอดจนการให้น้ำ 60% ADC (M2) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 113 (pods  $9m^{-2}$ ) ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาของ Aydingsakir et. al. (2013) ได้ทำการปลูกข้าวโพดหวานบนเนื้อดินร่วนปนเหนียว พบว่าเมื่อข้าวโพดหวานขาดน้ำจะทำให้ความสูง, เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก, ความยาวฝักและน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$  และ  $P < 0.05$ ) ยกเว้นจำนวนฝัก

ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ตามลำดับในตำรับการทดลองที่ได้รับอิทธิพลของปัจจัยรอง (Sub plots) ที่มีผลต่อผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อน พบว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ย 15-5-5  $kg\ rai^{-1}$  (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) (S2) มีค่าเฉลี่ยของความสูงของข้าวโพดฝักอ่อน, น้ำหนักฝัก, ความยาวฝัก, จำนวนฝัก, ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชและประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานของพืชมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 192.61 (cm), 7.94 ( $kg\ 9m^{-2}$ ), 9.6 (cm), 132 (pods  $9m^{-2}$ ), 3.59 ( $kg\ m^{-3}$ ) และ 3.82 ( $kg\ m^{-3}$ ) ตามลำดับ มากกว่าการใส่ปุ๋ย 7.5-7.5-7.5  $kg\ rai^{-1}$  (S4) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 188.82 (cm), 7.76 ( $kg\ 9m^{-2}$ ), 9.6 (cm), 127 (pods  $9m^{-2}$ ), 3.50 ( $kg\ m^{-3}$ ) และ 3.84 ( $kg\ m^{-3}$ ) ตามลำดับ รองลงมาใส่ปุ๋ย 7.5-2.5-2.5  $kg\ rai^{-1}$  (S3) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 179.20 (cm), 6.28 ( $kg\ 9m^{-2}$ ), 9.3 (cm), 112 (pods  $9m^{-2}$ ), 2.84 ( $kg\ m^{-3}$ ) และ 2.99 ( $kg\ m^{-3}$ ) ตามลำดับและตำรับการทดลองไม่ใส่ปุ๋ย Control (S1) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 177.67 (cm), 4.53 ( $kg\ 9m^{-2}$ ), 9.2 (cm), 86 (pods  $9m^{-2}$ ), 2.06 ( $kg\ m^{-3}$ ) และ 2.16 ( $kg\ m^{-3}$ ) ตามลำดับ โดยความยาวฝักไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ในขณะที่ความสูงของข้าวโพดฝักอ่อนมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และน้ำหนักฝัก, จำนวนฝัก, ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชและประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานของพืชมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) สอดคล้องกับ Cela et al. (2011) ได้ทำการศึกษาอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 0, 50, 100, 150, 200 และ 300  $kg\ N\ ha^{-1}$  ในการผลิตข้าวโพดหวานในประเทศสเปนที่มีอากาศกึ่งแห้งแล้งแนะนำว่าควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 100  $kg\ N\ ha^{-1}$  เพื่อไม่ให้ผลผลิตลดลงตามหลักเศรษฐศาสตร์และลดการสูญเสียปุ๋ยได้เป็นอย่างดี ในส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักและปัจจัยรองพบว่า ความสูงของข้าวโพดฝักอ่อน, น้ำหนักฝัก, ความยาวฝัก, ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชและประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานของพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ยกเว้นจำนวนฝักมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 3

## 2. รอยเท้าน้ำของข้าวโพดฝักอ่อน

จากผลทดลองพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ของปัจจัยหลัก (Main plots) ในข้าวโพดฝักอ่อน กล่าวคือเมื่อมีการให้น้ำ 40 % ADC ทำให้ค่าเฉลี่ยของรอยเท้าน้ำสีเขียว สีฟ้า สีเทา และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเท่ากับ 490, 341, 15 และ 845 L kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ น้อยกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้รับการทดลองที่มีการให้น้ำ 60% ADC ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 606, 423, 21 และ 1,050 L kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ และการให้น้ำ 80% ADC มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 809, 482, 20 และ 1,313 L kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ ในขณะที่รอยเท้าน้ำสีเทาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) สอดคล้องกับ Jeswani and Azapagic (2011) ได้ทำการศึกษาค่าการใช้ในการปลูกข้าวโพดหวานทั่วโลกพบว่า มีรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 354-2,434 L kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ ในส่วนต่อการทดลองที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยรอง (Sub plots) พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) กล่าวคือ การไม่ใส่ปุ๋ย (Control) ทำให้ค่าเฉลี่ยรอยเท้าน้ำสีเขียว, สีน้ำเงิน และ

ปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดเท่ากับ 975, 621 และ 1,597 L kg<sup>-1</sup> มากกว่าการใส่ปุ๋ย 7.5-2.5-2.5 ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 636, 415 และ 1,075 L kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ รองลงมาได้แก่การใส่ปุ๋ย 15-5-5 kg rai<sup>-1</sup> ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 485, 321 และ 842 L kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ และการใส่ปุ๋ย 7.5-7.5-7.5 kg rai<sup>-1</sup> ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 444, 303 และ 763 L kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ ในขณะที่รอยเท้าน้ำสีเทาพบว่า เมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2 L kg<sup>-1</sup> น้อยกว่าการใส่ปุ๋ย 15-5-5 kg rai<sup>-1</sup> ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36 L kg<sup>-1</sup> รองลงมาเมื่อมีการใส่ปุ๋ย 7.5-2.5-2.5 kg rai<sup>-1</sup> ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23 L kg<sup>-1</sup> และมีการใส่ปุ๋ย 7.5-7.5-7.5 kg rai<sup>-1</sup> ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16 L kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ ( $P < 0.01$ ) ตลอดจนเมื่อทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักและปัจจัยรอง พบว่า รอยเท้าน้ำสีเขียว, สีน้ำเงิน และปริมาณรอยเท้าน้ำรวมทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) ยกเว้นรอยเท้าน้ำสีเทา ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 4

**Table 3** Yield components and water use efficiency of Baby corn production.

| Main plots                         | Sub plots<br>(N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O kg rai <sup>-1</sup> ) | Corn height<br>(cm)   | Pods weight<br>(kg 9m <sup>-2</sup> ) | Long pods (cm)     | Pods amount<br>(pods 9m <sup>-2</sup> ) | Water use efficiency<br>(kg m <sup>-3</sup> ) | Irrigation water use<br>efficiency (kg m <sup>-3</sup> ) |
|------------------------------------|--|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|---|---|--|
| 40% ADC                            | Control  | 187.80a               | 5.20a                                 | 9.2a               | 94de                                    | 2.45a   | 2.50a  |
|                                    | 15-5-5   | 190.93a               | 8.47a                                 | 9.6a               | 133a                                    | 3.96a   | 4.21a  |
|                                    | 7.5-2.5-2.5  | 183.35a               | 6.62a                                 | 9.6a               | 113bc                                   | 3.10a   | 3.26a  |
|                                    | 7.5-7.5-7.5  | 192.91a               | 7.60a                                 | 10.1a              | 114bc                                   | 3.54a   | 3.82a  |
|                                    | Mean   | 188.75A <sup>ns</sup> | 6.97A <sup>ns</sup>                   | 9.6A <sup>ns</sup> | 114A <sup>ns</sup>                      | 3.26A <sup>ns</sup>                           | 3.44A <sup>ns</sup>                                      |
| 60% ADC                            | Control  | 173.27a               | 4.87a                                 | 9.3a               | 89ef                                    | 2.27a   | 2.31a  |
|                                    | 15-5-5   | 192.18a               | 7.98a                                 | 9.9a               | 128ab                                   | 3.77a   | 3.56a  |
|                                    | 7.5-2.5-2.5  | 175.35a               | 6.35a                                 | 9.3a               | 108cd                                   | 2.99a   | 2.87a  |
|                                    | 7.5-7.5-7.5  | 192.18a               | 7.94a                                 | 9.4a               | 125ab                                   | 3.73a   | 3.62a  |
|                                    | Mean   | 180.61A               | 6.78A                                 | 9.5A               | 113A                                    | 3.19A   | 3.09A  |
| 80% ADC                            | Control  | 171.93a               | 3.52a                                 | 9.0a               | 77f                                     | 1.45a   | 1.66a  |
|                                    | 15-5-5   | 194.73a               | 7.39a                                 | 9.3a               | 134a                                    | 3.06a   | 3.69a  |
|                                    | 7.5-2.5-2.5  | 178.91a               | 5.87a                                 | 9.2a               | 114bc                                   | 2.43a   | 2.85a  |
|                                    | 7.5-7.5-7.5  | 191.89a               | 7.74a                                 | 9.5a               | 142a                                    | 3.22a   | 4.10a  |
|                                    | Mean   | 184.37A               | 6.13A                                 | 9.2A               | 115A                                    | 2.54A   | 3.07A  |
| Mean subplots                      | Control  | 177.67B*              | 4.53B**                               | 9.2A               | 86B**                                   | 2.06B**                                       | 2.16B**  |
|                                    | 15-5-5   | 192.61A               | 7.94A                                 | 9.6A               | 132A                                    | 3.59A   | 3.82A  |
|                                    | 7.5-2.5-2.5  | 179.20A               | 6.28A                                 | 9.3A               | 112A                                    | 2.84A   | 2.99AB   |
|                                    | 7.5-7.5-7.5  | 188.82A               | 7.76A                                 | 9.6A               | 127A                                    | 3.50A   | 3.84A  |
| Interaction main plots x sub plots |  | ns                    | ns                                    | ns                 | *                                       | ns  | ns   |
| % CV (main plots)                  |  | 4.56                  | 17.53                                 | 4.96               | 15.32                                   | 17.69   | 19.01  |
| % CV (sub plots)                   |  | 5.68                  | 10.62                                 | 4.00               | 7.94                                    | 10.46   | 12.87  |

Caution: ns = non significant (P>0.05), \* = significant at (P<0.05), \*\* = significant at (P<0.01) and Different letters indicated significant different by DMRT

Table 4 Green, blue, grey and total water footprint amount for Baby corn cultivation.

| Main plots                         | Sub plots<br>(N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O kg rai <sup>-1</sup> ) | Green water footprint<br>(L kg <sup>-1</sup> ) | Blue water footprint<br>(L kg <sup>-1</sup> ) | Grey water footprint<br>(L kg <sup>-1</sup> ) | Total water footprint<br>(L kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------------|--|--|---|---|--|
| 40% ADC                            | Control  | 721b   | 487b  | 1a  | 1,209b   |
|                                    | 15-5-5   | 362b   | 256b  | 27a   | 644b   |
|                                    | 7.5-2.5-2.5  | 490b   | 342b  | 18a   | 850b   |
|                                    | 7.5-7.5-7.5  | 386b   | 276b  | 14a   | 676b   |
|                                    | Mean   | 490B*  | 340B*   | 15A <sup>ns</sup>                             | 845B**   |
| 60% ADC                            | Control  | 657b   | 479b  | 2a  | 1,138b   |
|                                    | 15-5-5   | 565b   | 385b  | 41a   | 991b   |
|                                    | 7.5-2.5-2.5  | 661b   | 454b  | 24a   | 1,139b   |
|                                    | 7.5-7.5-7.5  | 541b   | 372b  | 20a   | 933b   |
|                                    | Mean   | 606A   | 423A  | 22A   | 1,050A   |
| 80% ADC                            | Control  | 1,547a   | 895a  | 3a  | 2,446a   |
|                                    | 15-5-5   | 529b   | 322b  | 39a   | 890b   |
|                                    | 7.5-2.5-2.5  | 757b   | 451b  | 28a   | 1,237b   |
|                                    | 7.5-7.5-7.5  | 404b   | 259b  | 15a   | 679b   |
|                                    | Mean   | 809A   | 482A  | 21A   | 1,313A   |
| Mean subplots                      | Control  | 975A**   | 621A**  | 2C**  | 1,597A**                                       |
|                                    | 15-5-5   | 485B   | 321B  | 36A   | 842B   |
|                                    | 7.5-2.5-2.5  | 636AB  | 416AB   | 23AB  | 1,075AB  |
|                                    | 7.5-7.5-7.5  | 444B   | 303B  | 16B   | 763B   |
| Interaction main plots x sub plots |  | **   | **  | ns  | **   |
| % CV (main plots)                  |  | 24.13  | 21.36   | 27.57   | 22.85  |
| % CV (sub plots)                   |  | 30.14  | 25.56   | 33.05   | 28.21  |

Caution: ns = non significant (P>0.05), \* = significant at (P<0.05), \*\* = significant at (P<0.01) and Different letters indicated significant different by DMRT

## สรุป

จากการศึกษาลักษณะทางการเกษตรต่างๆ ของข้าวโพดฝักอ่อน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ของปัจจัยหลัก (40% ADC, 60% ADC และ 80% ADC) เกือบทุกลักษณะที่ศึกษา ยกเว้น รอยแตงน้ำสีเขียวยและสีน้ำเงินที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ตลอดจนปริมาณรอยแตงน้ำรวมทั้งหมดที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P<0.01$ ) โดยพบว่าเมื่อมีการให้น้ำ 40% ADC มีรอยแตงน้ำสีเขียวย, สีน้ำเงิน, สีเทา และปริมาณรอยแตงน้ำรวมทั้งหมดน้อยกว่าการให้น้ำ 60% ADC และ 80% ADC ตามลำดับ ในส่วนของการใส่ปุ๋ยของปัจจัยรอง พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P<0.01$  และ  $P<0.05$ ) เกือบทุกลักษณะที่ศึกษา ยกเว้นความยาวฝักของข้าวโพดฝักอ่อนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยพบว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยในอัตรา 15-5-5 kg rai<sup>-1</sup> ( $N-P_2O_5-K_2O$ ) มีผลทำให้ความสูงของข้าวโพดฝักอ่อน, น้ำหนักฝัก, จำนวนฝัก, ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช และประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานของพืชมากกว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ย 7.5-7.5-7.5, 7.5-2.5-2.5 kg rai<sup>-1</sup> และควบคุมตามลำดับ ในขณะที่รอยแตงน้ำสีเขียวย, สีน้ำเงิน และรอยแตงน้ำรวมทั้งหมด เมื่อมีการใส่ปุ๋ย 7.5-7.5-7.5 kg rai<sup>-1</sup> มีรอยแตงน้ำน้อยกว่าการใส่ปุ๋ย 15-5-5, 7.5-2.5-2.5 kg rai<sup>-1</sup> และควบคุมตามลำดับ ตลอดจนรอยแตงสีเทาพบว่าเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยจะมีรอยแตงน้ำสีเทาน้อยกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 7.5-7.5-7.5, 7.5-2.5-2.5 และ 15-5-5 kg rai<sup>-1</sup> ตามลำดับ และเมื่อทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักและปัจจัยรองเกือบทุกลักษณะที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ยกเว้นจำนวนฝัก, รอยแตงน้ำสีเขียวย, สีน้ำเงิน และรอยแตงน้ำรวมทั้งหมดที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P<0.01$  และ  $P<0.05$ )

จากภาพรวมทุกลักษณะที่ศึกษา พบว่า เมื่อมีการให้น้ำ 40% ADC ร่วมกับการใส่ปุ๋ยในอัตรา 15-5-5 kg rai<sup>-1</sup> มีความเหมาะสมในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนบนชุดดินรังสิตมากที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลผลิตและปริมาณรอยแตงน้ำที่ได้รับอิทธิพลปัจจัยหลัก ร่วมกับปัจจัยรอง พบว่าน้ำหนักฝัก, ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช และประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานของพืชเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบแต่ละตำรับการทดลอง ขณะที่รอยแตงน้ำสีเขียวย, รอยแตงน้ำสีน้ำเงิน และปริมาณรอยแตงน้ำรวมทั้งหมดลดลงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) เมื่อเปรียบเทียบแต่ละตำรับการทดลองตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถใช้เป็นคำแนะนำในการให้น้ำและการใส่ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมในการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนบนชุดดินรังสิต ตลอดจนเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกรมวิชาการเกษตรที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ตลอดจนกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตรที่เชื้อเพื่อห้องปฏิบัติการทดลองในการศึกษาครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใส่ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2557. ลักษณะและสมบัติของชุดดินภาคกลาง. แหล่งข้อมูล: [http://www.ldd.go.th/thaisoils\\_museum/pf\\_desc/central/Rs.htm](http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/central/Rs.htm). ค้นเมื่อ 29 กรกฎาคม 2557.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2555. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายเดือนย้อนหลัง 30 ปีของจังหวัดปทุมธานี. กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศ.
- กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน. 2553. ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช 40 ชนิด. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ชินาธิปกรรณ์ พงศ์ปัญญาภาพ และอำรรรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 75: 41-52.

- ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นารี จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. 2542. การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำ. *เคหะการเกษตร*.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2539. แหล่งน้ำกับปัญหาหมอกพิษ. *จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ*.
- พงเล็ก โมรากุล และ นงลักษณ์ วิบูลสุข. 2543. การประเมินสมบัติทางเคมีของดินที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในจังหวัดราชบุรี. *ผลงานวิจัยฉบับเต็ม. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร*.
- รักศักดิ์ เสริมศักดิ์, บัญญัติ เศรษฐฐิติ, สมพงษ์ เจษฎารวมสถิต และกฤตภัทร คล้ายรัศมี. 2555. การจัดการระบบการให้น้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน. *การประชุมวิชาการครั้งที่ 50 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.
- สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. รายงานการวิจัยประสิทธิภาพการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน. *สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์*.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Guidelines for computing crop water requirement. *FAO Irrigation and Drainage Paper*.
- Aydinsakir K., S. Erdal, D. Buyuktas, R. Bastug, and R. Toker. 2013. The influence of regular deficit irrigation application in water use, yield and quality components of two corns (*Zea mays L.*) genotype. *Agriculture Water Management*. 128: 65-71.
- Babel, M. S, B. Shrestha, and S. R. Perret. 2011. Hydrological impact of biofuel production: A case study of the Khlong Phlo Watershed in Thailand. *Agriculture Water Management*. 101: 8-26.
- Cela S., F. Santiveri, and J. Lloveras. 2011. Optimum nitrogen fertilizer rates for second-years corn succeeding alfalfa under irrigation. *Field Crops Research*. 123: 109-116.
- Chapagain, A. K., A. Y. Hoekstra, H. H. G. Savenije, and R. Gautam. 2009. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*. 60: 186-203.
- Hoekstra, A. Y., and P. Q. Hung. 2005. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environment Change*. 15: 45-56.
- Jeswani H. K., and A. Azapagic. 2011. Water footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. *Journal of Cleaner Production*. 19: 1288-1299.
- Kongboon, R., and S. Sampattagul. 2012. The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. *Social and Behavioral Science*. 40: 451-460.
- M Stat, C., Freed, R.D., S.P. Eisensmith. 1989. *Crop and Soil Department, University Extension Services. University of Michigan, East Lansing, Michigan, USA*.
- Payero, J.O., D.D. Tarkalson, S. Irmak, D. Davision, and J.L. Peterson. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration yield, water use efficiency and dry mass. *Agriculture Water Management*. 96: 1387-1397.