Journal of Agricultural Research and Extension 43(1): 29-41

ผลของการให้ปุ๋ยในระบบน้ำต่อการเจริญเติบโต ปริมาณ และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีและนครราชสีมา

The Effects of Fertigation on Growth, Yield, and Seed Quality of Maize Grown in Suphan Buri and Nakhon Ratchasima Provinces

กิติพัฒน์ กิจเศรณี ยุพา จอมแก้ว และชูชาติ สันธทรัพย์*

Kitipat Kitsaranee, Yupa Chromkaew and Choochad Santasup*

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Department of Plant Science and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiangmai University, Chiang Mai, Thailand 50200

*Corresponding author: santasup@gmail.com

*ORCID iD: https://orcid.org/0009-0002-3624-5838

Received: *April 17, 2025*

Revised: *August 5, 2025*

Accepted: *October 30, 2025*

Abstract

A study on the effects of fertigation on growth, yield, and seed quality of maize was conducted in maize cultivation areas located in the Central region at U Thong district, Suphan Buri province, as well as in the Northeastern region at Soeng Sang district, Nakhon Ratchasima province. The objective was to compare the effects of different fertigation management practices on the growth, yield, and seed quality of forage maize. The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with four replications, consisting of three fertilizer management treatments: (1) chemical fertilizer application at rates commonly practiced by farmers for forage maize seed production (FRGM)—Suphan Buri: 37.50 kg N rai^{-1}, 14.50 kg P_2O_5 rai^{-1}, and 16.50 kg K_2O rai^{-1}; Nakhon Ratchasima: 40.75 kg N rai^{-1}, 17.75 kg P_2O_5 rai^{-1}, and 21.75 kg K_2O rai^{-1}; (2) chemical fertilizer application at recommended rates for forage maize seed production (SSFM)—23.00 kg N rai^{-1}, 7.80 kg P_2O_5 rai^{-1}, and 5.10 kg K_2O rai^{-1}; and (3) a control treatment without chemical fertilizer application. The results showed that fertilizer management according to treatment 2, which applied 23.00 kg N rai^{-1}, 7.80 kg P_2O_5 rai^{-1}, and 5.10 kg K_2O rai^{-1}, was sufficient to achieve good maize yield. Moreover, treatments 1 and 2 did not result in significant differences in plant height, dry matter accumulation, leaf greenness (SPAD value), macronutrient concentrations in leaves, yield quantity, or seed quality of forage maize at either location. The maize cultivated in Suphan Buri had an average yield ranging from 1.84 to 1.85 tons rai^{-1}, while maize grown in Nakhon Ratchasima had an average yield ranging from 1.02 to 1.12 tons rai^{-1} (grain moisture content < 30%). Therefore, fertilizer management according to treatment 2, which used lower fertilizer input, could maintain yield levels comparable to those under farmers' conventional practice without affecting the quality of forage maize seed.

Keywords: fertigation, yield and quality of maize, fertilizer management for maize

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการให้ปุ๋ยในระบบน้ำต่อการเจริญเติบโต ปริมาณ และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ ได้ดำเนินการในพื้นที่ปลูกข้าวโพดของเกษตรกรในเขตภาคกลาง ณ อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี และในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ณ อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของกรรมวิธีการจัดการปุ๋ยในระบบน้ำหยดที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ ศึกษาโดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน 3 กรรมวิธี คือ 1) การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่เกษตรกรปฏิบัติในการปลูกข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ (FRGM) (พื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี: 37.50 กก. N/ไร่ 14.50 กก. P_2O_5/ไร่ และ 16.50 กก. K_2O /ไร่ และพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา 40.75 กก. N/ไร่, 17.75 กก. P_2O_5/ไร่ และ 21.75 กก. K_2O /ไร่); 2) ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ (SSFM) (23.00 กก. N/ไร่, 7.80 กก. P_2O_5/ไร่ และ 5.10 กก. K_2O ไร่) และ 3) กรรมวิธีควบคุมโดยไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ผลการศึกษาพบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 คือ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 23.00 กก. N/ไร่ ฟอสฟอรัสในอัตรา 7.80 กก./ไร่ และการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 5.10 กก./ไร่ ก็เพียงพอต่อการผลิตข้าวโพดเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี ทั้งนี้ การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 และ 2 ไม่ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูง การสะสมน้ำหนักแห้ง ค่าความเขียวของใบ ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบ ปริมาณและคุณภาพผลผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์แตกต่างกันทั้ง 2 พื้นที่ โดยข้าวโพดที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.84-1.85 ตัน/ไร่ และข้าวโพดที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.02-1.12 ตัน/ไร่ (ความชื้นเมล็ดน้อยกว่า 30%) ดังนั้น การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ซึ่งใช้ปุ๋ยในอัตราที่ต่ำกว่าสามารถคงระดับผลผลิตที่ใกล้เคียงกับอัตราที่เกษตรกรใช้ ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยโดยไม่กระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์

คำสำคัญ: การจัดการปุ๋ยในระบบน้ำหยด ผลผลิตและคุณภาพเมล็ดข้าวโพด การจัดการปุ๋ยสำหรับข้าวโพด

บทนำ

ข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์เป็นอย่างมาก ในฤดูกาลเพาะปลูก พ.ศ. 2564/2565 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์ประมาณ 7.08 ล้านไร่ คิดเป็นปริมาณผลผลิต 4.96 ล้านตัน/ไร่ โดยภาคเหนือมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดและยังเป็นแหล่งปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์ที่มีศักยภาพสูง คิดเป็นร้อยละ 68.85 ของทั้งประเทศ (Office of Agricultural Economic, 2022) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันความต้องการใช้ข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ปริมาณผลผลิตภายในประเทศกลับมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นที่ให้ผลตอบแทนดีกว่า ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้ข้าวโพดอาหารสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ยังคงเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องส่งเสริมการผลิตข้าวโพดอาหารสัตว์ภายในประเทศเพิ่มขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ

การผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ในเชิงการค้านั้น การใส่ปุ๋ยข้าวโพดเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในการผลิตเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ ซึ่งต้องการเมล็ดที่มีคุณภาพสูง โดยทั่วไปแล้วผลผลิตข้าวโพด 1 ตัน/ไร่ ต้องการธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ประมาณ 26, 10 และ 21 กก./ไร่ ตามลำดับ (Wichmann, 1992) ในขณะที่ Department of Agriculture (2021) แนะนำให้ใส่ปุ๋ยเคมี

สูตร 16-16-8 หรือสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ รองก้นหลุมพร้อมปลูก และปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 อัตรา 30 กก./ไร่ โดยโรยข้างแถวหลังปลูก 20-25 วัน แล้วพรวนดิน จะเห็นได้ว่าคำแนะนำดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงความต้องการปุ๋ยของข้าวโพดและปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ซึ่งอาจทำให้เกิดการใช้ปุ๋ยไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จากการศึกษาของ Adhikari *et al*. (2016) ซึ่งทำการทดลองภาคสนามในพื้นที่ ณ ชิตวัน ประเทศเนปาล โดยใช้การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (RCBD) ทั้งหมด 4 ซ้ำ และใช้พันธุ์ข้าวโพดเจริญเติบโตเร็ว Arun-1 EV พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 46-0-0 อัตรา 24 กก./ไร่ โดยแบ่งใส่ 4 ครั้ง เมื่อต้นข้าวโพดอายุ 30, 45, 60 และ 75 วันหลังปลูก ก็เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดอาหารสัตว์ ในขณะที่ Li *et al.* (2023) ได้ศึกษาการปลูกข้าวโพดในพื้นที่กึ่งแห้งแล้งทางตะวันตกเฉียงเหนือของสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่าไนโตรเจนในอัตรา 28.80 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในอัตรา 19.20 และ 21.60 กก./ไร่ ส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหาร และปริมาณผลผลิตได้ดีที่สุด

นอกจากการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมแล้ว การจัดการน้ำที่เหมาะสมก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตพืช ระบบการผลิตข้าวโพดทั่วไปมีการให้น้ำแบบปล่อยตามร่องปลูก ซึ่งมีรายงานเกี่ยวกับการใช้น้ำว่า การให้น้ำแบบปล่อยตามร่องมีการใช้น้ำมากถึง 1,091 ลบ.ม./ไร่ (Morad *et al*., 2009) โดยประสิทธิภาพการใช้น้ำในชลประทานแบบน้ำหยดมีมากกว่าการปล่อยน้ำตามร่องปลูก ดังนั้น ในพื้นที่ที่มีปัญหาขาดแคลนน้ำ การใช้ระบบชลประทานแบบน้ำหยดจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นวิธีการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพในขอบเขตที่จำกัด (บริเวณโคนต้นพืช) และมีโอกาสสูญเสียน้ำน้อยมาก นอกจากนั้น การใช้ชลประทานแบบน้ำหยดยังสามารถให้ปุ๋ยไปพร้อมกับระบบชลประทานได้ (fertigation) จึงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใส่ปุ๋ย ลดการสูญเสียปุ๋ยเคมีสู่สิ่งแวดล้อมและควบคุมปริมาณปุ๋ยได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้พืชมีประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชดีขึ้น (Phanomtornitkul, 2000) จากการศึกษาของ Zarski and Kusmierek (2023) การใส่ปุ๋ยไปพร้อมกับระบบชลประทานน้ำหยดสามารถทำให้ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิตเพิ่มมากขึ้น 25% เมื่อเปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยทางดินร่วมกับการให้น้ำตามร่องปลูก และสามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น 85% เมื่อปลูกข้าวโพดในฤดูแล้ง สอดคล้องการกับศึกษาของ Lui *et al.* (2011) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยในระบบชลประทานน้ำหยดสำหรับการผลิตข้าวโพดที่สาธารณรัฐประชาชนจีน ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 12.7% เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยทางดิน ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ การใส่ปุ๋ยในระบบชลประทานน้ำหยดนอกจากจะช่วยให้ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้ข้าวโพดมีคุณภาพผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน โดย Bibe *et al.* (2017) พบว่าการใส่ปุ๋ยในระบบชลประทานน้ำหยดส่งผลให้ข้าวโพดมีจำนวนเมล็ดต่อฝักและน้ำหนักเมล็ดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยทางดิน จากการศึกษาของ Delbaz *et al.* (2023) การใส่ปุ๋ยไปพร้อมกับระบบชลประทานน้ำหยดในการผลิตพืชช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและการจัดการน้ำ 26% และ 51% เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยทางดิน นอกจากนั้นยังช่วยลดปริมาณการใส่ปุ๋ยในภาพรวมลง 25% โดยไม่ทำให้พืชที่ปลูกมีปริมาณผลผลิตลดลง

ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของกรรมวิธีการจัดการปุ๋ยในระบบน้ำหยดที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี และอำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษา: ดำเนินการปลูกข้าวโพดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 - เมษายน พ.ศ. 2565 จำนวน 2 พื้นที่ ได้แก่พื้นที่แปลงข้าวโพด ตำบลดอนคา อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พิกัดละติจูด 14.4278892 N ลองติจูด 99.8839556 E (ชุดดินตาคลี) และพื้นที่แปลงข้าวโพด

ตำบลกุดโบสถ์ อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พิกัดละติจูด 14.4813889 N ลองติจูด 102.5234722 E (ชุดดินโชคชัย) (Land Development Station, 2013) ก่อนเริ่มทำการทดลอง ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกข้าวโพดของเกษตรกร โดยเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม (composite sampling) ที่ความลึก 15 ซม. เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติดินโดยทำการวิเคราะห์ pH และค่าการนำไฟฟ้า (EC) โดยใช้ดินแห้งผ่านตะแกรง 2 มม. ผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:2.5 (ดิน:น้ำ) คนให้เข้ากันและพักไว้ 30 นาที จากนั้นวัดค่า pH และ EC จากสารละลายส่วนใสด้วยเครื่อง pH meter และ EC meter ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ใช้วิธี Walkley-Black โดยชั่งดินแห้งละเอียด 1 กรัม ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตและกรดซัลฟิวริกเข้มข้น และไทเทรตเพื่อตรวจวัดค่า OM (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (available K) ด้วยน้ำยาสกัด NH_4OAc 1 M pH 7 (Helmke and Sparks, 1996) ผลการศึกษาแสดงไว้ใน Table 1

Table 1 Soil properties in Suphan Buri province and Nakhon Ratchasima province

Soil properties	Location	
	Suphan Buri	Nakhon Ratchasima
pH	8.22	6.84
EC ($\mu S\ cm^{-1}$)	58.23	29.93
OM (%)	2.51	2.40
Total N (%)	0.13	0.12
Available P ($mg\ kg^{-1}$)	111.62	13.71
Available K ($mg\ kg^{-1}$)	513.00	201.49

ทำการวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 กรรมวิธีการทดลอง ได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำในการปลูกข้าวโพด (อัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ในพื้นที่) (Fertilizer Recommendation Rate for Growing Field Corn: FRGC) โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ($N:P_2O_5:K_2O$) ในอัตรา 37.50 : 14.50 : 16.50 กก./ไร่ ในพื้นที่อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี (Table 2) และในอัตรา 40.75 : 17.75 : 5.10 กก./ไร่ สำหรับพื้นที่อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา (Table 3) 2) ใส่ปุ๋ยแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (Site-Specific Fertilizer Management: SSFM) โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ($N:P_2O_5:K_2O$) ในอัตรา 23 : 7.80 : 5.10 กก./ไร่ โดยทั้ง 2 พื้นที่ใส่อัตราเท่ากัน (Table 4) และ 3) กรรมวิธีควบคุมไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (control) ดัง Figure 1 และ Figure 2

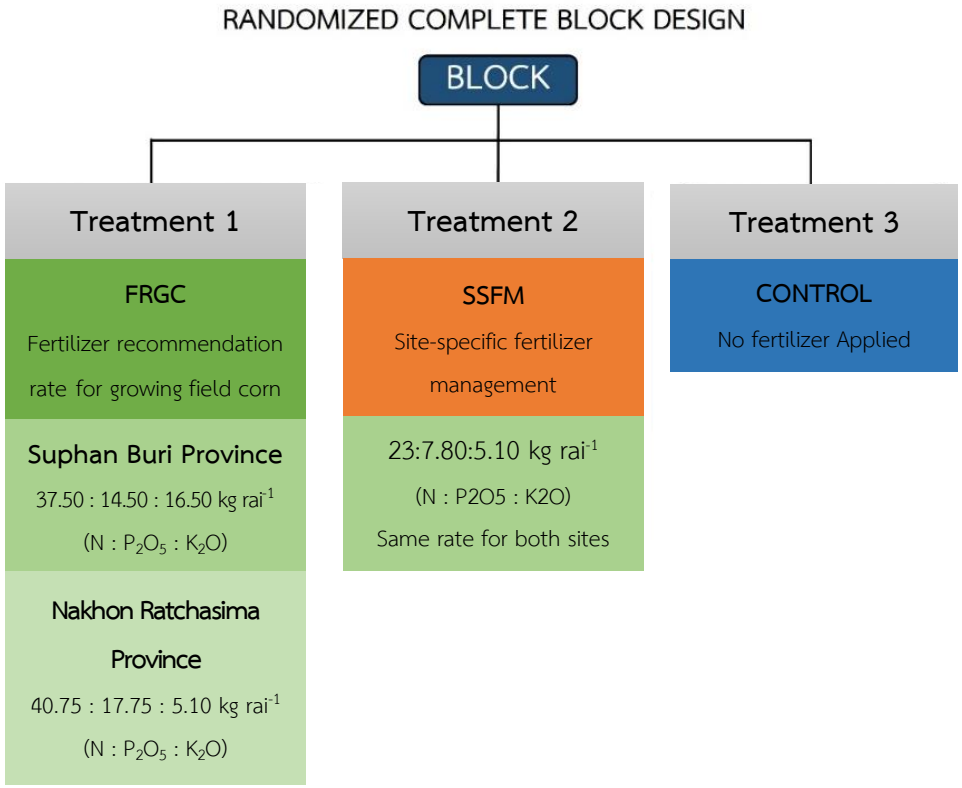


Figure 1 Randomized Complete Block Design: RCBD

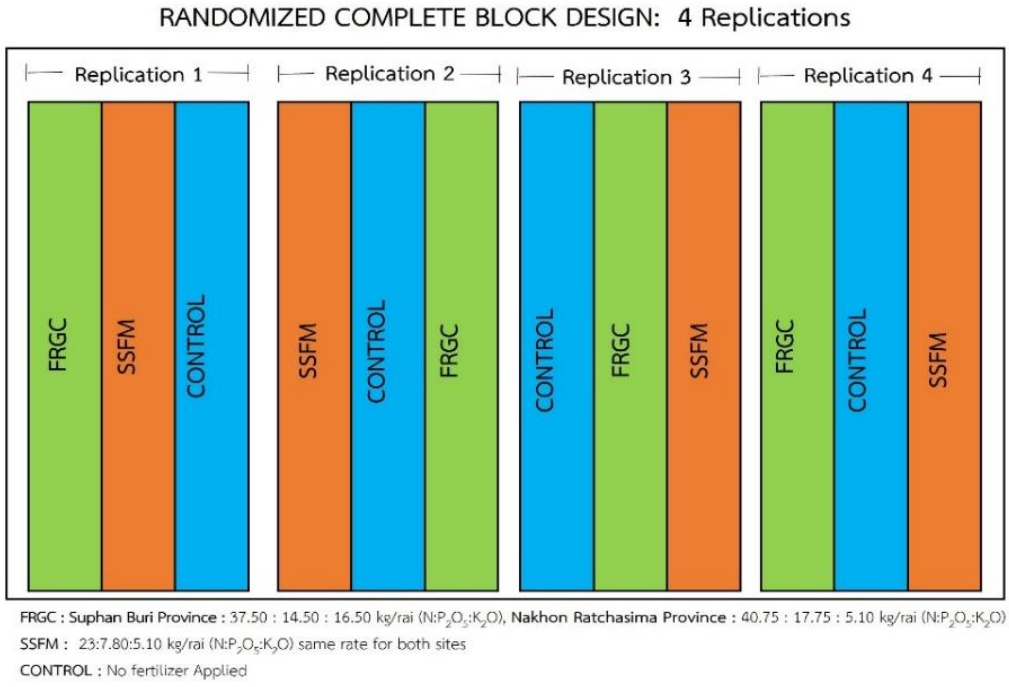


Figure 2 Randomized Complete Block Design: 4 Replications

Table 2 Fertilizer application program in treatment 1 (FRGM) in U Thong district, Suphan Buri province

Fertilizer grade	Fertilization rate at each growth stage (kg rai^{-1})			Rate (kg rai^{-1})
	0 DAP[1]	25 DAP	40 DAP	
15-15-15	50[2]	25[3]	-	75
46-0-0[3]	-	25	25	50
13-13-21[3]	-	-	25	25

[1]DAP = Day After Planting; [2]basal dressings, [3]fertigation

Table 3 Fertilizer application program in treatment 1 (FRGM) in Seingsang district, Nakhon Ratchasima province

Fertilizer grade	Fertilization rate at each growth stage (kg rai^{-1})						Rate (kg rai^{-1})
	0 DAP[1]	10 DAP	20 DAP	30 DAP	55 DAP	70 DAP	
15-15-15	30[2]	25[3]	20[3]	-	-	-	75
46-0-0[3]	-	-	10	40	-	-	50
13-13-21[3]	-	-	-	-	25	25	50

[1]DAP = Day After Planting; [2]basal dressings, [3]fertigation

Table 4 Fertigation application program in treatment 2 (SSFM)

Fertilization period (DAP)	Fertilization rate (kg rai^{-1})	
	46-0-0	0-52-34
0	-	-
7	2.61	0.58
14	2.61	0.58
21	3.26	0.96
28	4.35	0.96
35	4.78	1.92
42	5.22	2.88
49	6.09	1.54

Table 4 (Continued)

Fertilization period	Fertilization rate (kg rai^{-1})	
(DAP)	46-0-0	0-52-34
56	6.52	1.15
63	5.43	2.12
70	3.26	0.58
77	2.61	0.58
80	2.17	0.58
84	1.09	0.58
Total	**50**	**15**

การปลูกข้าวโพดเมล็ดพันธ์อาหารสัตว์: แปลงทดลองที่จังหวัดสุพรรณบุรี ใช้ข้าวโพดพันธุ์ลูกผสม (ไฮบริด) เบอร์ 9919C ปลูกแบบแถวคู่ (ปลูกคร่อมสายน้ำหยด) มีระยะปลูก 0.50 เมตร x 0.20 เมตร และปลูกข้าวโพดตัวผู้ 1 แถว สลับกับข้าวโพดตัวเมีย 5 แถว (Spilt ratio 1:5) โดยปลูกตัวผู้ก่อนข้าวโพดตัวเมีย 3 วัน และปลูกตัวผู้พร้อมตัวเมียอีก 1 ครั้ง หรือเรียกว่า ระบบ -3 0 สำหรับพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาใช้ข้าวโพดพันธุ์ลูกผสม (ไฮบริด) เบอร์ 9979C ปลูกแบบแถวคู่ (คร่อมสายน้ำหยด) มีระยะปลูก 0.70 เมตร x 0.18 เมตร และปลูกข้าวโพดตัวผู้ 2 แถว สลับกับข้าวโพดตัวเมีย 6 แถว (Spilt ratio 1:3) โดยปลูกตัวผู้ก่อนข้าวโพดตัวเมีย 3 วัน และปลูกตัวผู้พร้อมตัวเมียอีก 1 ครั้ง หรือเรียกว่า ระบบ -3 0

การเก็บบันทึกข้อมูล: ที่ระยะ 20, 40 และ 60 วันหลังปลูก (Day After Planting: DAP) บันทึกการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase) โดยการสุ่มวัดความสูงของข้าวโพดจำนวน 10 ต้น/ซ้ำ (วัดจากโคนต้นเหนือดินจนถึงปลายยอด) ที่ระยะเวลา 40 DAP วัดค่าความเขียวของใบ (Leaf greenness; SPAD unit) โดยวัดในใบข้าวโพดคู่ที่ 4 จำนวน 10 ต้น/ซ้ำ ด้วยเครื่อง Chlorophyll meter SPAD-502 plus เพื่อประเมินสภาวะธาตุไนโตรเจนในใบ (Beegle *et al*., 2008) และที่ระยะ 55 DAP ทำการเก็บใบใต้ฝักข้าวโพดมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°ซ จนน้ำหนักแห้งคงที่ นำตัวอย่างใบข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งไปบดด้วยเครื่องบดละเอียดเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ในใบ โดยวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ด้วยวิธี Dry combustion (Matejovic, 2008) และนำตัวอย่างใบข้าวโพดที่บดละเอียดไปย่อยด้วยสารละลายกรดผสม (digestion mixture; H_2SO_4 - Na_2SO_4 - Se) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) ด้วยวิธีการดูดกลืนคลื่นแสง (Suwanwong, 2001) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K) ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Kalra, 1998) ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 DAP) เก็บบันทึกข้อมูลปริมาณและคุณภาพผลผลิต โดยทำการเก็บตัวอย่างผลผลิตข้าวโพดในพื้นที่ 2x2 เมตร ที่ระดับความชื้นเมล็ด 28-32% บันทึกน้ำหนัก 100 เมล็ด และวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ: วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistix for Window version 8

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การเจริญเติบโต: ผลการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันในระบบน้ำหยดต่อความสูงข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ของเกษตรกรที่อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี (Table 5) พบว่าที่ระยะ 20 DAP การจัดการปุ๋ยทั้ง 3 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูงแตกต่างกัน โดยข้าวโพดมีความสูงอยู่ในช่วง 27.10-28.50 ซม. แต่ที่ระยะ 40 DAP พบว่าการจัดการปุ๋ยตาม SSFM (กรรมวิธีที่ 2) ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด (127.20 ซม.) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการจัดการปุ๋ยตาม FRGC (กรรมวิธีที่ 1) และกรรมวิธีควบคุม (กรรมวิธีที่ 3) อย่างไรก็ตาม ที่ระยะ 55 DAP พบว่าการจัดการปุ๋ยทั้ง 3 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในพื้นที่อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าที่ระยะ 20 DAP การจัดการปุ๋ยทั้ง 3 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูงแตกต่างกัน โดยข้าวโพดมีความสูงอยู่ในช่วง 27.10-28.50 ซม. แต่ที่ระยะ 40 DAP พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด (127.20 ซม.) ซึ่งแตกต่างกับกรรมวิธีที่ 1 และ 3 โดยกรรมวิธีที่ 1 ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูงน้อยที่สุด (111.70 ซม.) ที่ระยะ 55 DAP พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ยังคงส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด (54.08 ซม.) (รายละเอียดแสดงไว้ใน Table 5) ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 23.00 กก. N/ไร่ 7.80 กก. P_2O_5/ไร่ และ 5.10 กก. K_2O /ไร่ เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ โดยไม่ทำให้ความสูงต้นและการสะสมน้ำหนักแห้งแตกต่างจากการใส่ปุ๋ยตามอัตราที่เกษตรกรปฏิบัติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Noppan and Santasup (2016) ที่ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยละลายช้าต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ ในพื้นที่ปลูกข้าวโพด อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก พบว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้าในอัตรา 75 กก./ไร่ (ให้ธาตุอาหาร NPK รวมประมาณ 20-10-10 กก./ไร่) สามารถให้ผลผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์เทียบเท่าหรือสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีธรรมดาในอัตราสูง (100 กก./ไร่) และไม่ทำให้ความสูงต้นหรือคุณภาพเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งทั้งสองการศึกษายืนยันหลักการเดียวกันว่า การจัดการปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมสามารถลดการใช้ปุ๋ยโดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิต

Table 5 Effects of different drip fertigation on plant height of maize in Suphan Buri and Nakhon Ratchasima Provinces

Treatment	Height (cm)					
	Suphan Buri			Nakhon Ratchasima		
	20 DAP	40 DAP	55 DAP	20 DAP	40 DAP	55 DAP
FRGM	27.90	111.70 b	180.20	25.40 ab	101.00 a	48.12 a
SSFM	28.50	127.20 a	176.30	28.60 a	102.30 a	54.08 a
Control	27.10	113.50 b	177.30	24.80 b	92.20 b	27.48 b
F-test (0.05)	**ns**	*****	**ns**	*****	*****	**ns**
CV (%)	**6.60**	**2.92**	**5.80**	**7.71**	**3.99**	**6.55**

Mean in each column followed by different letters indicates significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level. ns = non-significant; DAP = Day After Planting

ค่าความเขียวของใบ (SPAD) และความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบ: ผลการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันในระบบน้ำหยดต่อค่า SPAD และความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบข้าวโพดที่ระยะ 40 DAP แสดงไว้ใน Table 6 ผลการศึกษาพบว่า ในพื้นที่อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ส่งผลให้ใบข้าวโพดมีค่า SPAD สูงที่สุดเท่ากับ 49.28 อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกับกรรมวิธีที่ 1 โดยกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ใบข้าวโพดมีค่า SPAD ต่ำที่สุดเท่ากับ 40.39 สำหรับความเข้มข้นธาตุอาหารหลักมีการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 และ 2 ไม่ส่งผลให้ใบข้าวโพดมีความเข้มข้นไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใบข้าวโพดมีความเข้มข้นไนโตรเจนสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ 1 (3.17%) และมีความเข้มข้นต่ำที่สุด (2.62%) ในกรรมวิธีที่ 3 อย่างไรก็ตามการจัดการปุ๋ยทั้ง 3 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบข้าวโพดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใบข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0.20-0.23% และ 2.25-2.58% และพื้นที่อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 และ 2 ไม่ส่งผลให้ค่า SPAD ในใบข้าวโพดแตกต่างกัน โดยการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ส่งผลให้ใบข้าวโพดมีค่า SPAD สูงสุด (47.50)

สำหรับความเข้มข้นธาตุอาหารหลัก พบว่าข้าวโพดมีความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบสูงที่สุดในการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 (3.27%) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกับการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 สำหรับความเข้มข้นฟอสฟอรัส พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 และ 2 ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสต่ำที่สุด (0.20%) อย่างไรก็ตาม การจัดการปุ๋ยทั้ง 3 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นโพแทสเซียมในใบข้าวโพดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใบข้าวโพดมีความเข้มข้นโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 2.51–2.80% จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การจัดการปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 1 และ 2 ไม่ส่งผลให้ค่า SPAD และความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 จังหวัด ชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 23.00 กก. N/ไร่ 7.80 กก. P_2O_5/ไร่ และ 5.10 กก. K_2O/ไร่ ก็เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

จากผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในใบข้าวโพดในระยะที่เริ่มติดไหมไม่แตกต่างกัน อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด สอดคล้องกับการศึกษาของ Canprasert (1999) ที่ทำการศึกษาความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดเมล็ดพันธุ์ โดยทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบระยะออกไหม ซึ่งรายงานว่า ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบข้าวโพดที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดเมล็ดพันธุ์ ในระยะออกไหมควรมีความเข้มข้นไนโตรเจน 2.40–2.50% ฟอสฟอรัส 0.28% และโพแทสเซียม 1.8% โดยความเข้มข้นไนโตรเจนและโพแทสเซียมในกรรมวิธีที่ 1 และ 2 ของทั้ง 2 พื้นที่การศึกษาอยู่ในระดับที่เหมาะสม แต่กลับพบว่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสในใบของพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดนครราชสีมา อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม (0.20–0.21% และ 0.24% ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามระดับฟอสฟอรัสดังกล่าว อยู่ในระดับที่ไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด เนื่องจากความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบใต้ฝักยังคงสูงกว่าระดับที่ขาดแคลน โดยความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบใต้ฝักที่ระยะติดไหมที่มีค่าต่ำกว่า 0.15 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าพืชขาดฟอสฟอรัส (Mallarino and Webb, 1995) และปริมาณผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 6 Effects of different drip fertigation on nutrient concentration and SPAD in leaves

Treatment	Nutrient concentration in leaves (%)							
	Suphan Buri				Nakhon Ratchasima			
	SPAD	N	P	K	SPAD	N	P	K
FRGM	44.26 ab	3.17 a	0.20	2.53	45.62 a	3.26 a	0.24 a	2.51
SSFM	49.28 a	3.10 a	0.21	2.58	47.50 a	3.27 a	0.24 a	2.80
Control	40.39 b	2.62 b	0.23	2.25	39.09 b	2.83 b	0.20 b	2.65
F-test (0.05)	*	*	ns	ns	*	*	*	ns
CV (%)	**6.62**	**2.74**	**6.4**	**16.87**	**3.82**	**2.28**	**8.38**	**16.79**

Mean in each column followed by different letters indicates significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level. ns = non-significant

ปริมาณและคุณภาพผลผลิต: ผลการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันในระบบน้ำหยดต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิตข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าการจัดการปุ๋ยทั้ง 3 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิต น้ำหนัก 100 เมล็ด และอัตราการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยข้าวโพดมีปริมาณผลผลิต น้ำหนัก 100 เมล็ด และอัตราการงอกอยู่ในช่วง 1.67–1.85 ตัน/ไร่ 24.17–26.41 กรัม และ 93–97% ตามลำดับ และในพื้นที่อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ส่งผลให้ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 1.12 ตัน/ไร่ แตกต่างกับกรรมวิธีที่ 3 ที่มีปริมาณผลผลิตน้อยที่สุดเท่ากับ 0.74 ตัน/ไร่ เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนัก 100 เมล็ด พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 ส่งผลให้ข้าวโพดมีน้ำหนัก 100 เมล็ดสูงมากที่สุด (36.73 กรัม) แตกต่างกัน โดยกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ข้าวโพดมีน้ำหนัก 100 เมล็ด น้อยที่สุด (33.54 กรัม) อย่างไรก็ตาม การจัดการปุ๋ยทั้ง 3 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ข้าวโพดมีอัตราการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7) โดยข้าวโพดมีอัตราการงอกอยู่ในช่วง 85.00–89.00% ซึ่งมีค่าไม่สูงมาก เนื่องจากช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตในฤดูเก็บเกี่ยวนั้นมีฝนตก และพบเมล็ดมีจุดสีดำคล้ายเชื้อรา ทำให้อัตราการงอกต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Alderman *et al*. (2009) ที่พบว่าการเข้าทำลายของโรคโดยเฉพาะเชื้อราส่งผลให้อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในลักษณะความงอกและความแข็งแรง จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธี ที่ 2 ส่งผลให้ข้าวโพดอาหารสัตว์มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ดังนั้น การใส่ปุ๋ยในอัตรา 23.00 กก. N/ไร่ 7.80 กก. P_2O_5/ไร่ และ 5.10 กก. K_2O /ไร่ ร่วมกับระบบน้ำหยดก็เพียงพอต่อการผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ โดยการใส่ปุ๋ยในอัตราที่น้อยแต่บ่อยครั้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราสูงเพียงครั้งเดียว (Adhikari *et al*., 2016) โดย Rahmawati (2017) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 24 กก./ไร่ ส่งผลให้ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส Masood *et al*. (2011) พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 16 กก./ไร่ ส่งผลให้ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงกว่า 16 กก./ไร่ และ Ul-allah *et al*. (2020) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 12 กก./ไร่ ส่งผลให้ข้าวโพดมีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด สำหรับคุณภาพผลผลิตนั้นในภาพรวมการจัดการปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 1 และ 2 ไม่ส่งผลให้ข้าวโพดในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดนครราชสีมามีน้ำหนัก 100 เมล็ด และอัตราการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 7 Effects of different drip fertigation on quantity and yield in Suphan Buri and Nakhon Ratchasima

Treatment	Suphan Buri			Nakhon Ratchasima		
	Yield (ton rai^{-1})	100 grains (g)	Germination rate (%)	Yield (ton rai^{-1})	100 grains (g)	Germination rate (%)
FRGC	1.84	25.55	96.00	1.02 ab	34.71 ab	85.00
SSFM	1.85	26.41	93.00	1.12 a	36.73 a	89.00
Control	1.67	24.17	97.00	0.74 b	33.54 b	85.50
F-test (0.05)	**ns**	**ns**	**ns**	*****	*****	**ns**
CV (%)	**17.09**	**6.3**	**2.86**	**17.35**	**4.80**	**13.81**

Mean in each column followed by different letters indicates significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level. ns = non-significant

สรุปผลการทดลอง

การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันในระบบน้ำหยดต่อการเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพผลผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ลูกผสม (ไฮบริด) เบอร์ 9919C ในสภาพไร่นาในพื้นที่ปลูกข้าวโพดของเกษตรกรในเขตภาคกลาง ณ ตำบลดอนคา อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี และข้าวโพดพันธุ์ลูกผสม (ไฮบริด) เบอร์ 9979C ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดของเกษตรกรในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ณ ตำบลกุดโบสถ์ อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 23.00 กก. N/ไร่ 7.80 กก. P_2O_5/ไร่ และ 5.10 กก. K_2O/ไร่ ร่วมกับระบบน้ำหยดเป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์ โดยส่งผลให้ข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์มีการเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพผลผลิตสูงที่สุด การจัดการปุ๋ยดังกล่าวทำให้ข้าวโพดเมล็ดพันธุ์อาหารสัตว์มีผลผลิตเมล็ดต่อไร่สูง น้ำหนักเมล็ดพันธุ์และคุณภาพเมล็ดดี ความชื้นเมล็ดต่ำกว่า 30% และค่าความเขียวของใบอยู่ในระดับเหมาะสม ทั้งนี้ แนะนำให้มีการทดสอบซ้ำในพื้นที่และฤดูกาลต่าง ๆ และพัฒนาการจัดการปุ๋ยแบบแม่นยำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจากบริษัทมอนซานโต้ไทยแลนด์ จำกัด ที่ได้เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยเข้าเก็บรวบรวมข้อมูล และอำนวยความสะดวกในการประสานงานกับกลุ่มเกษตรกรพันธะสัญญาในสังกัดของบริษัท ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่สละเวลาและให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Adhikari, K., B.R. Baral and J. Shrestha. 2016. Maize response to time of nitrogen application and planting seasons. **Journal of Maize Research and Development** 2(1): 83–93.

Alderman, S.C., W. Pfender and C.M. Ocamb. 2009. Diseases in seed production. **Tall Fescue for the Twenty-first Century** 53: 427–434.

Beegle, D.B., W. Piekielek and R. Fox. 2008. **Early Season Chlorophyll Meter Test for Corn.** Agronomy Facts 53. University Park: The Pennsylvania State University. 8 p.

Bibe, S.M., K.T. Jadhav and A.S. Chavan. 2017. Response of irrigation and fertigation management on growth and yield of maize. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 6(11): 4054–4060.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. **Soil Science.** 59(1): 39–45.

Canprasert, W. 1999. **Field crop seed technology**. Retrieved from https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php? /KPS/search_detail/result/183336.

Delbaz, R., H. Ebrahimian and D. Ranazadeh. 2023. A global meta-analysis on surface and drip fertigation for annual crops under different fertilization levels. **Agricultural Water Management** 289: 108504.

Department of Agriculture. 2021. **Soil Test-Based Fertilizer Recommendations for Major Economic Field Crops.** 100 p. *In* Research Report. Bangkok: Department of Agriculture Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand. [in Thai]

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. Standard Operating Procedure for Soil Organic Carbon Walkley-Black Method Titration and Colorimetric Method. Rome: FAO. 27 p.

Helmke, P.A. and L. Sparks. 1996. Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, and cesium. pp. 551–574. *In* Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert (Eds.). **Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods.** Madison, WI.: SSSA Book Series No.5. SSASA and American Society of Agronomy.

Kalra, Y.P. 1998. **Handbook of Reference Methods for Plant Analysis.** Boca Raton: CRC Press. 320 p.

Land Development Station. 2013. **District soil map of Suphanburi province**. Retrieved from http://r01.ldd.go.th/spb/SoilMap.html [in Thai]

Li, W., X. Gu and T. Chang. 2023. Optimizing nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization regimes to improve maize productivity under double ridge-furrow planting with full film mulching. **Agricultural Water Management** 287: 108439

Lui, K., B.L. Ma and C. Li. 2011. Nitrogen phosphorus and potassium nutrient effects on grain filling and yield of high yielding summer corn. **Journal of Plant Nutrition** 34: 1516–1531.

Mallarino, A.P. and J.R. Webb. 1995. Long-term evaluation of phosphorus and zinc interactions in corn. **Journal of Production Agriculture** 8(1): 52–55.

Masood, T., R. Gul and H. Khan. 2011. Effect of different phosphorus levels on the yield and yield component of maize. **Sarhad Journal of Agriculture** 27(2): 167–170.

Matejovic, I. 2008. **Total nitrogen in plant material determinated by means of dry combustion: a possible alternative to determination by Kjeldahl digestion.** Retrieved from https://www.tandfonline.com/doi/permissions

Morad, H., A. Mohammad and B. Simon. 2009. The effect of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. **Agricultural Water Management** 96(1): 93–99.

Noppan, K. and C. Santasup. 2016. Appropriate fertilizer management for field corn seed production in Tak province. **Journal of Agricultural Research and Extension** 33(1): 10–19.

Office of Agricultural Economics. 2022. **The situation of maize in Thailand.** Retrieved from https://www.oae.go.th [in Thai]

Phanomtronitkul, M. 2000. **Soil Water Management for Sustainable Systems**. 1st Ed. Chiang Mai: Faculty of Agriculture, Chiangmai University. 487 p. [in Thai]

Rahmawati, R. 2017. Effect of nitrogen fertilizer on growth and yield of maize composite variety Lamuru. **AgroTech Journal** 2(2): 36–41.

Suwanwong, S. 2001. **Plant Nutrient Analysis.** Bangkok: Kasetsart University Press. 141 p. [in Thai]

Ul-Allah, S., M. Ijaz and K. Mahmood. 2020. Potassium application improves grain yield and alleviates drought susceptibility in diverse maize hybrids. **Plants** 9(75): 1–11. https://doi.org/10.3390/plants9010075

Wichmann, W. 1992. **IFA World Fertilizer Use Manual**. Germany and France: BASF AG and IFA. 632 p.

Zarski, J. and R.T. Kusmierek. 2023. Effects of drip irrigation and topdressing nitrogen fertigation on maize grain yield in central Poland. **Agronomy** 13(2): 1–15. https://doi.org/10.3390/agronomy13020360