วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน และการประเมินความเข้มของสีใบด้วย SCMR ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุสั้นที่ปลูกบนชุดดินวังไฮ

Response to nitrogen fertilizer and evaluation of leaf color intensity using SCMR on hybrid maize grown in Wang Hai soil series

ณัฐกิตติ์ เพชรหมื่นไว[1]*, ศิวิไล ลาภบรรจบ[1], สุริพัฒน์ ไทยเทศ[2], การิตา จงเจือกลาง[1] และ สามัคคี จงฐิตินนท์[3]

Nattakit Petmuenwai[1]*, Siwilai Lapbanjob[1], Suriphat Thaitad[2], Karita Chongchuaklang[1] and Samakkee Jongthitinon[3]

[1] *ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์*
[1] *Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Tak Fa, Nakhon Sawan, 60190*
[2] *สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900*
[2] *Field and Renewable Energy Crops Research Institute, 50, Phahonyothin Road, Lat Yoo, Chatuchak, Bangkok, 10900*
[3] *ศูนย์วิจัยพืชไร่สงขลา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา*
[3] *Songkhla Field Crops Research Center, Hat Yai, Songkhla, 90110*

บทคัดย่อ: คลอโรฟิลล์ในใบพืชมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหาร และนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช การขาดไนโตรเจนจะส่งผลต่อผลผลิตของพืช การศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน และการประเมินความเข้มของสีใบด้วย SCMR ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุสั้นที่ปลูกบนชุดดินวังไฮ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก randomized complete block design (RCBD) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธีทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย กรรมวิธีทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน กรรมวิธีทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 0.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน กรรมวิธีทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 1.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน กรรมวิธีทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน กรรมวิธีทดลองที่ 5 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน และกรรมวิธีทดลองที่ 6 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลให้ความสูง ผลผลิต และค่า SCMR ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ย ในขณะเดียวกันการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ส่งผลให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ให้ผลผลิต และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด ดังนั้น เพื่อผลิตข้าวโพดให้ได้ผลผลิตสูง คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และใช้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพควรมีการวิเคราะห์ดินก่อนการปลูก และควรใส่ปุ๋ยในอัตรา 15-5-5 (N-P_2O_5-K_2O) กก./ไร่

คำสำคัญ: ปุ๋ยไนโตรเจน; ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์; คลอโรฟิลล์

ABSTRACT: Chlorophyll in leaves contains nitrogen, which plays a crucial role in photosynthesis for food production, contributing to plant growth. Nitrogen deficiency affects crop yield. The study research was to determine the response of nitrogen fertilizer and evaluation of leaf color intensity using SCMR on hybrid maize grown in the Wang Hai soil series. The experimental design was a randomized complete block design with 6 treatments and 4 replications. There were T1 Nitrogen control, T2 Nitrogen fertilizer rate 0.5 times of fertilizer recommendation rate,

* Corresponding author: Nattakit@kkumail.com

Received: date; December 19, 2023 Revised: date; April 5, 2024

Accepted: date; April 17, 2024 Published: date; July 8, 2024

T3 Nitrogen fertilizer rate 1.0 times of soil, T4 Nitrogen fertilizer rate 1.5 times of soil, T5 Nitrogen fertilizer rate 2.0 times of soil, and T6 Nitrogen fertilizer rate 3.0 times of soil. The results showed that, the application of nitrogen fertilizer statically significant increased height, yield, and SCMR of maize comparing with the treatment without nitrogen fertilizer application. Meanwhile, the application of nitrogen fertilizer at 1.5 times of the recommendation, maize had the highest yields and the most economic value. Therefore, to produce maize with the highest yield, economically, and fertilizer use efficiency, soil analysis should be done before planting. Fertilizer should be applied at the rate of 15-5-5 (N-P_2O_5-K_2O) kg/rai.
Keywords: nitrogen fertilizer; maize; chlorophyll

บทนำ

ปัจจุบันข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของไทย ในปี 2565 ปริมาณความต้องการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงถึง 7.98 ล้านตัน แต่ประเทศไทยผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ 4.95 ล้านตัน ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ รวมถึงการระบาดของหนอนกระทู้และต้นทุนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาทิ ปุ๋ยเคมีและน้ำมันเชื้อเพลิง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) การพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสมกับฤดูปลูกและระบบปลูกพืช เช่น พันธุ์ข้าวโพดลูกผสมอายุสั้นสำหรับปลูกในระบบปลูกพืช การปลูกหลังนา รวมถึงการมีอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมกับระบบปลูกพืช (95-100 วันหลังปลูก) เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในระบบการผลิตพืช ให้ผลผลิตสูง ทนแล้ง และต้านทานโรคทางใบ (สุริพัฒน์ และคณะ, 2565)

การตอบสนองต่อปัจจัยการผลิตแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และการจัดการดิน น้ำ และปุ๋ยเป็นสำคัญ ข้าวโพด (Zea mays) ต้องการไนโตรเจนในปริมาณสูง การขาดไนโตรเจนจะส่งผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในดินลดน้อยลง และส่งผลต่อผลผลิตของพืช โดยปริมาณความเข้มข้นไนโตรเจนในใบ มีความสัมพันธ์กับระยะพัฒนาการของใบ ภายใต้การเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนในระดับที่แตกต่างกัน จึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้สำหรับการประเมินค่าปริมาณความเข้มข้นไนโตรเจน และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (ศุภัครชา และ คริษฐ์ สพล, 2564) เช่นเดียวกับ ค่า SCMR ในใบข้าวโพด ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึง ความเข้มของสีใบ ซึ่งเป็นการคาดคะเนปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารที่ทำให้พืชมีสีเขียว และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตทางใบ การสะสมอาหารของเซลล์ และขบวนการสังเคราะห์แสง (กอบเกียรติและคณะ, 2551) การใช้ปุ๋ยของเกษตรกรยังขาดความเข้าใจ และหลักการที่ถูกต้องเหมาะสม โดยจะต้องคำนึงถึงความต้องการธาตุอาหารของพืช เช่นการปลูกข้าวโพดในดินร่วนปนทรายในจังหวัดขอนแก่น ทำให้ไนโตรเจนสูญหายไปจากพื้นที่ 6.24 กก./ไร่/ปี นอกจากนี้ หลังจากที่เก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้วมีการปลูกพืชตามโดยไม่มีการจัดการปุ๋ยอย่างเหมาะสมเป็นการเร่งให้ดินเสื่อมโทรมเร็วขึ้น ในขณะเดียวกัน เกษตรกรบางพื้นที่ยังยึดติดกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบเดิม และใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำจากหน่วยงานภาครัฐซึ่งเป็นคำแนะนำโดยรวม ไม่จำเพาะในแต่ละชุดดิน ทำให้บางครั้งมีการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่ไม่เหมาะสม (ทัศนีย์ และ ประทีป, 2559) การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ในอัตรา 10-5-2.5 กก./ไร่ (N-P_2O_5-K_2O) ในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ที่ปลูกในชุดดินตาคลี ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด เนื่องจากดินในแต่ละพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องประเมินสมบัติเบื้องต้นของดินก่อนการปลูก (ศุภกาญจน์ และคณะ, 2558)

การที่จะลดต้นทุนจากการใช้ปุ๋ยเคมีสามารถทำได้โดยการใช้ปุ๋ยอย่างแม่นยำเฉพาะพื้นที่โดยการวิเคราะห์ดินก่อนการปลูกพืช ซึ่งเป็นการใช้ปุ๋ยที่ถูกชนิด ถูกอัตรา ทำให้ปุ๋ยที่ใส่ลงไปตรงตามระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามความต้องการของพืช การใช้ปุ๋ยอย่างถูกเวลา ถูกวิธีเพื่อไม่ให้ปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินสูญหายไปอย่างเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้ธาตุอาหารของพืชยังขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาพแวดล้อม และมีความแตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์ (กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, 2565) การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน และความสัมพันธ์ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนกับผลผลิต ค่าองค์ประกอบต่างๆของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุสั้นที่ปลูกบนชุดดินวังไฮซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ได้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น และสามารถลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยมากขึ้น

วิธีการศึกษา

สถานที่ทำการทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสรรค์

การวางแผนการทดลอง

ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน และการประเมินความเข้มของสีใบด้วย SCMR ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุสั้นพันธุ์ NSX151008 ในดินร่วนปนดินเหนียวชุดดินวังไฮ (Wang Hai series: Wi; Fine, mixed, active, isohyperthermic Oxyaquic (Ultic) Paleustalfs) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ประกอบด้วย 6 กรรมวิธีทดลอง จำนวน 4 ซ้ำดังนี้

กรรมวิธีทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

กรรมวิธีทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 0.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน

กรรมวิธีทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 1.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน

กรรมวิธีทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน

กรรมวิธีทดลองที่ 5 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน

กรรมวิธีทดลองที่ 6 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน

โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปของทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมในรูปของโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ใส่ในอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน 10-5-5 (N-P_2O_5-K_2O) กก./ไร่ (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2564)

วิธีการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์สมบัติดิน โดยการสุ่มเก็บให้มีความสม่ำเสมอของพื้นที่ ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. ผึ่งให้แห้งในที่ร่มเก็บเศษวัสดุที่ปนเปื้อนออกและบดดิน จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 มม. สำหรับวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาดิน โดยวิธี ดินต่อน้ำ 1:1 w/v (Black, 1965) ค่าการนำไฟฟ้าโดยวิธีดินต่อน้ำ 1:5 v/v (Jackson, 1960) ปริมาณอินทรียวัตถุโดยวิธี Walkley and Black (Walkley and Black, 1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II (Cottenie, 1980) และโพแทสเซียมที่สกัดได้ โดยวิธี 1 M NH_4OAC pH7.0 (Black, 1965) เพื่อประเมินการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร (กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2564) ส่วนการเก็บตัวอย่างดินโดยการใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) หรือกระบอกโลหะเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้างดิน เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density, BD) โดยวิธี Core method (Back and Hartge, 1986) ความชื้นของดิน (soil moisture content) โดยวิธี Oven dry (Gardner, 1982) และเนื้อดิน (soil texture) โดยวิธี Pipette method (Gardner, 1982)

2. ดำเนินการทดลองปลูกที่แปลงทดลอง ช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนกันยายน 2566 ขนาดของแปลงย่อย 27 ตร.ม. 6 แถว ๆ ละ 6 ม. ระยะระหว่างแถว 75 ซม. ระยะระหว่างหลุม 20 ซม.หยอดเมล็ดหลุมละ 1–2 เมล็ด ใส่ปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกด้วยปุ๋ยไนโตรเจนหนึ่งส่วนสามของอัตรา และปุ๋ยโพแทสเซียมครึ่งอัตรา ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสใส่เต็มอัตรา เมื่อข้าวโพดอายุ 3-4 สัปดาห์ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ด้วยปุ๋ยไนโตรเจนหนึ่งส่วนสามของอัตรา และปุ๋ยโพแทสเซียมอีกครึ่งอัตรา และเมื่อข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหนึ่งส่วนสามของอัตรา พื้นที่เก็บเกี่ยว 18 ตร.ม. (4 แถวๆ ละ 6 ม.)

3. การให้น้ำในระหว่างการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดำเนินการให้น้ำตามความต้องการของพืชตามวิธีของ Smith (1992) Doorenbos และ Kassam (1979) ตามสมการ ETc = ETo x Kc (ETc = ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (มม./วัน), ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน), Kc = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช)

4. วัดค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่แล้ว (Y-leave) ตามระยะการเจริญเติบโตที่กำหนดไว้ได้แก่ ระยะคอใบโดยนับจากใบแรกจากโคนต้นล่างสุดเป็นเกณฑ์ในการบอกระยะ V3, V5, V7, V9, V11, V13, V15 และ V17 โดยแต่ละกรรมวิธีจะวัดค่า SCMR จากตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมจำนวน 2 ต้น วัดส่วนซ้ายและขวาของใบส่วนละ 5 ตำแหน่ง รวมทั้งหมด 10 ตำแหน่ง แล้วนำค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย

5. วิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของข้าวโพด เช่นค่าความสูงต้น ฝักข้าวโพด ค่า SCMR และผลผลิต ภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

6. ประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยต่อรายจ่ายจากการใช้ปุ๋ยหรือค่า Value to Cost Ratio (VCR) หากค่า VCR มากกว่า 2 แสดงว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Pevaiz et al., 2004)

7. วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนที่ระดับแตกต่างกันของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม

การบันทึกข้อมูล

1. ผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อน และหลังปลูก ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยน ความหนาแน่นรวมของดิน ความชื้นของดิน และเนื้อดิน

2. ชนิด อัตรา จำนวนครั้ง และวิธีการใส่ปุ๋ย พร้อมบันทึกวันที่ใส่ปุ๋ย

3. การเจริญเติบโต และคุณภาพผลผลิตเช่น ความสูงต้น ความสูงฝัก ต้นเก็บเกี่ยว น้ำหนักเมล็ด ความชื้นเมล็ด เปอร์เซ็นต์กะเทาะ และน้ำหนักต้นสด

4. ค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ในใบอ่อนที่คลี่เต็มที่แล้ว (Y-leave) ตามระยะการเจริญเติบโตที่กำหนดไว้ได้แก่ ระยะ V3 V5 V7 V9 V11 V13 และV15

ผลการศึกษา

สมบัติทางเคมีของดินก่อน และหลังปลูก

ผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกแปลงทดลองในศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสรรค์ ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. พบว่าค่าปฏิกิริยาดิน 6.64 ซึ่งจัดเป็นดินกรดเล็กน้อย มีค่าการนำไฟฟ้า 42.36 µS/cm ไม่มีผลกระทบของเกลือต่อพืช ปริมาณอินทรียวัตถุ 1.37% จัดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 10 มก./กก. จัดอยู่ในระดับปานกลาง และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยน 122 มก./กก. จัดอยู่ในระดับปานกลาง ทำให้ได้อัตราปุ๋ยแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร คือ 10-5-5 กก./ไร่ N-P_2O_5-K_2O **(Table 1)**

ผลการวิเคราะห์ดินหลังปลูก พบว่าค่าปฏิกิริยาดิน 5.86 ซึ่งจัดเป็นดินกรดเล็กน้อย มีค่าการนำไฟฟ้า 21.78 µS/cm ไม่มีผลกระทบของเกลือต่อพืช ปริมาณอินทรียวัตถุ 1.44% จัดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 13.31 มก./กก. จัดอยู่ในระดับปานกลาง และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยน 111.08 มก./กก. จัดอยู่ในระดับปานกลาง **(Table 2)**

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน พบว่าความหนาแน่นรวมของดิน 1.54 ก./ลบ.ซม. ความชื้นของดิน 21.03% ชุดดินวังไฮ จัดเป็นดินร่วนปนดินเหนียว

Table 1 Characteristics of soil properties at Nakhon Sawan Field Crops Research Center before planting

Soil pH	Electrical Conductivity EC (uS/cm)	Organic matter (%)	Available phosphorus (mg/kg)	Exchangeable potassium (mg/kg)
6.64	42.36	1.37	10	122

Table 2 Characteristics of soil properties at Nakhon Sawan Field Crops Research Center after planting

Treatment (Kg. N-P_2O_5-K_2O/rai)	Soil pH	Electrical Conductivity EC (uS/cm)	Organic matter (%)	Available phosphorus (mg/kg)	Extractable potassium (mg/kg)
0-5-5	5.90	17.76	1.42	18	126
5-5-5	5.72	18.41	1.41	13	121
10-5-5	5.77	19.66	1.49	11	114
15-5-5	6.28	27.76	1.43	13	88
20-5-5	5.64	18.47	1.43	11	104
30-5-5	5.88	28.60	1.50	13	114
Mean	5.86	21.78	1.44	13.31	111.08

ผลผลิต และลักษณะทางการเกษตร

การเจริญเติบโตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ NSX151008

ผลการศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันมีผลต่อความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 30 วัน พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินมีค่าความสูงมากที่สุด 34 ซม. โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 0.5 1.0 1.5 และ 3.0 เท่า มีค่าความสูง 31 33 34 และ32 ซม. ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพบว่ามีค่าความสูงน้อยที่สุด 30 ซม. มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกับการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันมีผลต่อความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อายุ 60 วัน พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินมีค่าความสูงมากที่สุด 201 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนโดยมีค่าความสูงน้อยที่สุด 116 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) **(Figure 1)**

ความสูงฝักที่อายุ 60 วัน พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกัน มีค่าความสูงเท่ากับ 118 122 123 123และ 120 ซม.ตามลำดับ **(Figure 1)**

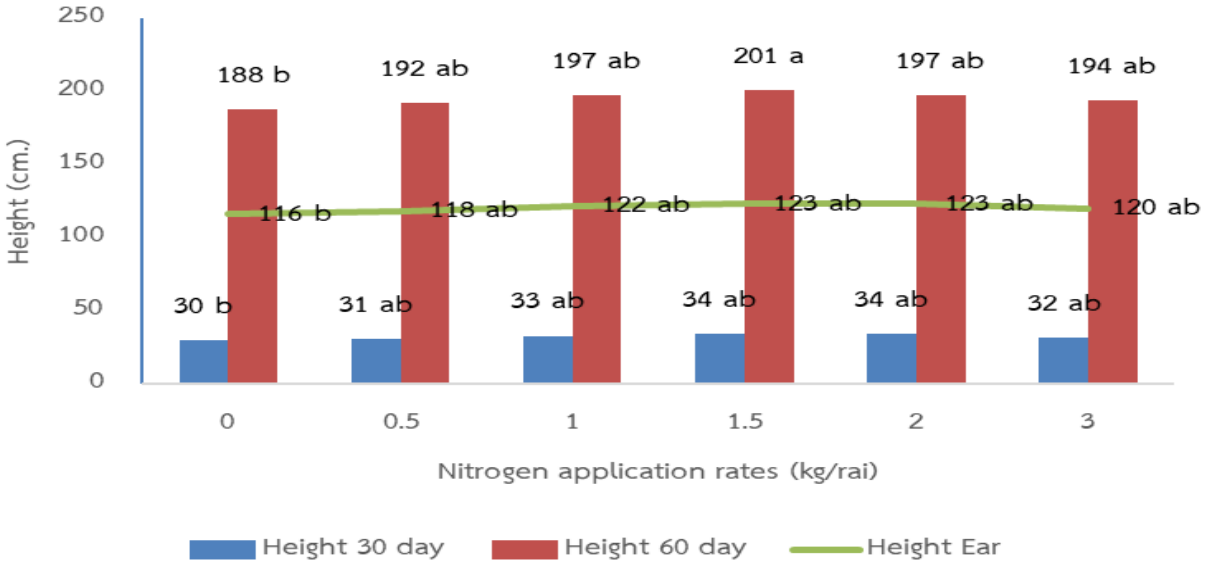

Figure 1 Plant height and Ear 30 day and 60 day under different Nitrogen application rates

ค่า SCMR พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินในระยะการเจริญเติบโต V3 V7 V9 V11และ V13 โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า SCMR เพิ่มขึ้นในทุกอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทุกระดับ แต่ระยะการเจริญเติบโต V15 และV17 ค่า SCMR ลดลง **(Table 3)** เช่นเดียวกับความเข้มข้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้จากค่า SCMR ที่เพิ่มขึ้นตามพัฒนาการตั้งแต่ระยะ V3 (อายุ 14 วันหลังปลูก) ถึงระยะ V11 (อายุ 51-53 วันหลังปลูก) ซึ่งเป็นช่วงค่าที่มีค่า SCMR สูงสุด เมื่อผ่านพ้นระยะนี้ไปค่า SCMR มีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าระยะที่พืชเจริญเติบโตทางลำต้นและ ใบ (vegetative stage) เป็นระยะที่พืชเจริญเติบโตเร็วและมีความต้องการไนโตรเจนสูง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยในระยะเวลาที่เหมาะสมกับความต้องการของพืชจะทำให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น (มุกดา, 2543) ปัทมา (2547) กล่าวว่า ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อพืชเนื่องจากเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) สอดคล้องกับ สืบสกุล (2554) ได้ทำการศึกษาค่า SCMR ของข้าวโพด พบว่าข้าวโพดที่ใส่ปุ๋ยเรีย ในอัตรา 80 95 105 และ 120 กก./ไร่ มีค่า SCMR สูงสุด ส่วนข้าวโพดที่ไม่มีการจัดการใส่ปุ๋ยยูเรีย มีค่า SCMR ต่ำสุดและ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linear relationship) กับน้ำหนักแห้ง มวลชีวภาพ และผลผลิต (Hussain et al., 2000) แสดงให้เห็นว่าค่า SCMR สามารถนำมาใช้ในการอธิบายน้ำหนักแห้งมวลชีวภาพและผลผลิตได้ และสามารถใช้กับพืชหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี (Barraclough et al., 2001) และ อ้อย (Silva et al., 2007)

Table 3 Means of SCMR under different Nitrogen application rates

Treatment (Kg. N-P_2O_5-K_2O/rai)	SCMR								
	V3	V5	V7	V9	V11	V13	V15	V17	Mean
0-5-5	40.7 c	40.5 c	50.9	52.9 c	53.7	53.8 b	50.6 c	32.8	40.7 c
5-5-5	42.6 bc	40.8 bc	52.6	54.6 b	54.7	55.6 ab	51.5 bc	33.3	42.6 bc
10-5-5	43.5 abc	43.1 abc	52.2	55.3 b	55.1	54.0 b	53.4 ab	38.0	43.5 abc
15-5-5	42.3 bc	40.1 c	52.0	54.9 b	54.9	55.4 ab	53.3 ab	35.5	42.3 bc
20-5-5	45.8 a	43.7 ab	53.5	55.3 b	55.4	56.9 a	54.3 a	37.0	45.8 a
30-5-5	44.8 ab	44.3 a	53.1	56.6 a	55.4	56.6 a	54.9 a	34.9	44.8 ab
Mean	43.3	42.1	52.4	54.9	54.9	55.4	53.0	35.2	43.3
F-test	*	*	ns	*	ns	*	**	ns	*
C.V. (%)	4.21	4.48	4.39	1.62	2.00	2.19	2.68	9.35	4.21

** = Significantly different at P<0.01; ns = Non significant; Means in each column followed by different letters indicate significant differences using least significant difference (LSD) at P<0.05

ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ NSX151008

ผลผลิตพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 1,406 กก./ไร่ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน มีผลผลิตเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 1,141 กก./ไร่ **(Table 4)**

เปอร์เซ็นต์กะเทาะ พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยมีค่าระหว่าง 79-80% **(Table 4)**

ความชื้นเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยมีค่าระหว่าง 29.0 -30.1% **(Table 4)**

น้ำหนัก 100 เมล็ด พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ส่งผลให้น้ำหนัก 100 เมล็ดเฉลี่ยมากที่สุด 39.6 กรัม ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน มีน้ำหนัก 100 เมล็ดโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 34.9 ก. **(Table 4)**

Table 4 Grain yield of maize under different Nitrogen application rates

Treatment (Kg. N-P_2O_5-K_2O/rai)	Yield (kg/rai)	shelling percentage (%)	Seed moisture (%)	Weight of 100 grain (g)
0-5-5	1141 c	79 b	29.4	34.9 c
5-5-5	1197 bc	79 ab	30.1	35.7 bc
10-5-5	1295 ab	80 a	29.2	36.8 bc
15-5-5	1406 a	80 a	29.0	37.3 abc
20-5-5	1367 a	80 a	29.2	38.3 ab
30-5-5	1372 a	79 ab	29.3	39.6 a
Mean	1296	79	29.4	37.1
F-test	**	*	ns	*
C.V. (%)	5.38	0.70	2.61	4.49

** = Significantly different at P<0.01; ns = Non significant; Means in each column followed by different letters indicate significant differences using least significant difference (LSD) at P<0.05

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบต่างๆของข้าวโพด

ผลจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงต้น ฝักข้าวโพดอายุ 30 วันและ 60 วัน ภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง y = 0.8286x + 31.229, y = 2.0286x + 192.13และ y = 1.5143x + 118.31 ตามลำดับ โดย y เป็นค่าความสูงต้นข้าวโพดอายุ 30 วันและ 60 วัน ส่วน x เป็นค่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน สมการดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ทุกๆ 1 หน่วย ค่าความสูงต้นข้าวโพดอายุ 30และ 60 วัน ที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมี ความสัมพันธ์ที่ระดับ 30.04 23.34 และ32.36% **(Figure 2 (a, b และ c)**

ผลจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า SCMR ภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง y = 0.9896x + 47.578 โดย y เป็นค่า SCMR ส่วน x เป็นค่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน สมการดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ทุกๆ 1หน่วย ค่า SCMR ที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ที่ ระดับ 75% **(Figure 2 d)**

ผลจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลผลิตที่ความชื้น 15% ภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง y = 82.6x + 1186.2 โดย y เป็นค่าผลผลิต ส่วน x เป็นค่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน สมการดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ทุกๆ 1 หน่วย ค่าผลผลิตที่ความชื้น 15% ที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์ที่ ระดับ 70.14% **(Figure 2 e)**

ผลจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลผลิตที่ความชื้น 15% และ ค่า SCMR แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง y = 67.058x - 1982.7 โดย y เป็นค่าผลผลิต ส่วน x ค่า SCMR สมการดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ทุกๆ 1 หน่วย ค่าผลผลิตที่ความชื้น 15% ที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับค่า SCMR ที่เพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์ที่ ระดับ 60.25% **(Figure 2 f)** ซึ่งการตรวจวัดค่า SCMR ที่ใบสามารถทำได้รวดเร็วและ มีรายงานว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชเช่น แก่นตะวัน *Helianthus tuberosus L.* และ *Lindera melissifolia* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า SCMR (Hawkins et al., 2009)

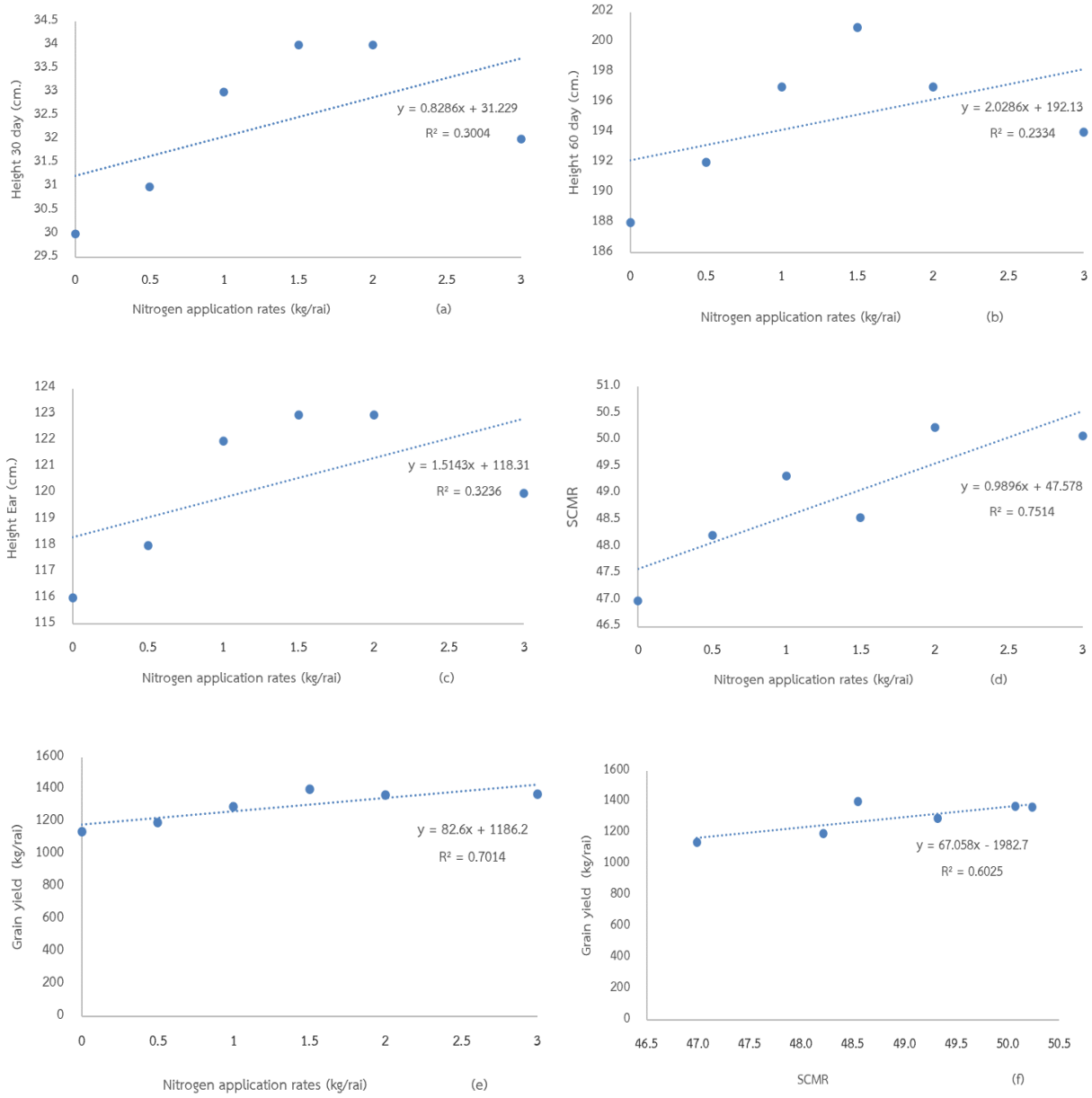

Figure 2 Linear relationship between growth 30 day and 60 day (a,bและ c) Relationship between SCMR (d) Relationship between grain yield (e) under different nitrogen fertilizer managements Relationship between SCMR and grain yield (f)

ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

การตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยต่อรายจ่ายการใช้ปุ๋ย หรือค่า Value to Cost Ratio (VCR) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินมีค่า VCR มากกว่า 2 โดยมีค่า ระหว่าง 2.33 – 4.56 แสดงให้เห็นว่าการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ NSX151008 มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ส่วนการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 3.0 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน **(Table 5)**

Table 5 Economic return analysis under different Nitrogen application rates

Treatment (Kg N-P_2O_5-K_2O/rai)	Yield moisture 15% (kg/rai)	Increase Yield (%)	Gross returns (baht/rai)	Expenditure on fertilize (baht/rai)	Net return (baht/rai)	VCR
0-5-5	1141	-	-	-	-	-
5-5-5	1197	4.9	413	123.9	288.96	2.33
10-5-5	1295	13.5	1,201	247.8	953.40	3.85
15-5-5	1406	23.2	2,067	371.7	1,695.30	4.56
20-5-5	1367	19.8	1,763	495.6	1,267.20	2.56
30-5-5	1372	19.3	1,802	743.4	1,058.40	1.42

Note: Price of maize grain 7.78 baht /kg; price of fertilizers: urea 25 baht /kg, triple superphosphate 56 baht /kg, potassium chloride 27 baht /kg

สรุปและวิจารณ์

การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อายุสั้นที่ปลูกบนชุดดินวังไฮ ณ แปลงทดลองในศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสรรค์ ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. มีค่าเป็นดินกรดเล็กน้อย ค่าการนำไฟฟ้า ไม่มีผลกระทบของเกลือต่อพืช มีค่าอินทรียวัตถุ อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จัดอยู่ในระดับปานกลาง และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ จัดอยู่ในระดับปานกลาง พืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารไปประโยชน์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เกิดจากสมบัติฟิสิกส์ของชุดดินวังไฮ มีความหนาแน่นรวมของดิน 1.54 ก./ลบ.ซม. จัดเป็นดินร่วนปนดินเหนียว มีลักษณะแน่นทึบ เมื่อแห้งจะแข็ง เมื่อเปียกก็จะเหนียวจัด รากพืชจะชอนไชได้ยากและ ระบายน้ำได้ไม่ดี ควรมีการปรับปรุงดินโดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ทั้งนี้ประโยชน์ของอินทรียวัตถุที่สำคัญอีกบทบาทหนึ่งคือ การเพิ่มกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ช่วยให้โครงสร้างของดินและจุลินทรีย์ในดินแบบพึ่งพาอาศัยกันหรือมีผลประโยชน์ร่วมกัน ส่งผลต่อการปลูกพืชและสามารถเพิ่มผลผลิตในพื้นที่ (บุปผา, 2549)

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในแต่ละอัตรามีผลต่อความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ NSX151008 โดยการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สอดคล้องกับ ค่า SCMR ในใบของข้าวโพดเพิ่มขึ้นตามการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในแต่ละอัตรา ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการนำค่า SCMR มาอธิบายปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช คลอโรฟิลล์ในใบพืชมี ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหาร เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้น การเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนมีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต ทางใบ ทำให้ผลผลิตของพืชเพิ่มสูงขึ้น (กฤษฎาพร, 2555) ผลผลิตพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินส่งผลให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ NSX151008 ให้ผลผลิตเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 1,406 กก./ไร่ เนื่องจากการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และตามความต้องการของพืชอย่างเหมาะสม ก็จะสามารถสร้างเมล็ดได้มาก และมีคุณภาพ หากพืชได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต พืชก็จะสามารถสร้างผลผลิตได้สูงตามไปด้วย (ชูเกียรติ และคณะ, 2560)

การตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์ NSX151008 มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 1.5 เท่าของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา. 2565. การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ 4 ถูก. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล: https:// www.doa.go.th/rhizobium/?p=1216. ค้นเมื่อ 31 ตุลาคม 2566.

กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, ไพโรจน์ พันธุ์พฤกษ์, สุรัตนา เสนาะ และนารูโอ มัสซูโมโต. 2551. การจัดการสมดุลธาตุ อาหารN, P, และ K เพื่อการผลิตมันสำปะหลังอย่าง ยั่งยืน. รายงานผลการ วิจัยประจำปี 2551. ศูนย์วิจัยพืช ไร่ขอนแก่น สำนักวิจัย และพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กฤษฎาพร สินชัย. 2555. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และมูลโคที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลังที่ปลูกในดิน ชุดยโสธร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ชูเกียรติ พระดาเวช, ณัฐพล คงดี และวันวิสาข์ ปั้นศักดิ์. 2560. ผลของระยะเวลาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด. น.110-118. ใน: การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ วันที่ 1-2 สิงหาคม 2560. กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. 2559. ปุ๋ยสั่งตัด. แหล่งข้อมูล: http://www.ssnm.info. ค้นเมื่อ 31 ตุลาคม 2566.

บุปผา โตภาคงาม. 2549. ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ขอนแก่น: ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปัทมา วิทยากร. 2547. ความอุดมสมบูรณ์ของดินขั้นสูง. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 423 หน้า.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ.กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์.

สืบสกุล ศิริยุทธ์. 2554. การประเมินระดับคลอโรฟิลล์ในใบด้วยดัชนีชี้วัดที่สัมพันธ์การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สุริพัฒน์ ไทยเทศ, ศิวิไล ลาภบรรจบ, ทัศนีย์ บุตรทอง และปริญญา การสมเจตน์. 2565. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมพันธุ์นครสวรรค์ 5 อายุเก็บเกี่ยวสั้นและทนแล้ง. แก่นเกษตร. 51(2): 375-386.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2566. แหล่งข้อมูล: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/baerdata/files/ สถานการณ์สินค้าเกษตรและแนวโน้มปี%202566-Final.pdf. ค้นเมื่อ 31 ตุลาคม 2566.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, สมควร คล้องช้าง, สมฤทัย ตันเจริญ, ชัชธนพร เกื้อหนุน, ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ, นงลักษ์ ปั้นลาย และรัชดา ปรัชเจริญวนิชย์. 2558. การตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ดีเด่นในพื้นที่ต่างๆ. โครงการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสมในสภาพแห้งแล้ง. หน้า 11-48. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

ศุภัครชา อภิรติกร และคริษฐ์สพล หนูพรหม.2564. การใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ประเมินระดับคลอโรฟิลล์ และไนโตรเจนในใบมะพร้าวน้ำหอม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 29: 498-507.

Back, G. R., and K. H. Hartge. 1986. Bulk density. pp. 363-375. In: A. Klute, Ed. Methods of soil analysis. Part 1, Agronomy No.9, 2 nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Barraclough, P.B. and J. Kyte. 2001. Effect of Water Stress on Chlorophyll Meter Readings in Winter Wheat. In: Plant Nutrition - Food Security and Sustainability of AgroEcosystems, Horst, W.J., M.K. Schenk, A. Burkert, N. Claassen, and H. Flessa et al. (eds.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands, ISBN: 978-0-7923-7105-2, pp: 722-723.

Black, C.A. 1965. Method of soil analysis. Part A. Agronomy 9. American Society of AgronomyMadison, Wisconsin.

Cottenie, A. 1980. Soil and Plant Testing as a Basis of Fertilizer Recommendations. FAO Soil Bulletin 38/2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Gardner, W. H.1982. Water content. Chapter 21 in Klute, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd Ed. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin.

Hawkins, T. S., E. S Gardiner, and G. S. Comer. 2009. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. Journal for Nature Conservation. 17(2): 123-27.

Hussain, F., K.F. Bronson, Y. Singh, B. Singh, and S. Peng. 2000. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. Agronomy Journal. 92: 875-879.

Jackson, M.L. 1960. Soil Chemical Analysis. Engleweed Cliff, New Jersy, 183-190.

Pervaiz, Z., K. Hussain, S.S.H. Kazmi, and K.H. Gill. 2004. Agronomic efficiency of different N:P ratios in rain fed wheat. International Journal of Agriculture and Biology. 6(3): 455–457.

Silva, M.A., J.L. Jifon, J.A.G. Silva, and V. Sharma. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology. 9: 193- 201.

Smith, M. 1992. CROPWAT a computer Program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No 26, FAO, Rome.

Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil Science. 37: 29 – 33.