

ผลของไนโตรเจนต่อดัชนีการเติบโต ผลผลิตและคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบของปาล์มน้ำมัน ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดทุ่งรังสิตในที่ราบภาคกลางของประเทศไทย

Effect of Nitrogen on Growth, Yield and Crude Palm Oil Indices of Oil Palm Growing on Tung Rangsit-Acid Sulfate Soils in the Central Plain, Thailand

อัญชนะ วิจะสิกะ¹ ณัฐพล จิตมัตย์^{1,*} สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์¹ และ เสาวนุช ถาวรพฤษ์¹

Anchana Wijasika¹, Natthapol Chittamart^{1,*}, Surachet Aramrak¹ and Saowanuch Tawornpruek¹

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 21 ตุลาคม 2564 Received: 21 October 2021

ปรับแก้ไข: 8 ธันวาคม 2564 Revised: 8 December 2021

รับตีพิมพ์: 17 ธันวาคม 2564 Accepted: 17 December 2021

* Corresponding author: fagrnp@ku.ac.th

ABSTRACT: The response of oil palms to nitrogen rates provides a guideline for effective nitrogen fertilizer recommendations for oil palms grown in acid sulfate soils. The objective of this study aimed to study the effect of nitrogen fertilizer rates on the growth and yield of oil palm grown in the acid sulfate soils of Tung Rangsit. The randomized complete block design was conducted with 6 treatments of N fertilizer rate with 2 replications (df = 11) including 0, 150, 300, 600, 750, and 900 g N plant⁻¹ year⁻¹. The field trials were carried out in 3 acid sulfate soil series i.e., Rangsit soil series 2 areas and Ongkharak soil series 1 area in Nakhon Nayok and Saraburi province. The responses on growth, yield, and oil quality of oil palm were investigated. The results showed that oil palm significantly differently responded to N fertilizer rate on dry bunch yield (P = 0.031), fresh fruit bunch yield per rai per year (P = 0.031), and bunch index (P = 0.026) where applying N fertilizer at a high rate of 600–900 g N plant⁻¹ year⁻¹ increased bunch yields higher than the rate under 600 g N plant⁻¹ year⁻¹ and raised N concentration in the 17th frond leaf to sufficient level. Additionally, the increase in N fertilizer rates did not significantly differentiate the quality of crude palm oil. Growth and yield of oil palm responses to N fertilizer rates significantly differed between studied sites, indicating that the site-specific environment and management of oil palm and soil N levels affected the response to nitrogen fertilizers. The results imply that applying N fertilizer at the rate of 600 g N plant⁻¹ year⁻¹ can preserve a high bunch yield of oil palm. However, the rates of N:K₂O:P₂O₅ should be balanced and kept at 1:3:0.77.

Keywords: Nitrogen rate, nitrogen responses, oil palm, acid sulfate soils, crude palm oil quality

บทคัดย่อ

การตอบสนองของปาล์มน้ำมันต่ออัตราไนโตรเจนเป็นแนวทางในการให้คำแนะนำปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดทุ่งรังสิต โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อกมีอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 6 ตำรับทดลอง จำนวน 2 ซ้ำ ($df = 11$) ได้แก่ 0, 150, 300, 600, 750 และ 900 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี โดยทำการทดลองในดินเปรี้ยวจัด 3 บริเวณ ได้แก่ ชุดดินรังสิต 2 บริเวณ และชุดดินองครักษ์ 1 บริเวณ ในจังหวัดนครนายกและสระบุรี โดยศึกษาการตอบสนองด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพน้ำมันปาล์ม ผลการศึกษา พบว่าปาล์มน้ำมันตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนด้านการให้ผลผลิตทะลายแห้ง ($P = 0.031$) และผลผลิตทะลายสดต่อไร่ ($P = 0.031$) และดัชนีทะลาย ($P = 0.026$) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงตั้งแต่ 600–900 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปีสามารถเพิ่มผลผลิตทะลายได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่ำกว่า 600 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี และสามารถเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบปาล์มที่ 17 ให้สูงขึ้นอยู่ในระดับเพียงพอ นอกจากนี้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้คุณภาพของน้ำมันปาล์มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของปาล์มน้ำมันแตกต่างกันระหว่างพื้นที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่า สภาพแวดล้อมและการจัดการปาล์มน้ำมันเฉพาะพื้นที่และระดับไนโตรเจนในดินมีผลต่อการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ผลการวิจัยเสนอแนะว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 600 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี สามารถรักษาผลผลิตทะลายปาล์มอยู่ในระดับสูง ทั้งนี้ ควรรักษาสสมดุลและอัตราส่วนของ $N:K_2O:P_2O_5$ ให้เท่ากับ 1:3:0.77

คำสำคัญ: อัตราปุ๋ยไนโตรเจน, การตอบสนองต่อไนโตรเจน, ปาล์มน้ำมัน, ดินกรดกำมะถัน, คุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ

บทนำ

พื้นที่ทุ่งรังสิตเป็นพื้นที่เป้าหมายในการจัดทำแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร และมีแผนจะขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันอย่างน้อย 30,000 ไร่ จากพื้นที่ปลูกปัจจุบันที่มีอยู่ราว 20,736 ไร่ ซึ่งกระจายอยู่ในจังหวัดปทุมธานี สระบุรี นครนายก ฉะเชิงเทรา พระนครศรีอยุธยา และกรุงเทพฯ การปลูกปาล์มน้ำมันในบริเวณทุ่งรังสิตส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดที่มีการยกทรงจากพื้นที่นาข้าวและปลูกปาล์มน้ำมันในร่องสวนส้มเขียวหวานที่เสียหายจากการระบาดของโรคและความไม่เหมาะสมของพื้นที่ ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในพื้นที่ทุ่งรังสิตทั้ง 6 จังหวัด สามารถเจริญเติบโตได้ดีแต่ยังให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันเฉลี่ยต่อพื้นที่ให้ผลผลิตประมาณ 2.52 ตันต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในภาคใต้ (3.028 ตันต่อไร่) โดยเฉพาะพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดในจังหวัดนครนายกซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด (เฉลี่ย 2.1 ตันต่อไร่) (Office of Agricultural Economics, 2019) นอกจากนี้ คำแนะนำปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันเฉพาะพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดยังมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้เกษตรกรในพื้นที่ใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำสำหรับดินทั่วไป ซึ่งอาจไม่เหมาะสมต่อสภาพดินที่เป็นกรดรุนแรง การศึกษาการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดของปาล์มน้ำมันจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการให้คำแนะนำปุ๋ยในพื้นที่ได้เป็นอย่างดี

การปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ทุ่งรังสิตประสบปัญหาในช่วงแรกของการปลูกปาล์มน้ำมัน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของดินเปรี้ยวจัดเป็นที่ลุ่มและดินมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงมาก (พีเอช 3.3–4.5) ซึ่งส่งเสริมให้ธาตุเหล็กและอะลูมิเนียมละลายและเป็นพิษต่อระบบรากพืช (Shamshuddin *et al.*, 2004) ทำให้ปาล์มน้ำมันเจริญ

เติบโตไม่สมบูรณ์ในช่วงแรกและผลผลิตทะลายน้อยลงตาม ปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชที่ทนต่อระดับพีเอชในพิสัยต่ำตั้งแต่ 3.9–4.2 (Auxtero and Shamshuddin, 1991) และเกษตรกรในพื้นที่มีการใช้วัสดุปูนเพื่อปรับพีเอชของดิน ซึ่งทำให้ปาล์มน้ำมันสามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตาม ในสภาพที่ดินเป็นกรดรุนแรงมาก การจัดการเพื่อลดข้อจำกัดของดินที่เหมาะสมจะส่งเสริมให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตสูง เช่น การยกระดับพีเอชของดินโดยการใส่ปูน การรักษาระดับน้ำหรือการยกร่องเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบไฟรต์ (Rifqi Hidayat and Fahmi, 2020) นอกจากนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชขึ้นต้นที่ต้องการธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตในปริมาณสูง โดยต้องการธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และแคลเซียม (Ca) ตามลำดับ ดังนี้ 196–275, 32–43, 296–398, 50–67 และ 84–115 กิโลกรัมต่อไร่ และสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิตทุก ๆ การเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายนสด 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม) โดยมีการสูญเสียธาตุ N, P, K, Mg และ Ca ไปประมาณ 2.94, 0.44, 3.71, 0.77 และ 0.81 กิโลกรัมต่อทะลายนสด 1 ตัน ตามลำดับ (Tan, 1976; Teh, 2016) ในบรรดาธาตุอาหารปาล์มน้ำมันต้องการไนโตรเจนและโพแทสเซียมในปริมาณสูงมากกว่าธาตุอื่น ๆ เพื่อสร้างชีวมวลผลผลิตและการขยายพื้นที่ใบ (Corley and Mok, 1972) ซึ่งธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและนิวคลีโอไทด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่อยู่ในโครโมโซม มีความสำคัญและเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ที่ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน การขาดไนโตรเจนในปาล์มน้ำมันส่งผลให้การเติบโตและผลผลิตทะลายน้อยลง ซึ่งอาการขาดไนโตรเจนมักพบมากในต้นปาล์มขนาดเล็กในดินที่มีการระบายไม่ดี และในสภาพที่เป็นที่ลุ่มน้ำท่วมขัง ซึ่งอาจเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซไนตรัสออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน และสูญเสียไปจากการชะละลาย (Pardon *et al.*, 2016)

การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะและชนิดของดินที่ใช้ปลูกปาล์มน้ำมัน โดยอัตราไนโตรเจนที่แนะนำทั่วไปผันแปรระหว่าง 600–1,200 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี เพื่อรักษาระดับผลผลิตทะลายนให้สูงกว่า 5.0 ตันน้ำมันต่อเฮกตาร์ (Ng, 2002) ซึ่งคำแนะนำปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดยังมีอยู่จำกัดโดยเฉพาะในพื้นที่ราบภาคกลาง ซึ่งมีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้น ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดทุ่งรังสิตในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการธาตุไนโตรเจนเพื่อส่งเสริมการเติบโตและเพิ่มผลผลิต รวมถึงคุณภาพของน้ำมันปาล์ม และทำให้การปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดเกิดความยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างดินตั้งอยู่ในพื้นที่สวนปาล์มน้ำมันตัวแทนในภาคกลางจำนวน 3 พื้นที่ (C-1 ถึง C-3) ตั้งอยู่ในจังหวัดนครนายก 2 พื้นที่ และจังหวัดสระบุรี 1 พื้นที่ โดยพื้นที่ที่ 1 (C-1) อยู่ในศูนย์ศึกษาพัฒนาสวนส้มร่วงทุ่งรังสิต ตำบลบ้านพรึก อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก (Lat. 14.2486250: Long. 100.9672230) ปาล์มน้ำมันที่ใช้ทดลองอายุ 10 ปี พื้นที่ที่ 2 (C-2) อยู่ในสวนปาล์มของบริษัท อาร์ดีเกษตรพัฒนา จำกัด ศูนย์นครนายก บ้านโพธิ์แทน อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก (Lat. 14.20228460: Long. 100.9717650) ปาล์มน้ำมันที่ใช้ทดลองอายุ 6 ปี และพื้นที่ที่ 3 (C-3) อยู่ในสวนปาล์มของบริษัท สันตุเศรษฐ์ จำกัด ตำบลหนองหมู อำเภอมหาราช จังหวัดสระบุรี (Lat. 14.3029250: Long. 100.9231960) ปาล์มน้ำมันที่ใช้ทดลองอายุ 10 ปี ลักษณะที่สำคัญของพื้นที่ที่ 1 (C-1) และพื้นที่ที่ 3 (C-3) สามารถจำแนกเป็นชุดดินรังสิต (Rs) (Very-fine, mixed, semiactive, acid,

isohyperthermic Sulfic Endoaquepts) โดยมีลักษณะและสมบัติดินเป็นดินลึก ดินบนเป็นดินเหนียว สีดำหรือสีเทาเข้ม มีจุดประ สีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (พีเอชอยู่ในพิสัย 3.0–3.5) และลักษณะของดินในพื้นที่ที่ 2 (C-2) สามารถจำแนกเป็นชุดดินองครักษ์ (Ok) (Very-fine,

mixed, semiactive, acid, isohyperthermic Sulfic Endoaquepts) ลักษณะและสมบัติดินเป็นดินลึก ดินบนเป็นดินเหนียว มีสีดำหรือสีเทาเข้ม มีจุดประ สีแดงปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่ ปฏิกริยาดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (พีเอช 3.5) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่และสมบัติดินเปรียบเทียบจัดแสดงใน Table 1

Table 1 General properties of oil palm growing acid sulfate soils in Tung Rangsit

Studied site	Soil series	pH (1:1)	Sand (-----%-----)	Silt	Clay	ECe (dS m ⁻¹)	Total N (g kg ⁻¹)	Avail. P (-----mg kg ⁻¹ -----)	Exch. K
C-1	Rs	4.2	9.1	24.6	66.2	0.1	2.1	52.0	151
C-2	Ok	3.3	2.6	29.5	67.9	0.3	2.1	5.7	169
C-3	Rs	4.5	2.7	41.2	56.1	0.3	2.8	91.0	198

Rs = Rangsit soil series, Ok = Ongkharak soil series, pH = soil pH_w measured in a 1:1 soil:water suspension, ECe = electrical conductivity measured by conductivity meter, Total N = total nitrogen, Avail. P = available phosphorus, Exch. K = exchangeable potassium. All parameters were measured by methods described in Estefan *et al.* (2013)

แผนการทดลองและดำรับทดลอง

ทำการทดลองในภาคสนามโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized complete block design; RCBD) โดยกำหนดให้พื้นที่ทดลองเป็นบล็อก โดยในแต่ละบล็อกได้รับดำรับทดลองปุ๋ย 6 ดำรับทดลอง และแต่ละดำรับทดลองใช้ต้นปาล์มน้ำมันจำนวน 2 ต้น (df = 11) ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงใน Table 2 ความแตกต่างของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรียที่ใช้ในการทดลองเกิดจากการเพิ่มและลดในอัตรา 0.25 เท่า จากอัตราแนะนำโดย Chittamart *et al.* (2016) ซึ่งเท่ากับ 600 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี ทำให้ได้อัตราปุ๋ยดังนี้ T1 = 0, T2 = 150, T3 = 300, T4 = 600, T5 = 750 และ

T6 = 900 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตใส่ในรูปทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในอัตราเทียบเท่า 460 กรัมฟอสเฟตต่อต้นต่อปี และปุ๋ยโพแทชใส่ในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตราเทียบเท่า 1,800 กรัมซัลเฟตต่อต้นต่อปี ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในรูปกีเซอไรต์ในอัตราเทียบเท่า 270 กรัมแมกนีเซียมต่อต้นต่อปี และใส่ปุ๋ยบอแรกซ์ในอัตราเทียบเท่า 62 กรัมต่อต้นต่อปี โดยใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ปุ๋ยโพแทช ปุ๋ยแมกนีเซียม และปุ๋ยบอแรกซ์ในอัตราเท่ากันทุกดำรับทดลอง ทั้งนี้ เพื่อศึกษาผลของไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว จากนั้น ใส่ปุ๋ยรอบทรงพุ่มรัศมี 1.5 เมตร โดยใส่ปุ๋ยแบบแบ่งใส่ 2 ครั้ง ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 และเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562

Table 2 Nitrogen rate treatments and rates of chemical fertilizer applied in the experiment

Treatment	N rates	Urea (46-0-0)	TSP (0-46-0)	MOP (0-0-60)	Kieserite MgSO ₄	Borax 48%
(-----g palm ⁻¹ year ⁻¹ -----)						
T1 (Control)	0	0	1,000	3,000	1,000	167
T2 (0.25)	150	326	1,000	3,000	1,000	167
T3 (0.5)	300	652	1,000	3,000	1,000	167
T4 (1)	600	1,304	1,000	3,000	1,000	167
T5 (1.25)	750	1,630	1,000	3,000	1,000	167
T6 (1.50)	900	1,957	1,000	3,000	1,000	167

TSP = triple superphosphate, MOP = muriate of potash (KCl)

การบันทึกข้อมูลพืช

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันในแต่ละตำบลทดลอง จำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ ช่วงเริ่มทดลอง ที่ 6 เดือน และ 12 เดือน โดยเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 ปี (เริ่มปี พ.ศ. 2561 ถึงปี พ.ศ. 2563) พร้อมทั้งนับจำนวนช่อดอกเพศผู้และช่อดอกเพศเมีย ในช่วงเริ่มการทดลอง และสุ่มเก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันตำแหน่งทางใบที่ 17 โดยปกติปาล์มน้ำมันมีการสร้างทางใบรอบลำต้น โดยใน 1 รอบ มี 8 ทางใบ การกำหนดตำแหน่งทางใบที่ 17 พิจารณาจากการเริ่มนับทางใบที่ 1 ซึ่งเป็นทางใบที่มีอายุน้อยที่สุดและใบย่อยคล้อยเต็มที่และทำมุมตั้งฉากกับทางใบที่ 1 การพัฒนาทางใบของปาล์มน้ำมันจะมีการเวียนของทางใบได้ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ดังนั้น ทางใบที่ 1, 6, 9, 17 และ 25 จะอยู่ในแนวเดียวกัน โดยทางใบที่ 17 จะอยู่ในชั้นทางใบที่ 4 จากชั้นของทางใบที่ 1 ซึ่งเป็นใบดัชนีเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในช่วงเริ่มต้นทดลองในปี พ.ศ. 2561 และช่วงหลังการใส่ปุ๋ยแล้ว 6 เดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบดัชนี

ในแต่ละพื้นที่ศึกษาทำการบันทึกการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน และบันทึกน้ำหนักทะลายปาล์มสดรายปี บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตในสนาม

ได้แก่ ความสูงของลำต้นปาล์มน้ำมัน วัดจากฐานลำต้นถึงฐานใบยอดที่คลี่เต็มที่ จำนวนใบย่อย ความกว้างและความยาวเฉลี่ยของใบย่อย และความกว้างและความหนาของโคนทางใบตำแหน่งที่ 17 จากนั้น นำข้อมูลที่เก็บจากภาคสนามมาคำนวณดัชนีการเติบโตโดยวิธีการไม่ทำลายตัวอย่างตามวิธีของ Corley *et al.* (1971) และ Lewis *et al.* (2020) ประกอบด้วย พื้นที่ของทางใบที่ 17 (17th frond leaf area; 17th LA) น้ำหนักแห้งจากทางใบที่ 17 (17th frond dry matter; 17th FDm) น้ำหนักแห้งทะลาย (Dry matter of fresh fruit bunch; DFFB) ความหนาแน่นของลำต้นแห้ง (S) โดยประเมินจากข้อมูลอายุปาล์มน้ำมัน และน้ำหนักแห้งลำต้น (Trunk dry matter; TDm) ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังสมการที่ 1-5

$$17^{\text{th}} \text{ LA} = 0.55 \times (n \times lw) \quad \text{----- (1)}$$

โดย 17th LA คือ พื้นที่ของทางใบที่ 17 (ตารางเมตร) n = จำนวนใบย่อย l = ความยาวใบย่อย และ w = ความกว้างใบย่อย

$$17^{\text{th}} \text{ FDm} = 0.1023P + 0.2062 \quad \text{----- (2)}$$

โดย 17th FDm คือ น้ำหนักแห้งจากทางใบที่ 17 (กิโลกรัม) และ P คือ ผลคูณของความกว้างและความหนาของก้านทางใบ ซึ่งเป็นช่วงต่อระหว่างก้านทางใบและแกนกลางใบซึ่งเป็นจุดเกิดของใบย่อยล่างสุด

$$DFFB = 0.5472F - 0.372 \quad \text{----- (3)}$$

โดย DFFB คือ น้ำหนักแห้งทะลาย และ F คือ น้ำหนักทะลายสด (กิโลกรัม)

$$S = 7.62T + 83 \quad \text{----- (4)}$$

โดย S คือ ความหนาแน่นลำต้นแห้งของปาล์มน้ำมัน (กรัมต่อลิตร) และ T คือ อายุปาล์มน้ำมันหลังปลูก

$$TDm = V \times S \quad \text{----- (5)}$$

โดย TDm คือ น้ำหนักแห้งลำต้น (กิโลกรัม) V คือ ปริมาตรของต้นปาล์มน้ำมัน (ลิตร) และ S คือ ความหนาแน่นลำต้นแห้งของปาล์มน้ำมัน (กรัมต่อลิตร)

นำข้อมูลที่คำนวณได้จากสมการที่ 1-5 มาคำนวณตัวแปรด้านการเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันตามวิธีของ Corley *et al.* (1971) และ Lewis *et al.* (2020) ประกอบด้วย ผลผลิตทะลายแห้ง (Dry bunch yield; Y) คือ น้ำหนักแห้งทะลายทั้งหมด น้ำหนักแห้งการเติบโตทางลำต้น (Vegetative dry matter; VDM) คือ ผลรวมของน้ำหนักแห้งจากทางใบที่ 17 (สมการที่ 2) และน้ำหนักแห้งลำต้น (สมการที่ 5) อัตราการเจริญเติบโตของพืช (Crop growth rate; CGR) คือ ผลรวมของผลผลิตทะลายแห้งและน้ำหนักแห้งการเติบโตทางลำต้น ดัชนีทะลาย (Bunch index; BI) ดัชนีพื้นที่ใบต่อพื้นที่ (Leaf area index; LAI) และอัตราการสังเคราะห์แสงต่อพื้นที่ใบสุทธิ (Net assimilation rate; NAR) ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังสมการที่ 6-11

$$Y = DFFB \quad \text{----- (6)}$$

โดย Y คือ ผลผลิตทะลายแห้ง (กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) และ DFFB คือ น้ำหนักแห้งทะลาย

$$VDM = (17^{th} FDm \times 5) + TDm \quad \text{----- (7)}$$

โดย VDM คือ น้ำหนักแห้งการเติบโตทางลำต้น (กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) 17th FDm คือ น้ำหนักแห้งจากทางใบที่ 17 TDm คือ น้ำหนักแห้งลำต้น และ 5 คือ จำนวนใบต่อต้นต่อปี (เฉลี่ย 5 ใบต่อต้นต่อปี)

$$CGR = Y + VDM \quad \text{----- (8)}$$

โดย CGR คือ อัตราการเจริญเติบโตของพืช (กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) Y คือ ผลผลิตทะลายแห้ง และ VDM คือ น้ำหนักแห้งการเติบโตทางลำต้น

$$BI = \frac{Y}{(Y + VDM)} \quad \text{----- (9)}$$

โดย BI คือ ดัชนีทะลาย Y คือ ผลผลิตทะลายแห้ง และ VDM คือ น้ำหนักแห้งการเติบโตทางลำต้น

$$LAI = 17^{th} LA \times nL \times nPalm \quad \text{----- (10)}$$

โดย LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบต่อพื้นที่ 17th LA คือ พื้นที่ของทางใบที่ 17 เฉลี่ยในรอบ 1 ปี nL คือ จำนวนใบต่อต้น เท่ากับ 40 และ nPalm คือ จำนวนต้นปาล์มต่อไร่ เท่ากับ 22 ต้น ที่ระยะปลูก 9 × 9 × 9

$$NAR = \frac{CGR}{LAI} \quad \text{----- (11)}$$

โดย NAR คือ อัตราการสังเคราะห์แสงต่อพื้นที่ใบสุทธิ CGR คือ อัตราการเจริญเติบโตของพืช และ LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบต่อพื้นที่

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในเนื้อเยื่อใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17

วิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันที่ 17 โดยเก็บตัวอย่างใบย่อย (Leaflet) ตรงบริเวณส่วนกลางของทางใบทั้งสองข้างข้างละ 3 ใบย่อย รวมเป็น 6 ใบย่อยต่อดัน จากนั้น ตัดส่วนโคนใบและปลายใบออกให้เหลือแต่ส่วนกลางใบย่อยยาวประมาณ 15–20 เซนติเมตร แล้วนำส่วนของเส้นกลางใบออก เช็ดทำความสะอาดด้วยผ้าสะอาด แล้วตัดให้เป็นชิ้นเล็ก นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 65–70 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดให้ละเอียดเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารโดยย่อยตัวอย่างใบด้วยกรด $H_2SO_4 + Se$ (Sahrawat *et al.*, 2002) แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน (Total N) โดยวิธี Kjeldahl (Estefan *et al.*, 2013)

การวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในเนื้อผลปาล์ม

วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างผลปาล์ม น้ำมันที่แยกจากทะลายปาล์มที่สุ่มจากต้นปาล์มน้ำมัน โดยแยกเนื้อปาล์มน้ำมัน (Mesocarp) กับเมล็ดปาล์ม (Kernel) ออกจากกัน และนำเนื้อปาล์มไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น นำเนื้อปาล์มแห้ง 3–5 กรัม ไปสกัดน้ำมันปาล์มโดยการสกัดด้วยสาร n-hexane ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง นำสารสกัดที่ได้ไประเหยสาร hexane ให้แห้ง (Evaporation) โดยระเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่ความดัน 200 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิของอ่างควบคุมที่ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ในตู้ดูดควัน (Widodo *et al.*, 2019) และคำนวณหาร้อยละน้ำมันต่อเนื้อผลปาล์มแห้ง (Dry basis) (Tantanawat *et al.*, 2020) ดังสมการที่ 12

$$\text{Oil content (\%)} = \frac{W_{bc} - W_b}{W_p} \times 100 \text{ ----- (12)}$$

โดย Oil content คือ ปริมาณน้ำมันต่อเนื้อผลปาล์มแห้ง (ร้อยละ) W_{bc} คือ น้ำหนักน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ และ W_b คือ น้ำหนักผลปาล์มแห้งก่อนการสกัด

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์และดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสี

นำน้ำมันปาล์มที่สกัดได้จากเนื้อผลปาล์มมาทำละลายที่อุณหภูมิ 60–70 องศาเซลเซียส คนให้เข้ากัน และกรองเอาตะกอนหรือสารแขวนลอยออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1) ซึ่งน้ำมันปาล์มที่กรองได้ 0.1 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วย isooctane จากนั้น นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 269 และ 446 นาโนเมตร จากนั้น นำไปคำนวณหาปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสี (Deterioration of bleachability index; DOBI) ดังสมการที่ 13 และ 14 ตามลำดับ (Nokkaew *et al.*, 2019)

$$\text{Carotenoids} = \frac{383 \times A_{446} \times V}{W \times 100} \text{ ----- (13)}$$

โดย Carotenoids คือ ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 383 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient) A_{446} คือ ค่าการดูดกลืนแสง UV-vis ที่ความยาวคลื่น 446 นาโนเมตร V คือ ปริมาตรของ isooctane (มิลลิลิตร) และ W คือ น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม (กรัม)

$$\text{DOBI} = \frac{A_{446}}{A_{269}} \text{ ----- (14)}$$

โดย DOBI คือ ดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสี A_{446} คือ ค่าการดูดกลืนแสง UV-vis ที่ความยาวคลื่น 446 นาโนเมตร และ A_{269} คือ ค่าการดูดกลืนแสง UV-vis ที่ความยาวคลื่น 269 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณกรดโอเลอิก (Oleic acid)
 นำน้ำมันปาล์มที่ระเหยแห้ง จำนวน 10 กรัม
 ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติม alcohol
 ether mixture 50 มิลลิลิตร และ 1% phenolphthalein

indicator 1 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่ได้ไป
 ไตเตรตกับ 0.1 M NaOH จนถึงจุดยุติ (สารละลายเป็น
 สีชมพู) และคำนวณปริมาณกรดโอเลอิกตามวิธีของ
 Japir *et al.* (2017)

$$\% \text{FFA as oleic acid} = \frac{(V - B) \times N \times 28.2}{\text{weight of sample in gram}} \left(\frac{\text{mg NaOH}}{\text{gram of sample}} \right) \text{----- (15)}$$

โดย %FFA คือ กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ) V คือ ปริมาตร
 ของ NaOH ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง B คือ ปริมาตรของ
 NaOH ของ Blank N คือ ความเข้มข้นของ NaOH ค่า
 คงที่ 28.2 คือ มวลโมเลกุลของกรดโอเลอิก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลด้วยสถิติเชิง
 พหุพจน์ และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of
 variance; ANOVA) ของข้อมูลการเติบโตและผลผลิต
 ของปาล์มน้ำมันที่ได้รับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกัน
 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยวิธี Duncan's
 new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น
 ร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ลักษณะของต้นปาล์มช่วงเริ่มการทดลองปุ๋ย ไนโตรเจน

ข้อมูลการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันก่อน
 เริ่มการทดลองในปี พ.ศ. 2561 แสดงไว้ใน Table 3
 โดยพบว่า ปาล์มน้ำมันมีความสูงเฉลี่ยในทุกบริเวณที่
 ศึกษาอยู่ในช่วง 106–247 เซนติเมตร และกำลังออก
 ทะลาย 3.20–12.80 ทะลายต่อต้น และมีดอกเพศเมีย
 1.30–1.80 ช่อดอกต่อต้น มากกว่าดอกเพศผู้ที่มี
 0.60–1.20 ช่อดอกต่อต้น ส่วนพื้นที่ของทางใบที่ 17
 ในช่วงเริ่มการทดลองมีค่าอยู่ในพิสัย 5.70–6.85 ตาราง
 เมตร และน้ำหนักแห้งจากทางใบที่ 17 อยู่ในพิสัย
 1.05–1.69 กิโลกรัม ความแปรปรวนของการเติบโต
 ของปาล์มน้ำมันในแต่ละพื้นที่ที่ศึกษาเป็นผลจากการ
 จัดการที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงศึกษา
 ผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนโดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบ
 การเปลี่ยนแปลงข้อมูลการเติบโตของปาล์มน้ำมัน
 จากจุดเริ่มต้นของการทดลองในแต่ละพื้นที่ (Growth
 increment)

Table 3 Initial growth parameters of oil palm grown on acid sulfate soils (n = 12)

Studied sites (Soil series)	Height (cm)	FFB (-----count palm ⁻¹ -----)	MI	FI	17 th LA (m ²)	17 th FDM (kg)
C-1 (Rs)	233 ± 61	3.20 ± 2.14	1.20 ± 1.17	1.80 ± 1.29	5.98 ± 0.98	1.68 ± 0.23
C-2 (Ok)	106 ± 21	3.60 ± 2.80	1.20 ± 0.82	1.30 ± 0.88	5.70 ± 1.16	1.05 ± 0.06
C-3 (Rs)	247 ± 31	12.80 ± 1.86	0.60 ± 0.80	1.40 ± 0.49	6.85 ± 0.77	1.69 ± 0.19
Minimum	106	3.20	0.60	1.30	5.70	1.05
Maximum	247	12.80	1.20	1.80	6.85	1.69
Mean	195	6.53	1.00	1.50	6.18	1.47

Rs = Rangsit soil series, Ok = Ongkharak soil series, FFB = fresh fruit bunch per palm, MI = male inflorescence, FI = female inflorescence, 17th LA = 17th frond leaf area, 17th FDM = 17th frond dry matter

ผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงความสูง พื้นที่ของทางใบที่ 17 และน้ำหนักแห้งทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด

หลังจากใส่ปุ๋ยตามตำรับทดลอง 3 เดือน ได้บันทึกผลและเก็บข้อมูลพื้นที่ของทางใบที่ 17 ในแต่ละตำรับทดลองในช่วงปี พ.ศ. 2561–2563 พบว่า พื้นที่ของทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมันในปี พ.ศ. 2562 มีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงเริ่มการทดลองทุกพื้นที่และทุกตำรับการทดลอง (Figure 1) ยกเว้นในพื้นที่ C-3 มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ของทางใบที่ 17 ในปี พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างจากช่วงเริ่มต้นการทดลอง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากปาล์มน้ำมันมีระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนอยู่ในระดับที่เพียงพอ (ความเข้มข้นของไนโตรเจนมากกว่า 2.5% w/w) ในช่วงเริ่มการทดลอง ทำให้การตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนด้านการขยายขนาดพื้นที่ใบน้อยกว่าพื้นที่ C-1 และ C-2 และเมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลของตำรับการทดลอง พบว่า พื้นที่ของทาง

ใบที่ 17 เฉลี่ยของปาล์มน้ำมันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากปาล์มน้ำมันจำเป็นต้องใช้เวลาในการพัฒนาส่วนของใบจากการได้รับปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งไนโตรเจนบางส่วนอาจถูกดูดไปใช้ในส่วนอื่น ๆ ของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ราก ลำต้น และทะลายปาล์ม และอาจเป็นผลจากปาล์มน้ำมันมีระดับความเข้มข้นไนโตรเจนอยู่ในระดับที่เพียงพอ ซึ่งปาล์มน้ำมันจะไม่ตอบสนองเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ไนโตรเจนมีบทบาทในการสร้างใบและขยายขนาดของใบปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง โดยเฉพาะใบตำแหน่งที่ 17 ชุดใหม่ที่เกิดช่วงปี พ.ศ. 2563 ซึ่งปาล์มน้ำมันมีขนาดพื้นที่ใบเพิ่มสูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2562 ในทุกพื้นที่ ยกเว้น พื้นที่ C-2 ที่พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากปี พ.ศ. 2562 ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากพื้นที่ C-2 ไม่มีการยกทรงน้ำทำให้มีภาวะขาดน้ำในช่วงฤดูแล้ง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนลดลง

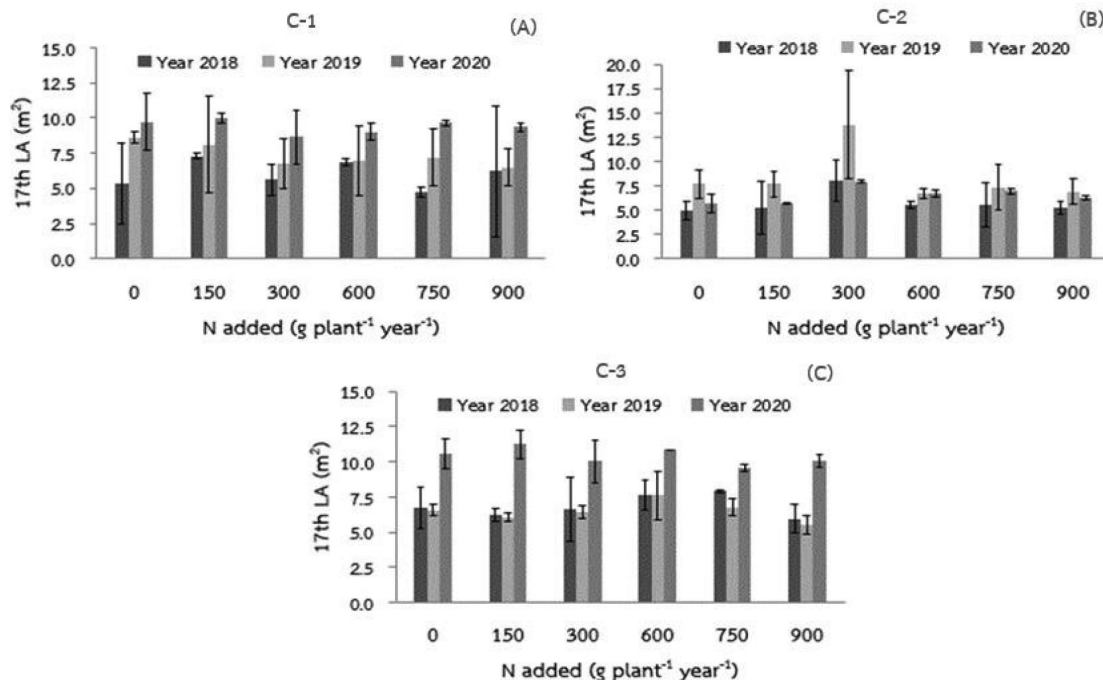


Figure 1 Change of 17th frond leaf area (17th LA) of oil palm after N application in (A) Rangsit soil series (C-1), (B) Ongkharak series (C-2), and (C) Rangsit soil series (C-3)

ส่วนการตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนโดยพิจารณาจากน้ำหนักแห้งทางใบที่ 17 ของทุกพื้นที่ทดลอง พบว่า น้ำหนักแห้งทางใบที่ 17 มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากใส่ปุ๋ย 3 เดือน และเพิ่มสูงขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2563 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างดำรับทดลองปุ๋ยไนโตรเจน (Figure 2) การที่น้ำหนักแห้งทางใบที่ 17 เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปาล์มน้ำมันมีขนาดพื้นที่ใบสูงขึ้นจากการทดลอง ซึ่งลักษณะ

การตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับพื้นที่ใบปาล์มใบที่ 17 ที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Corley and Mok (1972) และ Tobing *et al.* (2018) ซึ่งพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อขนาดพื้นที่ใบ จำนวนใบ และการขยายขนาดเส้นรอบวงของต้นปาล์มน้ำมัน ซึ่งส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสง (Net assimilation rate) เพิ่มขึ้น (Corley and Mok, 1972; Mohidin *et al.*, 2015)

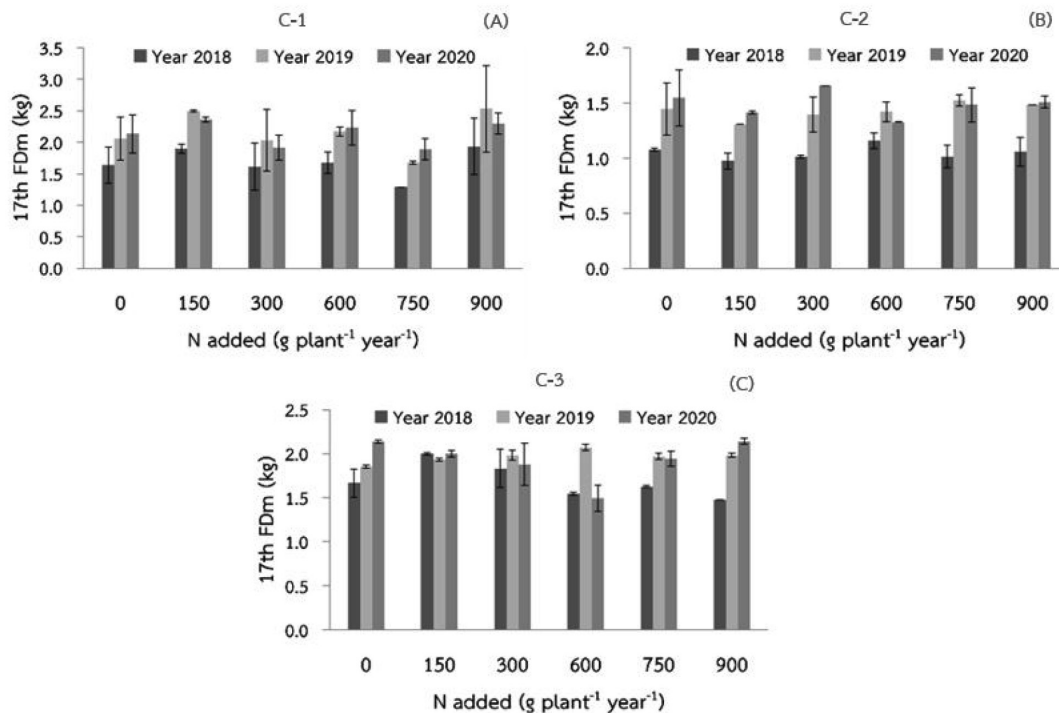


Figure 2 Change of 17th frond dry matter (17th FDM) of oil palm after N application in (A) Rangsit soil series (C-1), (B) Ongkharak series (C-2), and (C) Rangsit soil series (C-3)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบส่วนต่างของความสูง (ΔH) พื้นที่ของทางใบที่ 17 ($\Delta 17^{\text{th}}$ LA) และน้ำหนักแห้งทางใบที่ 17 ($\Delta 17^{\text{th}}$ FDM) ที่เพิ่มขึ้นของปาล์มน้ำมันที่ได้รับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่างกันเมื่อสิ้นสุดการทดลองในช่วงปี พ.ศ. 2563 (Table 4) พบว่า ส่วนต่าง ความสูงเฉลี่ย (0.83–28.17 เซนติเมตร) พื้นที่ใบ (2.11–2.97 ตารางเมตร) และน้ำหนักแห้งทางใบ (0.22–0.49 กิโลกรัม) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่ารับทดลอง เมื่อพิจารณา ในเชิงพื้นที่ พบว่า ส่วนต่างของพื้นที่ใบของปาล์มน้ำมัน เพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P = 0.002$) โดยพื้นที่ C-3 (3.54 ± 1.11 ตารางเมตร) และ C-1 (3.38 ± 1.07 ตารางเมตร) มีการเปลี่ยนแปลง ของพื้นที่ใบมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า นอกจากปริมาณ ปุ๋ยไนโตรเจนแล้ว ปริมาณธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะ

ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่ C-3 และ C-1 มีค่าอยู่ในระดับสูง (Table 1) และมีการ ยกร่องน้ำทำให้มีน้ำเพียงพอ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ พื้นที่ใบ ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Mohidin *et al.* (2015) ซึ่งได้ศึกษาผลของระดับ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเติบโต ของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน พบว่า ต้นกล้าที่ได้รับปริมาณ ไนโตรเจนส่งผลต่อการเจริญเติบโต ได้แก่ พื้นที่ใบ ทั้งหมด สัดส่วนลำต้นต่อราก (Shoot : root ratio) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบต่อต้น และ ปริมาณคลอโรฟิลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้ยังพบว่า ปริมาณความ เข้มข้นของไนโตรเจนที่สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจทำให้เป็นพิษต่อต้นปาล์มน้ำมัน โดยจะทำให้การ เติบโตลดลงได้เช่นกัน การขาดไนโตรเจนของปาล์ม

น้ำมันมีผลต่อขนาด องค์ประกอบ และหน้าที่สำคัญของคลอโรพลาสต์ (Lawlor and Cornic, 2002) ซึ่งจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช และหากมีความเข้มข้น

ของไนโตรเจนโดยเฉพาะแอมโมเนียมในคลอโรพลาสต์สูงจะทำให้เป็นพิษต่อโครงสร้างและลดการสังเคราะห์แสงของพืช (Puritch and Barker, 1967)

Table 4 Comparison on growth increments between initial time and at the end of the experiment

Factor	n	ΔH (cm)	$\Delta 17^{th}$ LA (m ²)	$\Delta 17^{th}$ FDM (kg)
Treatment				
T1	3	20.83 $\pm$ 34.47	2.97 $\pm$ 2.01	0.48 $\pm$ 0.02
T2	3	0.83 $\pm$ 25.04	2.73 $\pm$ 2.25	0.31 $\pm$ 0.26
T3	3	11.83 $\pm$ 5.08	2.11 $\pm$ 1.94	0.33 $\pm$ 0.30
T4	3	7.33 $\pm$ 24.18	2.15 $\pm$ 1.05	0.22 $\pm$ 0.31
T5	3	28.17 $\pm$ 29.78	2.67 $\pm$ 1.97	0.46 $\pm$ 0.14
T6	3	13.33 $\pm$ 18.79	2.77 $\pm$ 1.55	0.49 $\pm$ 0.16
F-test		ns	ns	ns
P-value		0.820	0.886	0.515
CV (%)		8.41	3.71	5.39
Studied site				
C-1 (Rs)	6	20.17 $\pm$ 19.62	3.38 $\pm$ 1.07 ^a	0.46 $\pm$ 0.12
C-2 (Ok)	6	5.00 $\pm$ 15.08	0.77 $\pm$ 0.54 ^b	0.44 $\pm$ 0.15
C-3 (Rs)	6	16.00 $\pm$ 31.41	3.54 $\pm$ 1.11 ^a	0.24 $\pm$ 0.29
F-test		ns	**	ns
P-value		0.589	0.002	0.166
CV (%)		8.41	3.71	5.39

T1 = no applying N (Control), T2, T3, T4, T5, and T6 = applying N at the rate of 150, 300, 600, 750, and 900 g N plant⁻¹ year⁻¹, respectively. Rs = Rangsit soil series, Ok = Ongkharak soil series, CV = coefficient of variation, ΔH = incremental change of trunk height, $\Delta 17^{th}$ LA = incremental change of 17th frond leaf area, $\Delta 17^{th}$ FDM = incremental change of 17th frond dry matter. ** significant at $P < 0.01$, ns = not significant. Different letters in the same column indicate a statistically significant difference at $P < 0.05$.

ผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในทางใบที่ 17

ระดับความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในเนื้อเยื่อใบปาล์มน้ำมันตำแหน่งที่ 17 ในช่วงก่อน

(Before N added) และหลังใส่ปุ๋ย (After N added) ตามอัตราต่าง ๆ ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 บริเวณ (Figure 3) แสดงให้เห็นว่า ในช่วงก่อนการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต้นปาล์มน้ำมันที่ใช้ทดลองในแต่ละตำรับทดลองมี

ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำกว่าระดับค่าวิกฤต (ต่ำกว่า 2.5 %w/w) (Fairhurst and Mutert, 1999) ทุกพื้นที่ศึกษา แต่หลังจากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแล้ว 3 เดือน พบว่า ระดับความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าในช่วงก่อนการใส่ปุ๋ยและอยู่ในระดับที่เพียงพอ (2.6–2.9 %w/w) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อใบปาล์มน้ำมันไม่แตกต่างกันระหว่างค่ารับทดลอง อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในรูปของปุ๋ยยูเรีย โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตราตั้งแต่ 600 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี ทำให้ปาล์มน้ำมันในทุกพื้นที่สะสมไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันและรักษาระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนให้ใกล้เคียงหรือสูงกว่าค่าวิกฤตได้ ซึ่งส่งผลต่อการให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในพื้นที่ C-3 อยู่ในระดับสูงกว่า

พื้นที่อื่น ๆ เป็นผลจากก่อนการทดสอบอัตราปุ๋ยเกษตรกรมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมาอย่างต่อเนื่องในช่วงก่อนการทดลอง จึงทำให้ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันในค่ารับควบคุมอยู่ในระดับสูงโดยมีค่าใกล้เคียงกับระดับที่เพียงพอ (2.5% w/w) แม้ว่าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตราต่ำก็สามารถเพิ่มระดับไนโตรเจนไว้สูงกว่าระดับวิกฤต ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของปาล์มน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงระดับไนโตรเจนในเนื้อเยื่อใบปาล์มน้ำมันน้อยเนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในพืช (Remobilization) เช่น สร้างใบอ่อน และสร้างทะลายปาล์มน้ำมัน เป็นต้น เพื่อลดระดับความเป็นพิษต่อคลอโรพลาสต์ (Puritch and Barker, 1967; Mohidin *et al.*, 2015) ดังนั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนควรพิจารณาระดับความเข้มข้นในใบร่วมด้วย เพื่อลดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

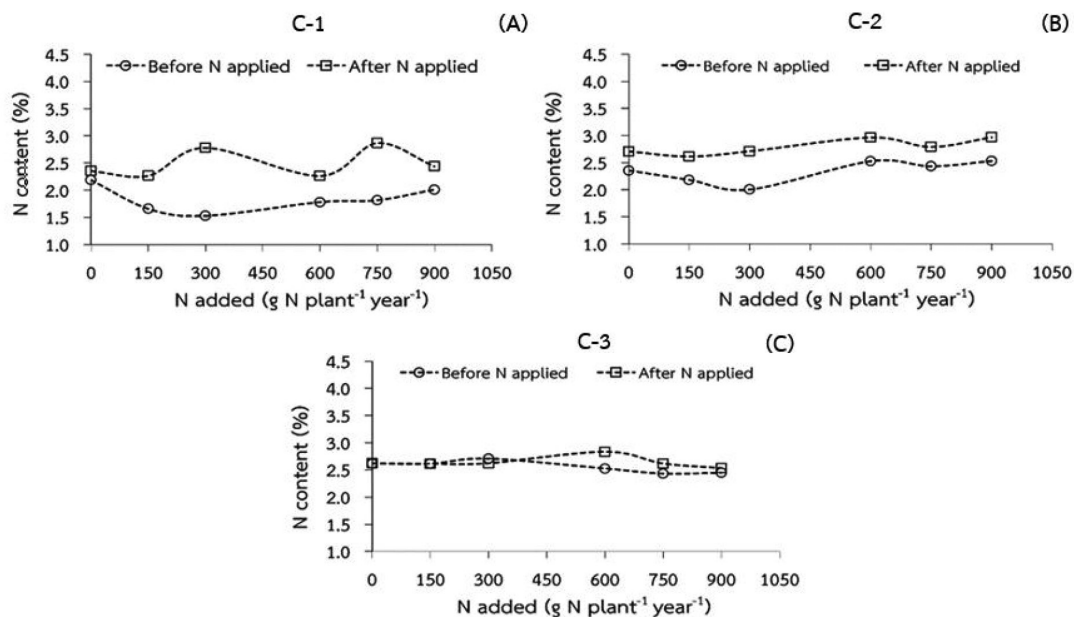


Figure 3 Change of N content in the 17th leaf of oil palm before and after N application in studied acid sulfate soils collected from (A) Rangsit soil series (C-1), (B) Ongkharak series (C-2), and (C) Rangsit soil series (C-3)

ผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อดัชนีการเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

ผลการเปรียบเทียบอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อดัชนีการเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตทะลายแห้ง (Y) ดัชนีทะลาย (BI) และผลผลิตทะลายสด (Productivity) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 5) โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 900 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี (T6) ให้ผลผลิตทะลายสูงที่สุดไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม (T1) โดยในตำรับควบคุมถึงแม้ว่าจะไม่ได้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน แต่ให้ผลผลิตทะลายสูง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากอิทธิพลร่วมของปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ใส่ในตำรับทดลอง ประกอบกับในพื้นที่ทดลองปาล์มน้ำมันมีระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17 อยู่ในระดับที่เพียงพอหลังการใส่ปุ๋ย (อยู่ในช่วง 2.6–2.9 %w/w) ซึ่งปาล์มน้ำมันสามารถเคลื่อนย้ายและลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ เมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้เกิดสมดุลระหว่างธาตุอาหารทั้งสามส่งผลให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นในตำรับทดลอง T2–T6 (อัตรา 150–900 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี) ทำให้สัดส่วนธาตุอาหารเปลี่ยนไป จึงส่งผลต่อการเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันเนื่องจากผลร่วมของธาตุทั้งสามมีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (Corley and Mok, 1972) นอกจากนี้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันทำให้ดัชนีทะลายของปาล์มน้ำมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แสดงให้เห็นว่า ไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มจำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเมื่อเทียบกับอัตราการเติบโตโดยรวม ซึ่ง Corley *et al.* (1971) รายงานว่า ปาล์มน้ำมันที่มีอัตราการเจริญ

เติบโตของพืชและดัชนีทะลายสูง จัดว่าตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยที่ใส่และใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการคัดเลือกพันธุ์ปาล์ม เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (T2–T6) แสดงให้เห็นว่า อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นทำให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตทะลายสูงขึ้น โดยเมื่อปาล์มน้ำมันได้รับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 900 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างกับอัตราที่แนะนำ

เมื่อเปรียบเทียบผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนระหว่างพื้นที่ศึกษา พบว่า ในแต่ละพื้นที่ที่ทดลองมีผลผลิตทะลายแห้ง น้ำหนักแห้งการเติบโตทางลำต้น อัตราการเจริญเติบโตของพืช อัตราการสังเคราะห์แสงต่อพื้นที่ใบสุทธิ และผลผลิตทะลายสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ยกเว้นดัชนีทะลายและดัชนีพื้นที่ใบต่อพื้นที่ไม่แตกต่างกัน โดยพื้นที่ C-3 ให้ผลผลิตทะลายสดต่อไร่สูงที่สุด เฉลี่ย 2,845 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี รองลงมาคือ พื้นที่ C-2 และ C-1 มีผลผลิตทะลายสดเท่ากับ 2,613 และ 1,698 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี แสดงให้เห็นว่า ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดในพื้นที่ทุ่งรังสิตในภาคกลางของประเทศไทย ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนด้านการให้ผลผลิตและน้ำหนักแห้งโดยรวมแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ C-3 ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนสูงที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการจัดการสวนปาล์มในพื้นที่ดังกล่าวที่มีการยกทรงน้ำและมีความชื้นเพียงพอในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ปาล์มน้ำมันดูดใช้นิโตรเจนได้ดีกว่าพื้นที่อื่น ๆ ส่งผลให้ธาตุไนโตรเจนเคลื่อนที่เข้าสู่รากและต้นปาล์มน้ำมันโดยกระบวนการ mass flow (McMurtrie and Näsholm, 2018) ได้ดีกว่าพื้นที่อื่น ซึ่งหากต้นปาล์มน้ำมันขาดน้ำโดยเฉพาะฤดูแล้งหรือในช่วงที่ไม่มีน้ำในร่องน้ำจะทำให้ปาล์มดูดใช้นิโตรเจนได้น้อยลงและส่งผลกระทบต่อผลผลิตภาพโดยรวมของปาล์มน้ำมัน (Edy *et al.*, 2020)

Table 5 Comparison of the effect of N application rate on growth and yield indices of oil palm grown on acid sulfate soils

Factor	n	Y (---kg palm ⁻¹ year ⁻¹ ---	VDM	CGR (Ton rai ⁻¹ y ⁻¹)	BI	LAI (m ² rai ⁻¹)	NAR (g dm ² week ⁻¹)	Productivity (kg rai ⁻¹ year ⁻¹)
Treatment								
T1	3	82.8 ± 29.6 ^a	602 ± 197	15.08 ± 5.02	0.12 ± 0.01 ^a	6,426 ± 939	2.30 ± 0.48 ^{ab}	3,346 ± 1,173 ^a
T2	3	46.9 ± 24.6 ^b	663 ± 315	15.62 ± 7.51	0.07 ± 0.01 ^c	6,593 ± 1,039	2.28 ± 0.84 ^{ab}	1,905 ± 988 ^b
T3	3	45.3 ± 8.8 ^b	611 ± 213	14.43 ± 4.92	0.07 ± 0.01 ^{bc}	7,210 ± 1,346	2.11 ± 0.93 ^{ab}	1,837 ± 354 ^b
T4	3	54.8 ± 13.9 ^b	618 ± 271	14.80 ± 6.19	0.09 ± 0.03 ^{abc}	6,624 ± 1,060	2.17 ± 0.63 ^{ab}	2,218 ± 557 ^b
T5	3	57.5 ± 17.9 ^b	503 ± 118	12.34 ± 3.01	0.10 ± 0.01 ^{ab}	6,417 ± 655	1.90 ± 0.27 ^b	2,324 ± 721 ^b
T6	3	66.3 ± 7.7 ^{ab}	636 ± 247	15.45 ± 5.58	0.10 ± 0.03 ^{ab}	6,050 ± 589	2.51 ± 0.72 ^a	2,681 ± 309 ^{ab}
F-test		*	ns	ns	*	ns	ns	*
P-value		0.031	0.478	0.538	0.026	0.770	0.233	0.031
CV (%)		4.87	3.00	2.86	4.64	2.41	3.05	4.85
Studied site								
C-1 (Rs)	6	41.9 ± 21.1 ^b	353 ± 141 ^b	8.64 ± 3.31 ^b	0.11 ± 0.02	6,038 ± 468	1.51 ± 0.39 ^b	1,698 ± 849 ^b
C-2 (Ok)	6	64.6 ± 13.2 ^a	716 ± 31 ^a	17.18 ± 0.86 ^a	0.08 ± 0.03	6,664 ± 1,327	2.58 ± 0.26 ^a	2,613 ± 530 ^a
C-3 (Rs)	6	70.4 ± 16.2 ^a	747 ± 79 ^a	17.92 ± 1.62 ^a	0.09 ± 0.02	6,959 ± 441	2.62 ± 0.24 ^a	2,845 ± 649 ^a
F-test		**	**	**	ns	ns	**	**
P-value		0.005	0.000	0.000	0.128	0.265	0.000	0.005
CV (%)		4.87	3.00	2.86	4.64	2.41	3.05	4.85

T1 = no applying N (Control), T2, T3, T4, T5, and T6 = applying N at the rate of 150, 300, 600, 750, and 900 g N plant⁻¹ year⁻¹, respectively. Rs = Rangsit soil series, Ok = Ongkharak soil series, CV = coefficient of variation, Y = dry bunch yield, VDM = vegetative dry matter, CGR = crop growth rate, BI = bunch index, LAI = leaf area index per area (rai), NAR = net assimilation rate, Productivity = fresh fruit bunch yield (kg) per rai per year.

ns = not significant, * significant at P < 0.05, ** significant at P < 0.01. Different letters in the same column indicate statistically significant difference at P < 0.05 or P < 0.01.

ผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ

ผลการทดสอบอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณน้ำมันในเนื้อปาล์ม (Oil content) ค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสี ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA; กรดโอเลอิก) และความชื้นในผลปาล์มน้ำมัน (Table 6) พบว่า อัตราปุ๋ยไนโตรเจน

ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันและคุณภาพน้ำมันปาล์ม โดยผลปาล์มทุกตัวรับทดลองมีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยในช่วงร้อยละ 72.17–79.01 มีค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสีอยู่ในพิสัย 1.95–2.40 ปริมาณแคโรทีนอยด์อยู่ในพิสัย 193.86–229.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วงร้อยละ 3.78–4.51

Table 6 Comparison of N rates on crude palm oil content and oil quality

Factors	N	Oil content (%)	DOBI	Carotenoid content (mg kg ⁻¹)	Free fatty acid (%FFA)	Moisture content (% w/w)
Treatment						
T1	3	75.38 ± 4.71	2.30 ± 0.21	193.86 ± 14.51	4.11 ± 0.19	28.47 ± 17.21
T2	3	76.97 ± 7.36	1.95 ± 0.12	198.28 ± 17.28	3.78 ± 0.64	32.56 ± 25.79
T3	3	72.17 ± 1.81	2.20 ± 0.38	208.57 ± 19.98	4.17 ± 0.93	33.92 ± 1.82
T4	3	73.95 ± 0.88	2.18 ± 0.12	210.59 ± 5.17	4.51 ± 1.35	32.93 ± 7.31
T5	3	77.23 ± 3.21	2.19 ± 0.13	220.40 ± 20.51	4.43 ± 1.75	36.81 ± 21.71
T6	3	79.01 ± 3.29	2.40 ± 0.20	229.44 ± 16.72	4.14 ± 0.92	40.24 ± 3.68
F-test		ns	ns	ns	ns	ns
P-value		0.211	0.107	0.053	0.889	0.920
CV (%)		42.98	251.92	25.81	182.81	64.03
Studied site						
C-1 (Rs)	6	72.72 ± 2.71 ^b	2.11 ± 0.11 ^b	223.35 ± 14.91 ^a	4.31 ± 0.44 ^{ab}	35.58 ± 8.41
C-2 (Ok)	6	76.38 ± 2.68 ^{ab}	2.43 ± 0.19 ^a	201.12 ± 21.29 ^b	3.28 ± 0.41 ^b	43.38 ± 7.22
C-3 (Rs)	6	78.31 ± 2.51 ^a	2.21 ± 0.21 ^{ab}	206.08 ± 26.61 ^b	4.87 ± 0.68 ^a	23.44 ± 13.34
F-test		*	*	*	*	ns
P-value		0.036	0.032	0.031	0.018	0.075
CV (%)		42.98	251.92	25.81	182.81	64.03

T1 = no applying N (Control), T2, T3, T4, T5, and T6 = applying N at the rate of 150, 300, 600, 750, and 900 g N plant⁻¹ year⁻¹, respectively. Rs = Rangsit soil series, Ok = Ongkharak soil series, CV = coefficient of variation, DOBI = deterioration of bleachability index, %FFA = free fatty acid percentage. ns = not significant, * significant at P < 0.05. Different letters indicate statistically significant difference at P < 0.05.

เมื่อพิจารณาผลของปุ๋ยไนโตรเจนระหว่างพื้นที่ศึกษา พบว่า ปริมาณน้ำมันในเนื้อปาล์ม ค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสีปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณกรดไขมันอิสระมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพื้นที่ C-3 มีปริมาณน้ำมันในเนื้อปาล์มเฉลี่ยสูงที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องจากพื้นที่ C-3 ดินมีความชื้นเพียงพอ ทำให้ปาล์มน้ำมันดูดใช้ธาตุอาหารได้ดีกว่าพื้นที่อื่น ทำให้ผลปาล์มมีความสมบูรณ์และมีปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ (ร้อยละ 78.31) เมื่อพิจารณาดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสี พบว่า ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในพื้นที่ C-2 มีค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสีเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 2.43 ขณะที่ ปริมาณแคโรทีนอยด์มีปริมาณสูงที่สุดในปาล์มน้ำมันที่ปลูกในพื้นที่ C-1 เท่ากับ 223 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าสูงที่สุดในปาล์มน้ำมันที่ปลูกในพื้นที่ C-3 โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.87 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพปาล์มน้ำมันดังแสดงใน Table 7 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์ม และจากรายงานของ Donough *et al.* (2016) พบว่า น้ำมันปาล์มดิบมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในสัดส่วนที่น้อย ประมาณ 93 กรัมไนโตรเจนต่อตันสำหรับน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดจากทะลายปาล์มดิบ และ

44 กรัมไนโตรเจนต่อตัน สำหรับน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดจากโรงงาน

จากการศึกษายังพบว่า ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของทะลายปาล์ม ประมาณ 3.07 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อน้ำหนักทะลาย 1 ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของไนโตรเจนในน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับร้อยละ 0.8 ของไนโตรเจนในทะลายปาล์มสด และพบว่าการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบและปริมาณไนโตรเจนในน้ำมันปาล์มลดลงเมื่อใช้ปุ๋ยในอัตราสูง นอกจากนี้ Donough *et al.* (2016) พบว่าธาตุอาหารที่มีปริมาณสูงในน้ำมันปาล์มดิบและได้รับอิทธิพลจากการจัดการปุ๋ย คือ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ดังนั้น การจัดการธาตุทั้งสามให้เหมาะสมจะเพิ่มปริมาณน้ำมันในทะลายปาล์มได้ ส่วนค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสี ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้อัตราการออกซิเดชันของน้ำมันปาล์ม โดยค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสีสูงบ่งชี้ถึงความบริสุทธิ์ของน้ำมันปาล์มสูง ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสีของน้ำมันปาล์มดิบที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกันมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้เท่ากับ 2.30 (Table 7) ทั้งนี้ ค่าดัชนีประสิทธิภาพการฟอกสีไม่แตกต่างกันระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจน แต่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ศึกษา

Table 7 Standard quality values of crude palm oil

Characteristics	Grade of crude palm oil ¹	
	Special quality (SQ) grade	Standard quality (STD) grade
Free fatty acid (%FFA) (as palmitic) (%max)	2.50	5.00
Moisture/impurity (%max)	0.25	0.25
Peroxide value (meq kg ⁻¹) (max)	1.00	2.00
Anisidine value (max)	4.00	5.00
Deterioration of bleachability index (DOBI) (min)	2.80	2.30
Total carotenoids (mg kg ⁻¹)	–	581
		(Range from 474–689)

¹ Modified from MS-814:2007, 2nd revision (Bustamam *et al.*, 2019)

%max = maximum acceptable value

ส่วนผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณสารแคโรทีนอยด์ พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกันระหว่างตำรับทดลอง แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้ สารแคโรทีนอยด์เป็นสารสีส้ม-แดง หรือเป็นสารเรตินอล (Retinol) หรือโปรวิตามิน เอ (Provitamin A) ที่พบในเนื้อปาล์มมากที่สุด และพบในน้ำมันปาล์มดิบน้อย (May, 1994) อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งเป็นผลจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสามารถเพิ่มปริมาณสารแคโรทีนอยด์และโปรตีน (Ukom *et al.*, 2009) โดยไนโตรเจนทำหน้าที่กระตุ้นการสังเคราะห์สารแคโรทีน (Vosawai *et al.*, 2015) เช่นเดียวกับกับค่า %FFA ซึ่งเป็นกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกรดไขมันอิสระเกิดจากกรดไขมันและน้ำมันทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis) และขึ้นกับเวลา ความชื้น กระบวนการผลิต และการเก็บรักษา ซึ่งหากมีกรดไขมันอิสระมากเมื่อเกิดออกซิเดชันจะเกิดกลิ่นหืน ทำให้คุณภาพของน้ำมันปาล์มลดลง (Mahesar *et al.*, 2014) โดยจากค่ามาตรฐานของน้ำมันปาล์มคุณภาพ น้ำมันดิบไม่ควรมีกรดไขมันอิสระเกินร้อยละ 5 ซึ่งจากผลการศึกษานี้ ปริมาณกรดไขมันอิสระของปาล์มน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ร้อยละ 3.78–4.51) นอกจากนี้ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่า คุณภาพน้ำมันปาล์มมีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ ดังนั้น การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนจำเป็นต้องจัดการให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เนื่องจากเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างทั้งผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันปาล์ม

สรุป

ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญด้านการเพิ่มผลผลิตทะลายแห้ง ผลผลิตทะลายสดต่อไร่ และดัชนีทะลาย โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราระหว่าง 600–900 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี สามารถเพิ่มผลผลิตทะลายสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่ำกว่า

600 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี และยกระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบปาล์มตำแหน่งที่ 17 ให้สูงขึ้นให้อยู่ในระดับสูงกว่าระดับที่เพียงพอ คือ 2.5 %w/w และการใส่ไนโตรเจนในอัตราที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันในเนื้อปาล์มและคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันขึ้นกับสภาพแวดล้อมและการจัดการปาล์มน้ำมันเฉพาะพื้นที่และระดับไนโตรเจนในดินมีผลต่อการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ผลการวิจัยนี้เสนอแนะว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 600 กรัมไนโตรเจนต่อต้นต่อปี จะคงผลผลิตทะลายปาล์มสูงขึ้นและรักษาระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันให้มีค่าอยู่ในระดับที่เพียงพอ ดังนั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจำเป็นต้องพิจารณาระดับไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันร่วมด้วย หากอยู่ในระดับที่เพียงพอแล้ว ปาล์มน้ำมันสามารถให้ผลผลิตทะลายสูงโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่ม อย่างไรก็ตาม อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่สำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดควรพิจารณาให้สอดคล้องกับธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส โดยรักษาสัดส่วนของปุ๋ย $N:K_2O:P_2O_5$ ให้เท่ากับ 1:3:0.77 หรือเท่ากับอัตราปุ๋ย 600 กรัมไนโตรเจน 1,800 กรัมโพแทช และ 460 กรัมฟอสเฟต ต่อต้นต่อปีตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้แผนงานวิจัยศักยภาพของที่ดิน และการตอบสนองด้านการผลิตของปาล์มน้ำมันต่อเทคโนโลยีการจัดการในที่ราบภาคกลางและภาคตะวันออก รองรับการพัฒนาการปลูกปาล์มน้ำมันอย่างยั่งยืนของประเทศไทย ปีงบประมาณ 2561 รหัสโครงการ PRP6005021640 จากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สว.ก.) และขอขอบคุณศูนย์ศึกษาพัฒนาสวนส้มร้างทุ่งรังสิต บริษัท อาร์ดี เกษตรพัฒนา จำกัด (ศูนย์นครนายก) และบริษัท สีนุเศรษฐ์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สวนปาล์มน้ำมันในการดำเนินงานทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Auxtero, E.A. and J. Shamshuddin. 1991. Growth of oil palm (*Elaeis guineensis*) seedlings on acid sulfate soils as affected by water regime and aluminium. *Plant Soil*. 137: 243–257.
- Bustamam, F.K.A., Y.C. Beng and N. Sulaiman. 2019. Revision of the Malaysian standard for palm oil-specification MS 814:2007, (second revision) amendment 1:2018 - what's new?. *Palm Oil Developments*. 71: 18–32.
- Chittamart, N., A. Suddhiprakarn, W. Wisawapipat, S. Tawornpruek, K. Laopoolkit, S. Aramrak, T. Darunsontaya, D. Ketroj, R. Jaroenchasri and I. Kheoruenromne. 2016. Management of Sustainable Yield Increase and Waste Utilization of Oil Palm in Central Plain and Eastern Region, Thailand. Agricultural Research Development Agency (ARDA), Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Corley, R.H.V. and C.K. Mok. 1972. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium on growth of the oil palm. *Exp. Agric*. 8(4): 347–353.
- Corley, R.H.V., J.J. Hardon and G.Y. Tan. 1971. Analysis of growth of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) I. Estimation of growth parameters and application in breeding. *Euphytica*. 20: 307–315.
- Donough, C.R., A. Cahyo, R. Wandri, M. Fisher and T. Oberthür. 2016. Plant nutrients in palm oil. *Better Crops*. 100(2): 19–22.
- Edy, N., U. Yelianti, B. Irawan, A. Polle and R. Pena. 2020. Differences in root nitrogen uptake between tropical lowland rainforests and oil palm plantations. *Front. Plant Sci*. 11: 92.
- Estefan, G., R. Sommer and J. Ryan. 2013. *Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A Manual for the West Asia and North Africa Region*. 3rd edition. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Beirut, Lebanon.
- Fairhurst, T.H. and E. Mutert. 1999. Interpretation and management of oil palm leaf analysis data. *Better Crops International*. 13(1): 48–51.
- Japir, A.A.-W., J. Salimon, D. Derawi, M. Bahadi, S. Al-Shuja'a and M.R. Yusop. 2017. Physicochemical characteristics of high free fatty acid crude palm oil. *OCL*. 24(5): D506.
- Lawlor, D.W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ*. 25(2): 275–294.
- Lewis, K., E. Rumpang, L.K. Kho, J. McCalmont, Y.A. Teh, A. Gallego-Sala and T.C. Hill. 2020. An assessment of oil palm plantation aboveground biomass stocks on tropical peat using destructive and non-destructive methods. *Sci. Rep*. 10: 2230.

- Mahesar, S.A., S.T.H. Sherazi, A.R. Khaskheli, A.A. Kandhro and S. Uddin. 2014. Analytical approaches for the assessment of free fatty acids in oils and fats. *Anal. Methods*. 6: 4956–4963.
- May, C.Y. 1994. Palm oil carotenoids. *Food Nutr. Bull.* 15(2): 1–8.
- McMurtrie, R.E. and T. Näsholm. 2018. Quantifying the contribution of mass flow to nitrogen acquisition by an individual plant root. *New Phytol.* 218: 119–130.
- Mohidin, H., M.M. Hanafi, Y.M. Rafii, S.N.A. Abdullah, A.S. Idris, S. Man, J. Idris and M. Sahebi. 2015. Determination of optimum levels of nitrogen, phosphorus and potassium of oil palm seedlings in solution culture. *Bragantia*. 74: 247–254.
- Ng, S.K. 2002. Nutrition and nutrient management of the oil palm - New thrust for the future perspective, pp. 415–429. *In* N.S. Pasricha and S.K. Bansal, eds. Potassium for Sustainable Crop Production: International Symposium on Role of Potassium. Potash Research Institute of India and International Potash Institute, New Dehli, India.
- Nokkaew, R., V. Punsuvon, T. Inagaki and S. Tsuchikawa. 2019. Determination of carotenoids and dobi content in crude palm oil by spectroscopy techniques: comparison of Raman and FT-NIR spectroscopy. *Int. J. GEOMATE*. 16(55): 92–98.
- Office of Agricultural Economics. 2019. Agricultural economic data: oil palm production data. Available Source: <https://www.oae.go.th>, September 24, 2021.
- Pardon, L., C. Bessou, P.N. Nelson, B. Dubos, J. Ollivier, R. Marichal, J.P. Caliman and B. Gabrielle. 2016. Key unknowns in nitrogen budget for oil palm plantations. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36: 20.
- Puritch, G.S. and A.V. Barker. 1967. Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. *Plant Physiol.* 42(9): 1229–1238.
- Rifqi Hidayat, A. and A. Fahmi. 2020. Impact of land reclamation on acid sulfate soil and its mitigation. *BIO Web Conf.* 20: 01002.
- Sahrawat, K.L., G. Ravi Kumar and K.V.S. Murthy. 2002. Sulfuric acid–selenium digestion for multi-element analysis in a single plant digest. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33(19–20): 3757–3765.
- Shamshuddin, J., S. Muhrizal, I. Fauziah and M.H.A. Husni. 2004. Effects of adding organic materials to an acid sulfate soil on the growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings. *Sci. Total Environ.* 323(1–3): 33–45.

- Tan, K.S. 1976. Development, Nutrient Contents and Productivity in Oil Palm on Inland Soils of West Malaysia. MS Thesis, University of Singapore, Singapore.
- Tantanawat, T., S. Srimongkol, R. Yuttawiriya, A. Haewchin, T. Sangkapes and E. Hattha. 2020. Development of a method for measuring oil content in oil palm mesocarp using a single-outlet piston press: a feasibility study. J. Food Meas. Charact. 14: 207–219.
- Teh, C.B.S. 2016. Availability, Use, and Removal of Oil Palm Biomass in Indonesia. Report Prepared for the International Council on Clean Transportation.
- Tobing, W.L., C. Hanum and E.S. Sutarta. 2018. Growth response and nitrogen use efficiency of palm oil variety on N fertilizing in pre nursery. Agric. 30(1): 43–50.
- Ukom, A.N., P. Ojimelukwe and D.A. Okpara. 2009. Nutrient composition of selected sweet potato [*Ipomea batatas* (L) Lam] varieties as influenced by different levels of nitrogen fertilizer application. Pak. J. Nutr. 8(11): 1791–1795.
- Vosawai, P., R.A. Halim and A.R. Shukor. 2015. Yield and nutritive quality of five sweet potato varieties in response to nitrogen levels. Adv. Plants Agric. Res. 2(5): 231–237.
- Widodo, P., F. Nur, E. Nafisah, B.P. Forster and H.A. Hasibuan. 2019. Bunch and Oil Analysis of Oil Palm: A Manual. CABI, Wallingford, UK.