

ผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเติบโต คุณภาพและผลผลิตกาแฟอาราบิกา ที่ปลูกบนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่

Effects of Different Fertilizer Managements on Growth, Quality and Yield of Arabica Coffee Grown on Highland, Chiang Mai Province

ลลิตา พานทอง¹ ยุพา จอมแก้ว¹ ณัฐชนน สันทรทรัพย์² และ ชูชาติ สันทรทรัพย์^{1*}
Lalicha Prantong, Yupa Chromkaew, Natchanon Santasup and Choochad Santasup^{*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Postharvest Technology Innovation Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

^{*}Corresponding author: Email: santasup@gmail.com

(Received: 3 July 2023; Accepted: 6 November 2023)

Abstract: This research aimed to evaluate the effects of various fertilizer management on growth, yield and quality of arabica coffee crops cultivated in highland regions. The research was conducted at two sites: Khun Chang Khian Highland Research and Training Center (site A), Muang district and Nong Hoi Highland Agricultural Research, Mae Rim district, Chiang Mai province. The experimental design followed a randomized complete block design (RCBD) with three replications and comprising four fertilizer management methods. These methods were: 1) conventional chemical fertilizer application according to local agricultural practices (Nitrogen 54.00 grams per plant, Phosphorus 54.00 grams per plant and Potassium 54.00 grams per plant), 2) compost fertilizer application (3.00 kilograms per plant), 3) chemical fertilizer application based on site-specific fertilizer management by nutrient requirements of coffee and soil fertility (Nitrogen 49.98 grams per plant) and 4) control (no fertilizer application). The results demonstrated that fertilizer application treatments (treatments 1-3) did not have a significant impact on plant height, canopy width, stem diameter, primary nutrients in leaves, quantity and quality of arabica coffee yields. However, method 3, fertilize management (Nitrogen 49.98 grams per tree), showed tendency to promote better growth and yield compared to the other methods on both study sites. The arabica coffee grown at two different locations had an average height of 236.67 and 252.84 centimeters, while average fresh fruits weight was 1.75 and 1.49 grams/fruit and average diameter through the center of the fruit was 14.55 and 13.14 centimeters, average total acidity obtained was 0.16 and 0.13%, and the average yield was 8.38 and 6.36 kilograms/plant, respectively, two sites location Khun Chang Khian Highland Research and Training Center (site A) and Nong Hoi Highland Agricultural Research in the Mae Rim district of Chiang Mai province.

Keywords: Nutrient management, caffeine, green beans

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินผลของการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเติบโต, ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกบนพื้นที่สูง ซึ่งได้ดำเนินการทดลอง ณ สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) อำเภอเมืองเชียงใหม่ และสถานีเกษตรที่สูงหนองหอย อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design: RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีการจัดการปุ๋ย 4 กรรมวิธี คือ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติในพื้นที่ (ไนโตรเจน 54.00 กรัม/ต้น ฟอสฟอรัส 54.00 กรัม/ต้น และโพแทสเซียม 54.00 กรัม/ต้น) 2) ใส่ปุ๋ยหมัก (3.00 กิโลกรัม/ต้น) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารหลักของกาแฟและความอุดมสมบูรณ์ดิน (ไนโตรเจน 49.98 กรัม/ต้น) 4) กรรมวิธีควบคุม ไม่ใส่ปุ๋ย ผลการศึกษาพบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1-3 ไม่ทำให้ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ธาตุอาหารหลักไนโบ ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของกาแฟอาราบิก้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 (ไนโตรเจน 49.98 กรัม/ต้น) มีแนวโน้มช่วยส่งเสริมการเติบโตและปริมาณผลผลิตได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ต้นกาแฟอาราบิก้าทั้ง 2 พื้นที่ มีความสูงเฉลี่ย 236.67 และ 252.84 เซนติเมตร น้ำหนักสดผลเฉลี่ย 1.75 และ 1.49 กรัม/ผล เส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย 14.55 และ 13.14 เซนติเมตร ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เฉลี่ย 0.16 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตเฉลี่ย 8.38 และ 6.36 กิโลกรัม/ต้นตามลำดับ

คำสำคัญ: การจัดการธาตุอาหาร คาเฟอีน สารกาแฟ

คำนำ

กาแฟ เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ปัจจุบันกาแฟที่ปลูกอย่างแพร่หลายนั้นมีเพียง 2 ชนิด คือ กาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.) และกาแฟโรบัสตา (*Coffea canephora* Pierre ex Frochner) (Naka *et al.*, 2004) ซึ่งกาแฟอาราบิก้าได้รับการส่งเสริมให้ปลูกบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า มีพื้นที่เพาะปลูกที่บนสูง ซึ่งระดับความสูงของพื้นที่เพาะปลูกส่งผลต่อรสชาติของกาแฟ นอกจากนี้มูลนิธิโครงการหลวงยังมีการส่งเสริมให้เกษตรกรบนพื้นที่สูงปลูกกาแฟอาราบิก้า เพื่อสร้างรายได้และทดแทนการปลูกฝิ่น (Korsamphan *et al.*, 2019) ปัจจุบันการบริโภคกาแฟของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 1.9 ต่อปี (International Coffee Organization, 2021) โดยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2560-2564) ปริมาณความต้องการใช้เมล็ดกาแฟของไทยในโรงงานแปรรูปเพิ่มขึ้นจาก 85,234 ตันในปี พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นเป็น 86,701 ตัน ในปี พ.ศ. 2564 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.71 ต่อปี แต่ในปี พ.ศ. 2564 ไทยสามารถผลิตเมล็ด

กาแฟดิบได้เพียง 21,773 ตันต่อปี ส่งผลทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอความต้องการบริโภค ซึ่งประเทศไทยมีนำเข้าสินค้าเมล็ดกาแฟดิบเฉลี่ย 56,252.57 ตัน/ปี เมล็ดกาแฟคั่วเฉลี่ย 2,549.49 ตัน/ปี และกาแฟสำเร็จรูปเฉลี่ย 14,150.51 ตัน/ปี ซึ่งเมล็ดกาแฟดิบเป็นสินค้าในกลุ่มกาแฟและผลิตภัณฑ์กาแฟที่ไทยนำเข้ามากที่สุด เพื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กาแฟอื่น ๆ ทั้งเพื่อบริโภคในประเทศและเพื่อการส่งออก (Department of Trade Negotiations, 2022) อย่างไรก็ตาม การทำการเกษตรบนพื้นที่สูงจะมีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ในการเพาะปลูก เนื่องจากอาจมีความลาดชันของพื้นที่ การชะล้างพังทลายของหน้าดินสูง อีกทั้งการทำการเกษตรบนพื้นที่สูงนั้นยังมีปัญหาในเรื่องของระบบชลประทาน จึงต้องอาศัยน้ำฝนในการทำเกษตรและการขาดองค์ความรู้ในเรื่องของการจัดการปุ๋ยที่มีต่อผล การปลูกกาแฟอาราบิก้า ทำให้ผลผลิตของกาแฟอาราบิก้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาการผลิตกาแฟอาราบิก้า เพื่อให้ได้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตที่ดี

การผลิตกาแฟเพื่อให้มีปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ดี จำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสม โดยมีคำแนะนำเฉพาะการให้ปุ๋ยแก่ต้น

กาแฟอาราบิก้า เช่น ในระยะที่ไม่ติดผล ควรใส่ปุ๋ยเกรด 46-0-0 เมื่อกาแฟเริ่มติดผลแล้ว ปีที่ 4 เป็นต้นไป ใช้ปุ๋ยเกรด 15-15-15 แบ่งใส่ 3 ครั้ง ในช่วงต้น กลาง และปลายฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน ตามลำดับ) อัตรา 16-80 กิโลกรัม/ไร่ (MaeTha District Agricultural Extension Office, 2013) เมื่อต้นมีอายุ 3 ปี ขึ้นไป ใช้ปุ๋ยเกรด 13-31-21 อัตรา 266.5 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี แบ่งใส่ 2 ครั้งในช่วงต้นฤดูฝนและกลางฤดูฝน ร่วมกับการให้ปุ๋ยหมักอัตรา 10,660 กิโลกรัม/ไร่/ปี แบ่งใส่ 2 ครั้งในช่วงกลางฤดูฝนและปลายฤดูฝน (Land Development Department, 2007) โดยการปลูกกาแฟอาราบิก้า 1 ไร่ มีต้นกาแฟทั้งหมด 533 ต้น (ระยะปลูก 1.5x2 เมตร) (Department of Agricultural Extension, 2011) สำหรับการใส่ปุ๋ยกาแฟอาราบิก้าในประเทศเอธิโอเปีย Melke and Itana (2015) มีคำแนะนำการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 24-48 กิโลกรัม/ไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส 0-5.3 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม 0-9.9 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ Mitchell (1988) รายงานว่า ผลผลิตกาแฟ 1 ต้น ดูดใช้ธาตุไนโตรเจน (N) ประมาณ 21.60 กิโลกรัม/ไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 5.44 กิโลกรัม/ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 23.20 กิโลกรัม/ไร่ ตลอดฤดูการผลิต และจะสูญเสียไนโตรเจน 5.60 กิโลกรัม/ไร่ ฟอสฟอรัส 1.12 กิโลกรัม/ไร่ และโพแทสเซียม 1.12 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นคำแนะนำในการจัดการปุ๋ยทั่วไป ซึ่งอาจไม่ได้พิจารณาถึงชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใส่ปลูก และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ปลูกพบว่า ปริมาณปุ๋ยที่ใส่นั้นโดยทั่วไปเกษตรกรประเมินจากปริมาณผลผลิตในฤดูการผลิตในปีก่อนหน้านั้น จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นได้ว่าการจัดการปุ๋ยในระบบการปลูกกาแฟอาราบิก้ายังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ขาดหลักในการจัดการปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาทดลองครั้งนี้ดำเนินการทดลองในแปลงปลูกกาแฟอาราบิก้าของคณะเกษตรศาสตร์ในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ (ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,200 เมตร) และสถานี

เกษตรที่สูงหนองหอย ตำบลโป่งแยง อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่(ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,100 เมตร) ในระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ถึง มกราคม พ.ศ. 2564 ซึ่งดินที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ในกลุ่มชุดดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (SC: slope complex) (Chiangmai Land Development Station, 2023) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.53 ค่าการนำไฟฟ้า 15.30 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 4.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 29.58 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 147.57, 427.87 และ 43.79 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และดินที่ใช้ในการทดลองสถานีวิจัยเกษตรที่สูงหนองหอย อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ในกลุ่มชุดดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (SC: slope complex) (Chiangmai Land Development Station, 2023)มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.49 ค่าการนำไฟฟ้า 22.55 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 4.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 122.17 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 298.74, 1552.87 และ 115.02 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (Table 1)

ทำการคัดเลือกต้นกาแฟอาราบิก้าสายพันธุ์คาติมอร์ (Catimor) ในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และคัดเลือกต้นกาแฟอาราบิก้าสายพันธุ์ทิปปิกา (Typica) ในพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย โดยคัดเลือกต้นกาแฟอาราบิก้าในแปลงปลูกกาแฟที่มีการเจริญเติบโตที่สม่ำเสมอ ขนาดทรงพุ่มและความสูงที่ใกล้เคียงกัน(โดยต้นกาแฟมีความสูงประมาณ 150 เซนติเมตร) ระยะปลูก 1.5x1.5 เมตร มีจำนวนต้นกาแฟ 711 ต้น/ไร่ ที่ปลูกในสภาพร่มเงา อายุเฉลี่ย 15 ปี ในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และที่อายุเฉลี่ย 4-5 ปี ในพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย แบ่งต้นกาแฟออกเป็น 3 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ต้น การศึกษาในครั้งนี้วางแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design: RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีการทดลอง 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่เกษตรกร

นิยมปฏิบัติในพื้นที่ (common fertilization rate for coffee, CFR) โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 54 กรัม/ตัน ฟอสฟอรัส 54 กรัม/ตัน และโพแทสเซียม 54 กรัม/ตัน โดยใช้ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 แบ่งใส่ครั้งละเท่า ๆ กัน จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม/ตัน (85.32 กิโลกรัม/ไร่) ในเดือน กรกฎาคม, สิงหาคม และกันยายน) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (compost fertilizer, CP) ผลิตโดยหน่วยวิจัยและพัฒนาวัสดุอินทรีย์-ชีวภาพ ศูนย์วิจัย สาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในอัตรา 3.0 กิโลกรัม/ตัน โดยปุ๋ยหมักที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.51 ค่าการนำไฟฟ้า 1.5 เดซิซีเมนส์/เมตร อินทรีย์วัตถุ 26.30 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N)

1.32 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) 1.96 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) 2.45 เปอร์เซ็นต์ 3) (Table 2) ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ประเมินจากความต้องการธาตุอาหารหลักของกาแฟและความอุดมสมบูรณ์ดิน (site-specific fertilizer managements, SSFM) โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 49.98 กรัม/ตัน โดยใช้ปุ๋ยเคมีเกรด 21-0-0 สำหรับการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 2 และ 3 แบ่งใส่ปุ๋ย จำนวน 3 ครั้ง ในระยะเวลาเดียวกับกรรมวิธีที่ 1 ในอัตรา 50, 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณปุ๋ยที่ใช้ทั้งหมด ตามลำดับ โดยการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธี (กรรมวิธีที่ 1-3) ซึ่งใส่ปุ๋ยแบบโรยรอบต้นตามแนวพุ่มใบ (ring spot application) และ 4) กรรมวิธีควบคุม (control) ไม่ใส่ปุ๋ย

Table1. Chemical properties of Initial soil

Properties	Analytical value	
	Khun Chang Khian	Nong Hoi
pH	5.53	6.49
Electrical conductivity ($\mu S/cm$)	15.30	22.55
Organic matter (%).	4.08	4.54
Available phosphorus (mg/kg)	29.58	122.17
Exchangeable potassium (mg/kg)	147.57	298.74
Exchangeable calcium(mg/kg)	427.87	1552.87
Exchangeable magnesium (mg/kg)	43.79	115.02

Table2. Compost fertilizer properties

Properties	Analytical value
pH	6.51
Electrical conductivity (dS /cm)	1.5
Organic matter (%).	26.30
Total Nitrogen (%)	1.32
Total Phosphorus (%)	1.96
Total Potassium (%)	2.45

ในเดือนมีนาคม ทำการตัดแต่งกิ่งของต้นกาแฟ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase) โดยการสุ่มวัดความสูงกาแฟอาราบิก้า (วัดจากโคนต้นเหนือดินจนถึงปลายใบที่ยาวที่สุด) ความกว้างทรงพุ่ม (วัดจากขอบของเรือนยอดที่ปกคลุมจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยแนววัดจะตัดกันเป็นกากบาทตั้งฉาก) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ที่ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง (day after pruning: DAP) และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างใบ (ใบคู่ 4-6 นับจากปลายกิ่ง) ที่ระยะ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบกาแฟอาราบิก้า ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) (Novozamsky *et al.*, 1974) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) (Suwanwong, 2001) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K) (Kalra, 1998)

ทำการเก็บผลผลิตกาแฟอาราบิก้า (ผลกาแฟเชอร์รี่, coffee cherry) ในเดือนธันวาคม บันทึกปริมาณผลผลิตกาแฟ จากนั้นแบ่งผลกาแฟออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทำการสุ่มผลผลิตจำนวน 100 ผล เพื่อทำการวัดขนาดผล (น้ำหนักผลและเส้นผ่านศูนย์กลาง) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในใบ) ส่วนที่ 2 นำไปผลิตเป็นสารกาแฟ (green bean) โดยวิธีเปียก (wet process) (Angkasith and Warrit, 2004; Clarke and Macrae, 1985) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพผลผลิตโดยวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของกะลากาแฟ (titratable acidity: TA) (Association of Official Analytical Chemists, 2000) และปริมาณคาเฟอีน (caffeine contents) ในสารกาแฟที่ผ่านการคั่วตามวิธีการของ Korsamphan (2011) โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatograph; HPLC, ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-20A) ตามวิธีการของ Minamisawa *et al.* (2004)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Statistix 8.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีทดลองโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเจริญเติบโต

ผลการศึกษา พบว่า ที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้ความสูงของต้นกาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Table 3) ที่ระยะเวลา 30 วันหลังตัดแต่งกิ่ง โดยต้นกาแฟมีความสูงอยู่ในช่วง 195.08 - 200.17 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ที่ระยะ 60 และ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1-3 ส่งผลให้ต้นกาแฟมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบกับการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 4 โดยการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ต้นกาแฟมีความสูงมากที่สุด 228.17 และ 236.67 เซนติเมตร สำหรับความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า ที่ระยะ 30, 60 และ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นกาแฟมีความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 158.52-167.45, 162.04-167.75 และ 163.03-171.12 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอยู่ในช่วง 21.52-23.27, 23.10-24.76 และ 24.14-25.74 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการศึกษาการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟในพื้นที่สถานีเกษตรกรที่สูงหนองหอย พบว่า ที่ระยะเวลา 30 วันหลังตัดแต่งกิ่ง การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้ความสูงของต้นกาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Table 4) โดยต้นกาแฟมีความสูงอยู่ในช่วง 121.92-221.62 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ที่ระยะ 60 และ 90 วันหลังตัดแต่งกิ่ง พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ต้นกาแฟมีความสูงมากที่สุด 246.28 และ 252.84 เซนติเมตร เช่นเดียวกันกับในพื้นที่ศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) สำหรับความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น พบว่า ที่ระยะ 30, 60 และ 90 วันหลังการตัดแต่งกิ่ง การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยต้นกาแฟมี

Table 3. Effects of different fertilizer managements on plant height, plant canopy and stem diameter of arabica coffee at Khun Chang Khian Highland Research and Training Center

Treatment	Plant height (cm)			Plant canopy (cm)			Stem diameter (mm)		
	30 DAP	60 DAP	90 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP
CFR	200.17	224.75 a	231.92 ab	160.00	162.33	164.00	22.51	23.85	24.47
CP	198.67	219.50 ab	230.78 ab	167.45	167.75	171.12	22.00	23.71	24.43
SSFM	197.92	228.17 a	236.67 a	162.67	163.66	167.61	23.27	24.76	25.74
Control	195.08	207.22 b	218.22 b	158.52	162.04	163.03	21.52	23.10	24.14
F-test _(0.05)	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.93	4.88	3.96	3.55	4.47	3.75	6.06	8.94	4.82

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level, ns = non-significant, DAP = day after pruning

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

SSFM = site-specific fertilizer managements

Table 4. Effects of different fertilizer managements on plant height, plant canopy and stem diameter of arabica coffee at Nong Hoi Highland Agricultural Research

Treatment	Plant height (cm)			Plant canopy (cm)			Stem diameter (mm)		
	30 DAP	60 DAP	90 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP
CFR	221.62	221.74 b	238.41 ab	202.75	206.38	211.71	31.47	32.31	32.89
CP	215.62	219.89 b	236.42 ab	204.08	208.77	212.00	31.42	32.28	32.54
SSFM	121.92	246.28 a	252.84 a	203.50	207.03	211.99	31.78	32.44	33.22
Control	209.83	214.41 b	219.91 b	200.45	205.32	210.58	30.27	31.30	32.25
F-test _(0.05)	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	10.56	4.66	7.70	1.65	1.18	1.71	3.72	2.38	2.20

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level, ns = non-significant, DAP = day after pruning

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

SSFM = site-specific fertilizer managements

ความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 200.45-204.08, 205.32-208.77 และ 210.58-212.00 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอยู่ในช่วง 30.27-31.78, 31.30-32.44 และ 32.25-33.22 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการศึกษการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกาแฟอาราบิก้าในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า การใส่ปุ๋ย

ในกรรมวิธีที่ 1-3 ไม่ส่งผลให้การเจริญเติบโตของกาแฟอะราบิกา (ความสูง) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความสูงของกาแฟอะราบิกาเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม เนื่องจากไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตทางกิ่งก้านสาขา ทำให้มีการสร้างใบใหม่ เพิ่มขนาดพื้นที่ใบ และดัชนีพื้นที่ผิวใบ (LAI) เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้พืชมีกระบวนการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น (Torres-Olivar *et al.*, 2014) ซึ่งจากการศึกษาของ Kraitong *et al.* (2015) พบว่าการจัดการธาตุอาหารของกาแฟโรบัสต้าตามค่าการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินและพืชทุกกรรมวิธี ไม่ทำให้ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดรอบต้นมีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Pomnoi (1994) พบว่า ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและจุลธาตุไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการศึกษาการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบกาแฟในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีวิจัยเกษตรที่สูงหนองหอย (Table 5) พบว่า การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในใบกาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้ง 2 พื้นที่ โดยในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) ใบกาแฟมีความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 2.13-2.24, 0.14-0.16 และ 1.73-1.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในพื้นที่สถานีวิจัยเกษตรที่สูงหนองหอยใบกาแฟมีความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในใบกาแฟอยู่ในช่วง 2.17-2.28, 0.14-0.15 และ 1.90-1.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการจัดการปุ๋ยทั้ง 2 พื้นที่ไม่ส่งผลให้ธาตุอาหารหลักในใบแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนโตรเจนจัดอยู่ในระดับต่ำ (2.20-2.28 เปอร์เซ็นต์) ระดับที่เหมาะสมของไนโตรเจนในใบกาแฟควรสูงกว่า 2.7 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ไม่พบอาการขาดไนโตรเจนในใบกาแฟในพื้นที่ทดลอง ในขณะที่ฟอสฟอรัส (0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์) และโพแทสเซียม (1.78-1.98 เปอร์เซ็นต์) อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพียงพอ

โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในใบกาแฟที่วิเคราะห์ได้กับค่ามาตรฐานของธาตุอาหารหลักในใบกาแฟโดย Clifford and Wilson (1985) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากดินมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูงอัตราการใส่ปุ๋ยไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบ ซึ่งสอดคล้องกับ Winston *et al.* (1992) พบว่าการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0-14.38 กิโลกรัม/ต้น ไม่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบ ส่วนการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและจุลธาตุก็ไม่มีผลต่อการสะสมไนโตรเจนในใบที่ระยะสร้างเนื้อเมล็ดเช่นกัน

ปริมาณ และคุณภาพผลผลิต

ผลการศึกษาพบว่าการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อปริมาณและความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในผลผลิต ที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และสถานีเกษตรที่สูงหนองหอย (Table 6) พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้กาแฟอะราบิกามีปริมาณผลผลิต (ผลกาแฟเชอร์รี่) สูงที่สุด 8.38 กิโลกรัม/ต้น และ 6.36 กิโลกรัม/ต้นตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีที่ 4) อย่างมีนัยสำคัญ โดยกรรมวิธีที่ 4 ส่งผลให้กาแฟมีปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด (4.60 กิโลกรัม/ต้น และ 4.69 กิโลกรัม/ต้น) สำหรับความเข้มข้นธาตุอาหารหลัก พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนในผลกาแฟสูงที่สุด (2.23 และ 2.09 เปอร์เซ็นต์) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งมีความเข้มข้นไนโตรเจนต่ำที่สุด (1.96 และ 1.89 เปอร์เซ็นต์) สำหรับความเข้มข้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม พบว่าการจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นธาตุอาหารดังกล่าวในผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลกาแฟมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.14-0.15 และ 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ และมีความเข้มข้นโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 1.51-1.60 และ 1.79-1.83 เปอร์เซ็นต์

สำหรับคุณภาพผลผลิต พบว่า ในพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ไม่ส่งผลให้ผลกาแฟ (ผลกาแฟเชอร์รี่) มีน้ำหนักผล และเส้นผ่านศูนย์กลางผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Table 7)

Table 5. Effects of different fertilizer managements on nutrient concentration of leaf at 90 days after pruning at two locations

Treatment	Khun Chang Khian			Nong Hoi		
	Nutrient concentration (% Total)			Nutrient concentration (% Total)		
	N	P	K	N	P	K
CFR	2.23	0.16	1.79	2.22	0.15	1.97
CP	2.20	0.15	1.78	2.19	0.15	1.95
SSFM	2.24	0.14	1.90	2.28	0.15	1.98
Control	2.13	0.14	1.73	2.17	0.14	1.90
F-test _(0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	7.30	9.05	7.82	6.64	6.61	9.06

ns = non-significant

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

SSFM = site-specific fertilizer managements

Table 6. Effects of different fertilizer managements on yield and nutrient concentration in green bean of arabica coffee at two locations

Treatment	Khun Chang Khian				Nong Hoi			
	Yield (kg/plant)	Nutrient concentration (% Total)			Yield (kg/plant)	Nutrient concentration (% Total)		
		N	P	K		N	P	K
CFR	7.28 a	2.04 b	0.14	1.54	5.89 ab	2.05 ab	0.16	1.82
CP	6.88 ab	2.01 b	0.14	1.53	4.97 bc	1.91 bc	0.16	1.81
SSFM	8.38 a	2.23 a	0.15	1.60	6.36 a	2.09 a	0.16	1.83
Control	4.60 b	1.96 b	0.14	1.51	4.69 c	1.89 c	0.14	1.79
F-test _(0.05)	*	*	ns	ns	*	*	ns	ns
CV (%)	17.86	3.19	3.79	4.64	12.51	4.92	8.72	7.61

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level, ns = non-significant

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

Table 7. Effects of different fertilizer managements on weight and diameter of coffee cherry and titrable acidity (TA) and caffeine content in roasted coffee bean of arabica coffee at two locations

Treatment	Khun Chang Khian				Nong Hoi			
	Fresh fruit coffee		Roasted coffee		Fresh fruit coffee		Roasted coffee	
	cherry				cherry			
	Weight (g/fruit)	Diameter (mm)	TA (%)	Caffeine content (mg/g)	Weight (g/fruit)	Diameter (mm)	TA (%)	Caffeine content (mg/g)
CFR	1.72	14.55	0.15	11.57 b	1.46	12.91	0.13	10.20 b
CP	1.68	14.54	0.14	11.53 b	1.42	12.86	0.13	10.12 b
SSFM	1.75	14.55	0.16	12.25 a	1.49	13.14	0.13	11.29 a
Control	1.64	14.50	0.14	11.53 b	1.41	11.82	0.12	9.62 c
F-test _(0.05)	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*
CV (%)	11.17	0.22	9.07	1.89	9.53	11.46	5.28	0.68

Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) test at 5% probability level, ns = non-significant

CFR = common fertilization rate for coffee

CP = compost fertilizer

SSFM = site-specific fertilizer managements

โดยผลกาแฟมีน้ำหนักผล อยู่ในช่วง 1.64-1.72 กรัม/ผล และเส้นผ่านศูนย์กลางผลเฉลี่ย อยู่ในช่วง 14.50-14.55 มิลลิเมตร สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในกะลากาแฟ พบว่า การจัดการปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลให้กะลากาแฟมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกะลากาแฟมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในช่วง 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณคาเฟอีนในสารกาแฟ พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้สารกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนสูงที่สุด 12.25 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 4 ส่วนพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1-4 ไม่ส่งผลให้ผลกาแฟ (ผลกาแฟเชอร์รี่) มีน้ำหนักผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในกะลากาแฟแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลกาแฟมีน้ำหนักผล เส้นผ่านศูนย์กลางผล และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในกะลากาแฟอยู่ในช่วง 1.41-1.49 กรัม/ผล 11.82-13.14 มิลลิเมตร และ

0.12-0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับปริมาณคาเฟอีนในสารกาแฟ พบว่า การจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้สารกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนสูงที่สุด (11.29 มิลลิกรัม/กรัม) และกรรมวิธีที่ 4 ส่งผลให้สารกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนน้อยที่สุด (9.62 มิลลิกรัม/กรัม)

ในส่วนของคุณภาพผลผลิตในพื้นที่สถานีวิจัย และศูนย์ฝึกอบรมเกษตรกรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า การใส่ปุ๋ยกรรมวิธีที่ 1-3 ส่งผลให้กาแฟอาราบิก้ามีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (SSFM) มีแนวโน้มให้ผลผลิตมากกว่ากรรมวิธีของเกษตรกรนิยมปฏิบัติในพื้นที่ (CFR) และใช้ปริมาณปุ๋ยน้อยกว่ากรรมวิธีของเกษตรกร นำมาซึ่งการประหยัดต้นทุนการผลิต บ่งบอกได้ว่าไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของเมล็ดกาแฟ เป็นหน่วยพื้นฐานในโปรตีน กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ และส่วนประกอบอินทรีย์อื่นๆ และยังเป็น

องค์ประกอบสำคัญของระบบเอนไซม์และมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมทั้งหมดในพืช ในโตรเจนจึงเป็นตัวกำหนดการให้ผลผลิต ซึ่ง Central Coffee Research Institute (2000) รายงานว่ากาแฟอะราบิกาที่ให้ผลผลิต (ผลเชอร์รี่) 6,000 กิโลกรัม/ไร่ ต้องการธาตุไนโตรเจน (N) 13 กิโลกรัม/ไร่, ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 2.3 กิโลกรัม/ไร่ และโพแทสเซียม (K_2O) 15 กิโลกรัม/ไร่ และจากการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่ากาแฟอะราบิกาไม่ตอบสนองต่อปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สูง การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลงไปในดินจึงเป็นการใช้ปุ๋ยที่สิ้นเปลือง ทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิตโดยไม่จำเป็น ในขณะที่การใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธี SSFM ซึ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงชนิดเดียว สามารถให้ผลผลิตกาแฟอะราบิกาสูงสุด ทั้งสองพื้นที่การผลิต คือ 8.36 กิโลกรัม/ต้น และ 6.36 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ ในส่วนความเข้มข้นธาตุอาหารหลักในผลทั้ง 2 พื้นที่ พบว่า การจัดการปุ๋ยกรรมวิธี 1-3 ส่งผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนในผลแตกต่างกันมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม โดยการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้มีความเข้มข้นไนโตรเจนสูงสุด (2.23 และ 2.09 เปอร์เซ็นต์) สอดคล้องกับการศึกษาของ de Lima *et al.* (2016) และ Bote *et al.* (2018) ปริมาณธาตุไนโตรเจนที่เพียงพอจะส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเนื่องจากช่วยให้งอก้านสาขาและใบเจริญเติบโตดีขึ้น

สำหรับการประเมินอัตราการใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธี SSFM นั้น ประเมินจากปริมาณธาตุอาหารที่กาแฟอะราบิกาดูดมาใช้และสะสมในผลเชอร์รี่ ซึ่งมีรายงานว่า 1 กิโลกรัมของผลเชอร์รี่ มีการสะสมไนโตรเจน 6.83 กรัม ฟอสฟอรัส 0.26 กรัม และโพแทสเซียม 3.73 กรัม (Korsamphan, 2014) และในการศึกษาในครั้งนี้ ได้ประมาณการผลผลิตของกาแฟอะราบิกาไว้ที่จำนวน 5 กิโลกรัม/ต้น ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่น้อยกว่า 34, 1.3 และ 3.73 กรัม/ต้น ตามลำดับ ในขณะที่ดินในพื้นที่ปลูกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง จึงไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงธาตุเดียว

ในอัตรา 49.98 กรัม/ต้น ซึ่งเป็นอัตราที่ขาดเคยปุ๋ยไนโตรเจน บางส่วนที่อาจสูญเสียเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดิน เช่น การชะล้าง การถูกตรึง และการระเหย (Santasup, 2013) และจากผลการศึกษานี้พบว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธี SSFM กาแฟอะราบิกาให้ผลผลิต (ผลเชอร์รี่) สูงที่สุดทั้งสองพื้นที่ (8.38 กิโลกรัม/ต้น ในพื้นที่ศูนย์ฝักอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า และ 6.36 กิโลกรัม/ต้น ในพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย) ซึ่งมีการดูดใช้ไนโตรเจน (ปริมาณผลผลิต $\times$ ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในผลผลิตสด 1 กิโลกรัม) มาสะสมในผลผลิตเท่ากับ 57 และ 43 กรัม/ต้น ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในครั้งนี้

สำหรับคุณภาพผลผลิตในการทดลองพื้นที่สถานีวิจัยและศูนย์ฝักอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย พบว่า การจัดการปุ๋ยกรรมวิธีที่ 1-3 ไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดผล ขนาดผลผลิต (เส้นผ่านศูนย์กลาง) และกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม โดยมีค่าในช่วง 1.68-1.75 กรัม/ผล 14.54-14.55 มิลลิเมตร 0.14-0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ 1.42-1.49 กรัม/ผล 12.86-12.91 มิลลิเมตร และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีแบบเจาะจงเฉพาะพื้นที่ (SSFM) มีแนวโน้มให้น้ำหนักผลสด ขนาดผลผลิต (เส้นผ่านศูนย์กลาง) และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ได้มากกว่า ทำให้เห็นว่าไนโตรเจนส่งผลให้น้ำหนักผลสด ขนาดของผลผลิตและปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณคาเฟอีน พบว่าการจัดการปุ๋ยกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้มีปริมาณคาเฟอีนสูงกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้พืชสังเคราะห์กรดอะมิโนซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารกลุ่มแอลคาลอยด์ โดยคาเฟอีนเป็นสารในกลุ่มแอลคาลอยด์ เมื่อสังเคราะห์ขึ้นไปที่ใบพืชเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่เจริญเติบโต เมื่อพืชออกดอกมีการเคลื่อนย้ายมายังดอกและเมื่อเกิดผลมีการเคลื่อนย้ายมาเก็บไว้ในส่วนของผล (Osotsapar, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chapin *et al.* (1990) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

ปริมาณมาก ทำให้มีการสะสมปริมาณคาเฟอีนมาก เช่นกัน โดยไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตกาแฟมีความเป็นประโยชน์ ได้รวดเร็วจากแหล่งปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งต้องใช้เวลาย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารมาสู่ประโยชน์ (Ahmad *et al.*, 2006; Ibrahim and El-Samad 2009; Mufwanzala and Dikinya, 2010) นอกจากนี้ Gonther *et al.* (2011) พบว่า ดินกาแฟที่สะสมไนโตรเจนมากมีความเข้มข้นของคาเฟอีนมากกว่าในดินกาแฟที่มีการสะสมไนโตรเจนปานกลาง และต่ำ เป็นที่น่าสังเกตว่า กรรมวิธีที่ 3 ที่ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 21-0-0 ซึ่งเป็นปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต ทำให้กาแฟอาราบิกาได้รับธาตุอาหารซัลเฟอร์ (ในรูปซัลเฟต) เพิ่มเติม ซึ่งธาตุอาหารซัลเฟอร์นั้น มีบทบาทในการส่งเสริมการดูดใช้ในไนโตรเจน (Aspel *et al.* 2002; Powlson and Dawson, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ (Table 4) ที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในผลผลิตกาแฟของกรรมวิธีที่ 3 สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 และ 2 ซึ่งการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ส่งผลให้มีปริมาณคาเฟอีนสูงที่สุดทั้งสองพื้นที่การผลิต (12.25 และ 11.29 มิลลิกรัม/กรัม)

ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมต่อกาแฟอาราบิกาโดยพิจารณาถึงปริมาณความต้องการธาตุอาหารของกาแฟอาราบิกา และปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาวางแผนการจัดการธาตุอาหารเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตและคุณภาพที่ดี ทำให้การจัดการปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิต

สรุป

การศึกษากาแฟอาราบิกาที่แตกต่างกันต่อผลผลิตและคุณภาพของกาแฟอาราบิกาบนพื้นที่สูง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยทุกกรรมวิธี (กรรมวิธีที่ 1-3) ไม่ส่งผลให้กาแฟอาราบิกามีการเจริญเติบโต (ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น) ปริมาณและคุณภาพผลผลิตแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสนใจ

ว่าการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ซึ่งประเมินจากอัตราการใช้ปุ๋ยจากความต้องการธาตุอาหารของกาแฟอาราบิกา และความเป็นประโยชน์ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินมีแนวโน้มส่งผลให้กาแฟอาราบิกามีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง และปริมาณผลผลิตมากที่สุด โดยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 49.98 กรัม/ต้น กาแฟอาราบิกาที่ปลูก ณ สถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยนไร่หน้า (site A) และพื้นที่สถานีเกษตรที่สูงหนองหอย ให้ผลผลิตเฉลี่ย 8.38 กิโลกรัม/ต้น และ 6.36 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมโดยประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของพืชและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ย ตลอดจนช่วยลดต้นทุนการผลิตที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยที่มากเกินไปจนความจำเป็น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเคมีดิน และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ดินและพืช

เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, R., A. Naseer, A. Zahir, M. Arshad, T. Sultan and M.A. Ullah. 2006. Integrated use of recycled organic waste and chemical fertilizers for improving maize yield. *International Journal of Agriculture and Biology* 8(6): 840-843.
- Angkasith, P. and B. Warrit. 2004. Cultivation and Production of Arabica Coffee at High Altitudes. High Research and Training Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 299 p. (in Thai)
- Aspel, C., P.N.C. Murphy, M.J. McLaughlin and P.J. Forrester. 2022. Sulfur fertilization strategy affects grass yield, nitrogen uptake, and nitrate leaching: A field lysimeter study.

- Journal of Plant Nutrition and Soil Science 185(2): 209-220.
- Association of Official Analytical Chemists. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 771 p.
- Bote, A.D., B. Ayalew, F.L. Ocho, N.P.R. Anten and J. Vos. 2018. Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. European Journal of Agronomy 92: 115-122.
- Central Coffee Research Institute. 2000. Coffee Guide. 6th ed. Central Coffee Research Institute, Karnataka. 329 p.
- Chapin, F.S., E. Schulze and H.A. Mooney. 1990. The ecology and economics of storage in plants. Annual Review of Ecology and Systematics 21: 423-447.
- Chiangmai Land Development Station. 2023. Soil series map of Chiang Mai. (Online) Available: http://www.chiangmailand.go.th/data/soil/soil_series.html (October 6, 2023). (in Thai)
- Clarke, R.J. and R. Macrae. 1985. Coffee: Volume 1: Chemistry. Elsevier Applied Science, London. 306 p.
- Clifford, M.N and K.C. Willson. 1985. Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. The AVI Publishing Company, Westport, Connecticut. 457 p.
- De Lima, L.C., A.C. Goncalves, A.L.T. Fernandes, R.D.O. Silva and R.M.Q. Lana. 2016. Growth and productivity of coffee irrigated according to different sources of nitrogen. Coffee Science 11(1): 97-107.
- Department of Agricultural Extension. 2011. Cultivation of arabica coffee. (Online). Available: <https://esc.doe.go.th/wp-content/uploads/2020/02/Arabica.pdf> (July 1, 2023). (in Thai)
- Department of Trade Negotiations. 2022. Coffee products. (Online). Available: <https://api.dtn.go.th/files/v3/6253f844ef4140eb2c3b124e/download> (February 3, 2023). (in Thai)
- Gonthier, D.J., J.D. Witter, A.L. Spongberg and S.M. Philpott. 2011. Effect of nitrogen fertilization on caffeine production in coffee (*Coffea arabica*). Chemoecology 21: 123-130.
- Ibrahim, A.M. and G.A.A. El-Samad. 2009. Effect of different irrigation regimes and partial substitution of N-mineral by organic manures on water use, growth and productivity of pomegranate trees. European Journal of Scientific Research 38(2): 199-218.
- International Coffee Organization. 2021. The future of coffee investing in youth for a resilient and sustainable coffee sector. (Online). Available: https://www.internationalcoffeeCouncil.com/_files/ugd/0dd08e_b2c2768ae87045e383962ce14ef44925.pdf (February 3, 2023).
- Kalra, Y. P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton, Florida. 287 p.
- Korsamphan, C. 2011. Process Coffee Roasted Production for Farmer. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 36 p. (in Thai).
- Korsamphan, C. 2014. Arabica Coffee. Wanida Printing Company, Chiang Mai. 71 p. (in Thai)
- Korsamphan, C., V. Boonma, C. Chumpan and W. Keawwijit. 2019. Physical and cup quality of selected arabica coffee varieties in the

- Royal Project promoted and development area. Research report. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 95 p. (in Thai)
- Kraitong, T., Y. Kasinkasamepong, P. Ngangoranatigam and O. Nuthong. 2015. Plant nutrition management of robusta coffee based on soil and plant fertility evaluation. Research report. Chumphon Horticultural Research Centre, Chumphon. 63 p. (in Thai)
- Land Development Department. 2007. Soil improvement and soil amendments for coffee production. (Online). Available: http://www.odd.go.th/menu_Dataonline/G2/G2_10.Pdf (September 6, 2020). (in Thai)
- MaeTha District Agricultural Extension Office. 2013. Pruning method. (Online) Available: http://www.lampang.go.th/db_lap/km/50/50_2.doc (September 6, 2020). (in Thai)
- Melke, A. and F. Itana. 2015. Nutritional requirement and management of arabica coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia: National and global perspectives. American Journal of Experimental Agriculture (5): 400-418.
- Minamisawa, M., S. Yoshida and N. Takai. 2004. Determination of biologically active substances in roasted coffees using a diode-array HPLC system. Analytical Sciences 20: 325-328.
- Mitchell, H.W. 1988. Cultivation and harvesting of arabica coffee tree. pp. 43-90. In: R.J. Clarke and R. Macre (eds.). Coffee: Volume 4: Agronomy. Elsevier Applied Science, London.
- Mufwanzala, N. and O. Dikinya. 2010. Impact of poultry manure and its associated salinity on the growth and yield of spinach (*Spinacea oleracea*) and carrot (*Daucus carota*). International Journal of Agriculture & Biology 12(4):489-494.
- Naka, P., P. Ngangoranathikarn, M. Hunthavee, S. Thuantavee, Y. Kasinkasamepong and P. Wutisin. 2004. Coffee. Horticulture Research Institute. Department of Agriculture, Bangkok. 80 p. (in Thai)
- Novozamsky, I., R. van Eck, J. Ch. van Schouwenburg, and I. Walinga. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol-blue method. Netherlands Journal of Agricultural Science 22: 3-5.
- Osotsapar, Y. 2000. Plant Nutrients. Kasetsart University Press, Bangkok. 424 p. (in Thai)
- Pomnoi, K. 1994. Effect of Nitrogen, Phosphorous and Trace Elements on Growth and Yield of arabica coffee plants. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 115 p. (in Thai)
- Powelson, D.S. and C.J. Dawson. 2022. Use of ammonium sulphate as a sulphur fertilizer: implications for ammonia volatilization. Soil Use and Management 38(1): 622-634.
- Santasup, C. 2013. Nutrient management. pp. 227-238. In: T. Rudcharate, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango: Production and Post Harvest Technology. Wanida Printing Company, Chiang Mai. (in Thai)
- Suwanwong, S. 2001. Analysis of Plant Nutrients. Kasetsart University Press, Bangkok. 141 p. (in Thai)
- Torres-Olivar, V., O.G. Villegas-Torres, M.L. Dominguez-Patino, H. Sotelo-Nava, A. Rodriguez-Martinez, R.M. Melgoza-Aleman, L.A. Valdez-Aguilar and I. Alia-Tejagal. 2014. Role of nitrogen and nutrients in crop nutrition. Journal of Agricultural Science and Technology 4: 29-37.

Winston, E.C., J. Littlemore, P. Scudamore-Smith,
P.J. O'Farrell, D. Wiffen and V.J. Doogan.
1992. Effect of nitrogen and potassium on
growth and yield of coffee (*Coffea arabica*
L.) in tropical Queensland. Australian
Journal of Experimental Agriculture 32(2):
217-224.
