ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชในชาน้ำมันเพื่อใช้เป็นค่าวินิจฉัยสำหรับให้คำแนะนำปุ๋ย

Preparation of Standard Plant Nutrients in *Camellia oleifera* Able. for Use as Diagnostic for Fertilizer Recommendations

นายสุทธิ์เดชา ขุนทอง
นางชนินาถ การะภักดี

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 62-63-09-04-010903-010-106-01-11
กลุ่มวิเคราะห์วิจัยพืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
เดือน มีนาคม พ.ศ. 2564

แบบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทะเบียนวิจัยเลขที่	62-63-09-04-010903-010-106-01-11
ชื่อโครงการวิจัย	การจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชในชาน้ำมันเพื่อใช้เป็นค่าวินิจฉัยสำหรับให้คำแนะนำปุ๋ย
ผู้รับผิดชอบ	นายสุทธิ์เดชา ขุนทอง
ที่ปรึกษาโครงการ	นายรัตนชาติ ช่วยบุดดา ผู้เชี่ยวชาญด้านวิเคราะห์วิจัยดินทางเคมี
ผู้ร่วมดำเนินการ	นางชนินาถ การะภักดี
หน่วยงาน	กลุ่มวิเคราะห์วิจัยพืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน
เริ่มต้น	เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561 สิ้นสุดเดือน กันยายน พ.ศ. 2563
รวมระยะเวลาทั้งสิ้น	24 เดือน
สถานที่ดำเนินการ	1) พื้นที่เก็บตัวอย่างดินและพืช ชุดดินดอยปุย บ้านปางมะหัน ตำบลเทอดไทย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย พิกัด (Q47 559541E, 2247103N) 2) ห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งสิ้น

ปีงบประมาณ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน	รวม
2562	-	225,000	225,000
2563	-	220,000	220,000

แหล่งงบประมาณที่ใช้ งบประมาณประจำปีของกรมพัฒนาที่ดิน

พร้อมนี้ได้แนบรายละเอียดประกอบตามแบบฟอร์มที่กำหนดมาด้วยแล้ว

ลงชื่อ.....

นายสุทธิ์เดชา ขุนทอง

นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

ผู้รับผิดชอบโครงการ

ลงชื่อ.....

(.....)

ประธานคณะกรรมการกลั่นกรองผลงานวิชาการของหน่วยงานต้นสังกัด

วันที่ .....เดือน .....พ.ศ. .....

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 62-63-09-04-010903-010-106-01-11

ชื่อโครงการวิจัย การจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชในชาน้ำมันเพื่อใช้เป็นค่าวินิจฉัยสำหรับให้คำแนะนำปุ๋ย

Preparation of standard plant nutrients in *Camellia oleifera* Able. for use as diagnostic for fertilizer recommendations

กลุ่มชุดดิน กลุ่มชุดดินที่ 30 ชุดดินดอยปุย (Doi pui soil series: Dp)

สถานที่ดำเนินการ 1) พื้นที่เก็บตัวอย่างดินและพืช บ้านปางมะหัน ตำบลเทอดไทย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย พิกัด (Q47 559541E, 2247103N)

2) ห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

ผู้ร่วมดำเนินการ นายสุทธิ์เดชา ขุนทอง (Mr. Sutdacha Khunthong)

นางชนินาถ การะภักดี (Mrs. Chaninat Karapakdee)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการปลูกชาน้ำมันในประเทศไทยยังไม่มีรายงานค่ามาตรฐานธาตุอาหารสำหรับใช้แปลผลวิเคราะห์ดินและพืช การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชในชาน้ำมันเพื่อใช้เป็นค่าวินิจฉัยสำหรับให้คำแนะนำปุ๋ย โดยการวิเคราะห์สถานะธาตุอาหารในดิน จำนวน 245 ตัวอย่าง และวิเคราะห์สถานะธาตุอาหารในใบชาน้ำมัน ครอบคลุมทั้งต้นที่ให้ผลผลิตสูง ปานกลาง ต่ำ และไม่ให้ผลผลิต จำนวนทั้งหมด 103 ต้น รวมถึงวิเคราะห์ใบที่มีลักษณะผิดปกติ (มีจุดด่างสีน้ำตาล) เปรียบเทียบกับใบสมบูรณ์ ผลการศึกษา พบว่า พื้นที่ปลูกชาน้ำมัน มีการสะสมของแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับสูง ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาเชิงลบต่อ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง และสังกะสี แต่ส่งเสริมให้ต้นชาน้ำมันดูดแมงกานีสไปสะสมในใบมากเกินความจำเป็น และอาจอยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อพืช ดังนั้น จึงควรปรับความสมดุลของธาตุอาหารในดิน ซึ่งสามารถพิจารณาจากช่วงสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแมงกานีสกับธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในดินเบื้องต้น ได้แก่ แมงกานีส/ฟอสฟอรัส 2.5-4.1, แมงกานีส/โพแทสเซียม 0.4-0.5, แมงกานีส/แคลเซียม 0.0002-0.07, แมงกานีส/แมกนีเซียม 0.04-0.2, แมงกานีส/กำมะถัน 0.7-1.8, แมงกานีส/ทองแดง 6.2-19.9 และ แมงกานีส/สังกะสี 0.2-14.3 ในขณะที่ พีเอชดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ควรอยู่ในช่วง 5.19-5.39, 32.72-38.63 ก/กก. 8.18-17.54, 219-269, 422-550 และ 197-240 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นแนะนำเบื้องต้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ในใบชาน้ำมัน พบว่า ควรอยู่ในช่วง 15.28-16.16, 0.87-0.95, 4.53-5.27, 11.84-13.68, 1.92-2.32, 0.46-0.67 8-13, 15-19 และ 116-139 ก/กก. ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม อาจสามารถเพิ่มผลผลิตชาน้ำมันได้อีก หากลดระดับแมงกานีสในดิน แต่เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถัน เนื่องจากช่วงความเข้มข้นแนะนำที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ อยู่ในช่วงต่ำกว่าค่าแนะนำในพืชโดยทั่วไป จึงควรศึกษาการตอบสนองของธาตุอาหารชนิดดังกล่าวเพิ่มเติม

คำสำคัญ: ธาตุอาหารพืช, ปฏิปักษ์, ความเป็นพิษ, สมดุลธาตุอาหาร, การวิเคราะห์ดินและพืช

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

Abstract

Currently, Tea-oil Camellia (*Camellia oleifera* Able.) cultivation in Thailand have not been reported the nutrient standards for interpreting soil and plant analysis results. The objective of this research was to establish standard plant nutrients in Tea-oil Camellia for diagnosed fertilizer recommendations. The total of 245 soil samples were analyzed for nutrient status. Also, the 103 samples of Tea-oil Camellia leaves from different levels of yields including high, medium and low yields and those which were not productive were analyzed for nutrient status. In addition, the abnormal (brown spotted) leaves were studied and compared with healthy leaves. The results showed that extractable manganese was high in soil. Manganese induced negative interaction with phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, copper and zinc but encouraged Tea-oil Camellia trees to absorb more manganese in leaves which might be toxic to plants. Therefore, the balance of nutrients in soil should be adjusted considering the optimum ratio between manganese and other nutrients for example, manganese/phosphorus 2.5-4.1, manganese/potassium 0.4-0.5, manganese/calcium 0.0002-0.07, manganese/magnesium 0.04-0.2, manganese/sulfur 0.7-1.8, manganese/copper 6.2-19.9 and manganese/zinc 0.2.-14.3. While, the sufficient ranges of soil pH, organic matter, available phosphorus, exchangeable potassium, calcium and magnesium were 5.19-5.39, 32.72-38.63 g/kg, 8.18-17.54, 219-269, 422-550 and 197-240 mg/kg, respectively. In addition, the results showed that the concentration recommended for nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, zinc, copper and iron levels in leaves were in the range 15.28-16.16, 0.87-0.95, 4.53-5.27, 11.84-13.68, 1.92-2.32, 0.46-0.67 8-13, 15-19 and 116-139 g/kg, respectively. The yield of Tea-oil Camellia can be enhanced if manganese level is reduced along with the increase of phosphorus, potassium and sulfur. As the suggested concentration range from this study is below the recommended values for plants in general, the responses of Tea-oil Camellia to such nutrients should be studied. Therefore, should study the response of such nutrients.

Keyword: plant nutrients, antagonist, toxicity, nutrient balance, soil and plant analysis.

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญ

	หน้า
แบบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์	(1)
บทคัดย่อ	(2)
Abstract	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญภาพ	(6)
สารบัญภาคผนวก	(9)
หลักการและเหตุผล	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
ระยะเวลา และสถานที่ดำเนินการ	15
วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ	16
ผลการทดลอง	20
วิจารณ์	32
สรุปและข้อเสนอแนะ	40
ประโยชน์ที่ได้รับ	41
การเผยแพร่ผลงานวิจัย	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	48

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่ามาตรฐานความเข้มข้นธาตุอาหารในใบพืชบางชนิดโดยประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง	9
2	เปรียบเทียบการจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบลองกองระหว่างวิธีประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง และการใช้วิธีเส้นขอบเขต	11
3	ค่ามาตรฐานธาตุอาหารหลักในดินปลูกข้าวจากการใช้สมการพหุนามกำลังสองเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	13
4	สัดส่วนที่เหมาะสมของแมงกานีสกับธาตุอาหารบางชนิดในดินบริเวณพื้นที่ปลูกชาน้ำมัน	23
5	ค่ามาตรฐานสมบัติดินสำหรับชาน้ำมันประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง (ผลผลิต >100 ผล/ต้น)	30
6	ค่ามาตรฐานสมบัติดินในช่วงที่เหมาะสมสำหรับชาน้ำมันเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น	30
7	ค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบชาน้ำมันประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง (ผลผลิต >100 ผล/ต้น)	31
8	ค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบชาน้ำมันเปรียบเทียบกับไม้ผลชนิดอื่น	31

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของต้นชาน้ำมัน	3
2	แนวคิดการตอบสนองของพืชต่อระดับธาตุอาหารตามทฤษฎีถังไม้โอ๊ค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลผลิตพืชจะถูกจำกัดโดยระดับธาตุอาหารที่พืชขาดแคลนสูงสุด จากตัวอย่างโพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำกัดผลผลิต	5
3	แบบจำลองการตอบสนองต่อธาตุอาหารของ Mitscherlich เมื่อสมมติให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 100 หน่วย และปริมาณธาตุอาหารที่ทำให้พืชได้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 15 หน่วย	6
4	แบบจำลองสมดุลมวลของธาตุอาหารพืชระหว่างแหล่งที่มาของธาตุอาหารในดิน (ลูกศรสีเขียว) กับแหล่งที่ทำให้ธาตุอาหารสูญเสียออกจากพื้นที่ (ลูกศรสีดำ) สำหรับใช้จัดการไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในต้นมะกอก	8
5	การใช้วิธีเส้นขอบเขตกำหนดระดับแคลเซียมที่เหมาะสมในต้นกระบองเพชร	11
6	การใช้สมการพหุนามกำลังสองกำหนดระดับกำมะถันที่เหมาะสมในใบยางพาราระยะก่อนเปิดกรีด	12
7	การใช้สมการพหุนามกำลังสองร่วมกับวิธีเส้นขอบเขตกำหนดระดับไนโตรเจนที่เหมาะสมในใบยางพารา	13
8	สถานะของพีเอช (a) อินทรียวัตถุ (b) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และกำมะถันที่สกัดได้ (c) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (d) ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ (e) ในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา	21
9	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน แมงกานีส/โพแทสเซียม & โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (a) แมงกานีส/แคลเซียม & แคลเซียมที่สกัดได้ (b) แมงกานีส/แมกนีเซียม & แมกนีเซียมที่สกัดได้ (c) แมงกานีส/ทองแดง & ทองแดงที่สกัดได้ (d) และ แมงกานีส/สังกะสี & สังกะสีที่สกัดได้ (e) ในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา	22

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน แมงกานีส/ฟอสฟอรัส & ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (a) และแมงกานีส/กำมะถัน & กำมะถันที่สกัดได้ (b) ในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา	22
11	ระดับ พีเอช (a) อินทรียวัตถุ (b) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (c) โพแทสเซียม (d) แคลเซียม (e) แมกนีเซียม (f) และแมงกานีสที่สกัดได้ (g) ในดินปลูกชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ได้แก่ A = ผลผลิต >100 ผล/ต้น B = ผลผลิต 50-100 ผล/ต้น C = ผลผลิต <50 ผล/ต้น และ D = ไม่ให้ผลผลิต ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD, SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	24
12	สัดส่วนของ แมงกานีส/ฟอสฟอรัส (a) แมงกานีส/โพแทสเซียม (b) แมงกานีส/แคลเซียม (c) และแมงกานีส/แมกนีเซียม (d) ในดินปลูกชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ได้แก่ A = ผลผลิต >100 ผล/ต้น B = ผลผลิต 50-100 ผล/ต้น C = ผลผลิต <50 ผล/ต้น และ D = ไม่ให้ผลผลิต ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD, SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	25
13	สถานะของไนโตรเจน (a) ฟอสฟอรัส (b) โพแทสเซียม (c) แคลเซียม (d) แมกนีเซียม (e) และกำมะถัน (f) ในใบชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ได้แก่ A = ผลผลิต >100 ผล/ต้น B = ผลผลิต 50-100 ผล/ต้น C = ผลผลิต <50 ผล/ต้น และ D = ไม่ให้ผลผลิต ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD, SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	27
14	สถานะของทองแดง (a) แมงกานีส (b) สังกะสี (c) และเหล็ก (d) ในใบชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ได้แก่ A = ผลผลิต >100 ผล/ต้น B = ผลผลิต 50-100 ผล/ต้น C = ผลผลิต <50 ผล/ต้น และ D = ไม่ให้ผลผลิต ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD, SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	28

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	อาการผิดปกติของใบชาน้ำมันที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา	28
16	สถานะธาตุอาหารในใบชาน้ำมันเปรียบเทียบระหว่างใบสมบูรณ์ (ใบปกติ) กับใบผิดปกติ (มีจุดด่างสีน้ำตาล) * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD	29

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สารบัญภาคผนวก

ภาคผนวกที่		หน้า
1	สภาพพื้นที่แหล่งปลูกชาน้ำมัน หมู่บ้านปางมะหัน ตำบลเทอดไทย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย	49
2	ลักษณะดินที่ใช้ปลูกชาน้ำมัน	49
3	การเก็บตัวอย่างดินและใบชาน้ำมันจากต้นที่ให้ผลผลิตต่ำ (a) และต้นที่ให้ผลผลิตสูง (b)	50
4	ลักษณะอาการคล้ายการขาดโพแทสเซียมของใบชาน้ำมันที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา	50

หลักการและเหตุผล

ชาน้ำมัน (*Camellia oleifera* Able.) เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในเขตพื้นที่สูงบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย อีกทั้งช่วยแก้ไขปัญหาป่าเสื่อมโทรมและป้องกันการกัดเซาะพังทลายของหน้าดินบริเวณเชิงเขา ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูก ประมาณ 4,000 ไร่ ภายใต้โครงการศึกษาและพัฒนาการปลูกชาน้ำมัน ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการของมูลนิธิชัยพัฒนาที่ดำเนินงานสนองพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โดยจัดตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมัน และพืชน้ำมัน เพื่อเป็นโรงงานผลิตน้ำมันจากเมล็ดชา และพืชน้ำมันอื่น ๆ ซึ่งโรงงานจะผลิตน้ำมันคุณภาพสูง สำหรับการบริโภคและทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากเมล็ดชามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง และมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ใกล้เคียงกับน้ำมันมะกอก จนได้รับการขนานนามว่าเป็นน้ำมันมะกอกแห่งตะวันออก สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์การอาหาร ที่พบว่าน้ำมันเมล็ดชามีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ที่ส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรค มีสรรพคุณทางการแพทย์ในการช่วยป้องกันไขมันอุดตันในเส้นเลือด ผลิตภัณฑ์จากเมล็ดชาจึงเป็นที่ต้องการของตลาด และนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีบทบาทในการสร้างรายได้ เพื่อแก้ไขปัญหาความยากจนแก่เกษตรกรในพื้นที่ (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2562)

การปลูกชาน้ำมันให้ได้ทั้งปริมาณผลผลิต และมีคุณภาพ แต่ยังคงความความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้ ในกระบวนการปลูกจำเป็นต้องมีการจัดการดูแลตามหลักวิชาการ โดยเฉพาะการจัดการธาตุอาหาร เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมปริมาณ และคุณภาพของของผลผลิต แต่ในปัจจุบันค่ามาตรฐานของระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในชาน้ำมัน สำหรับใช้แนะนำปุ๋ยยังไม่พบรายงานการศึกษา ถึงระดับธาตุอาหารในช่วงขาดแคลน (deficient) ต่ำ (low) เพียงพอ (sufficient) หรือสูงเกินไป (excessive) โดยทั่วไปเกษตรกรใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 วิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจึงอาจไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้ชาน้ำมันได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ หรือมากเกินไป ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน เช่น ในกรณีของลองกองที่ขาดแคลเซียม และแมกนีเซียม พบว่า มีโพแทสเซียมในใบเกินความต้องการ หรือในกรณีของฟอสฟอรัสหากมีการใส่ปุ๋ยมากเกินไป ฟอสฟอรัสอาจไปลดความเป็นประโยชน์ของสังกะสี (จำเป็น และคณะ, 2549) หรือในกรณีของปาล์มน้ำมัน พบความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างโพแทสเซียม และแมกนีเซียม (สุนีย์ และคณะ, 2540) การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราสูงกว่า 3.5 กก./ต้น/ปี ทำให้แมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันลดลงจาก 3.7 เป็น 2.5 ก/กก. (ชัยรัตน์, 2548)

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องจัดทำค่ามาตรฐานของธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในชาน้ำมัน เพื่อใช้เป็นค่าวินิจฉัยระดับธาตุอาหาร สำหรับให้คำแนะนำปุ๋ยแก่เกษตรกร ซึ่งสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารในดิน หรือพืชกับปริมาณผลผลิต การสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวในกรณีของพืชอายุสั้น สามารถดำเนินการโดยการปลูกพืชในแปลงทดสอบที่ให้ระดับธาตุอาหารแตกต่างกัน (de la Puente and Belda, 1999) แต่ในกรณีของพืชยืนต้นนิยมใช้วิธีสำรวจเก็บตัวอย่างดิน และพืชจากแปลงเกษตรกร (สุมิตรา และวิเชียร, 2546; สมศักดิ์, 2551; ภรภัทร และสมศักดิ์, 2559) จากนั้นนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหาร กับปริมาณผลผลิต เพื่อใช้กำหนดช่วงความเหมาะสมของธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ

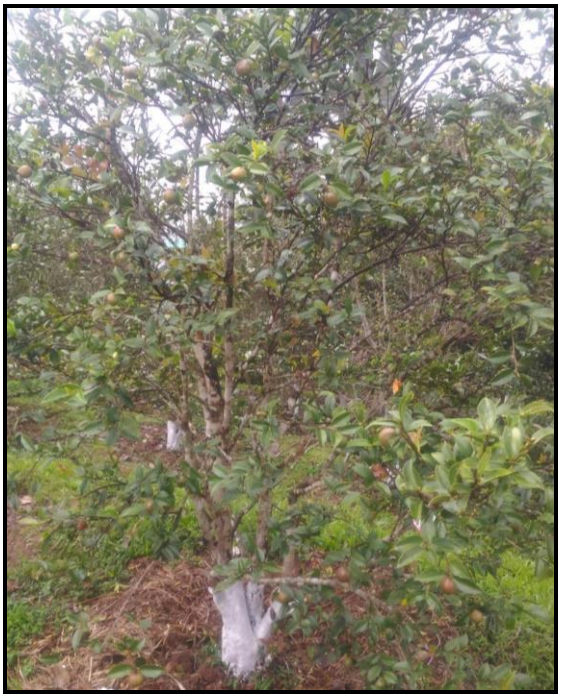
วัตถุประสงค์

จัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชในชาน้ำมันเพื่อใช้เป็นค่าวินิจฉัยสำหรับให้คำแนะนำปุ๋ย

การตรวจเอกสาร

1. ชาน้ำมัน (*Camellia oleifera* Able.)

ชาน้ำมันมีถิ่นกำเนิดในมณฑลทางใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน ทางตอนเหนือของประเทศพม่า ลาว และเวียดนาม เป็นพืช สกุลชา อยู่ในวงศ์ Theaceae สามารถนำเมล็ดแห้งมาบีบสกัดน้ำมัน เพื่อใช้ในการบริโภค โดยเฉพาะทางตอนใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน มีการบริโภคน้ำมันที่ได้จากเมล็ดชามาช้านานกว่า 1,000 ปี ลักษณะของชาน้ำมันเป็นไม่พุ่มหรือไม้ต้นขนาดเล็ก ไม่ผลัดใบ สูงประมาณ 2-4 เมตร (ภาพที่ 1) กิ่งอ่อนมีขนสาก ใบเป็นใบเดี่ยวออกเรียงสลับ เป็นรูปรีแกมรูปไข่ ขนาดกว้าง 2-4 เซนติเมตร ยาว 4-8 เซนติเมตร แผ่นใบหนาคล้ายแผ่นหนัง เหนียว และเป็นมัน ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อยถี่ ฐานใบอบเรียว ปลายใบแหลม ดอกชาน้ำมันเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ออกเป็นดอกเดี่ยว หรือเป็นช่อ 2-3 ดอก บริเวณซอกใบ เมื่อดอกบานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-8 เซนติเมตร มีกลีบดอก 5-9 กลีบ มีสีขาว ปลายกลีบมนและหยักเว้า ออกดอกช่วงกลางเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน ส่วนของผลเป็นผลแห้งชนิดแตกได้ (loculicidal capsule) รูปทรงกลม ขนาดผ่านศูนย์กลาง 2-5 เซนติเมตร เมื่อแก่จะแตกออกจากบริเวณปลายผลเป็นแฉก 3-4 ส่วน แต่ละส่วนจะมีเมล็ด 1-5 เมล็ด



ภาพที่ 1 ลักษณะของต้นชาน้ำมัน

น้ำมันที่ได้จากเมล็ดชามีองค์ประกอบของไขมันที่ดีต่อร่างกายไม่ด้อยไปกว่าน้ำมันมะกอก และไม่มีกรดไขมันทรานส์ ซึ่งทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมวิตามินเอ ดี และอี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้น้ำมันชายังมีกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งไม่ดีต่อร่างกายต่ำ ในขณะที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว หรือ กรดโอเมก้า 9 สูงถึงประมาณ 87-81 เปอร์เซ็นต์ กรดโอเมก้า 6 ประมาณ 13-28 เปอร์เซ็นต์ และ กรดโอเมก้า 3 ประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเหล่านี้สามารถช่วยลดระดับ LDL (คลอเรสเตอรอลชนิดไม่ดี) และเพิ่ม

ระดับ HDL (คลอเรสเตอรอลชนิดดี) ในร่างกาย ป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดตีบตัน โรคอัมพาต โรคความดัน โรคเบาหวาน และโรคหัวใจได้ จึงดีต่อสุขภาพของผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน สตรีมีครรภ์ และผู้สูงอายุ นอกจากจะใช้ในการบริโภคและประกอบอาหารแล้ว น้ำมันชายังสามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องสำอางบำรุงเส้นผมและผิวพรรณต่างๆ เช่น ครีม และโลชั่นบำรุงผิว ครีมกันแดด สบู่ ยาสระผม หรือผสมกับน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2562)

ในปัจจุบัน มูลนิธิชัยพัฒนาได้สนองพระราชดำริ ได้จัดทำ โครงการศึกษา และพัฒนาการปลูกชาน้ำมันเมื่อปี พ.ศ. 2546 โดยประสานกับสถาบันพฤกษศาสตร์มณฑลยูนนานสาธารณรัฐประชาชนจีน นำเมล็ดพันธุ์และต้นกล้าชาน้ำมันมาวิจัยและทดลองปลูกในพื้นที่ทดลองวิจัยตามโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ และพื้นที่ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และต่อมาในปี พ.ศ. 2549 ทางสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้น้อมเกล้าฯ ถวายเมล็ดพันธุ์จำนวน 2,500 กิโลกรัม และต้นกล้าชาน้ำมันอีก 40,000 ต้น ปัจจุบันได้ขยายการปลูกในพื้นที่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และ นครราชสีมา ประมาณ 954,378 ต้น รวมพื้นที่กว่า 3,683 ไร่ อาทิโครงการพัฒนาดอยตุง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเชียงราย พื้นที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (โป่งน้อย) พื้นที่แปลงชาน้ำมันบ้านโปง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชฯ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา พื้นที่สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ฯ จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่บ้านปางมะหัน บ้านปูนะ และพื้นที่ใกล้เคียง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2562) อย่างไรก็ตาม การปลูกชาน้ำมันให้ได้ทั้งปริมาณผลผลิต และมีคุณภาพในกระบวนการปลูกจำเป็นต้องมีการจัดการดูแลตามหลักวิชาการ โดยเฉพาะการจัดการธาตุอาหาร เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมปริมาณ และคุณภาพของผลผลิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการธาตุอาหารพืช (theory of plant nutrient management)

ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชมี 17 ธาตุ แบ่งเป็นกลุ่มที่พืชได้รับจากน้ำและอากาศ 3 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนใหญ่จึงเป็นธาตุที่มีเพียงพอ ส่วนธาตุอีกกลุ่มพืชได้รับจากดิน และมักเป็นธาตุที่จำกัดผลผลิตพืช แบ่งเป็นมหธาตุ จัดเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณสูง มี 6 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน และกลุ่มจุลธาตุ เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย แต่ขาดไม่ได้ มี 8 ธาตุ คือ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน และนิเกิล (ยงยุทธ, 2551) การจัดการธาตุอาหารที่พืชได้รับจากดินมีความซับซ้อน เนื่องจากธาตุอาหารมีหลายธาตุ และมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน เช่น สภาพแวดล้อมในพื้นที่ วัตถุต้นกำเนิดดิน รวมถึงการจัดการธาตุอาหารของเกษตรกร ซึ่งหากมีการจัดการธาตุอาหารที่ไม่ถูกต้องยิ่งเป็นปัจจัยเร่ง ลดความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชจะได้รับ จนส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโต และทำให้ผลผลิตพืชลดลงในที่สุด ดังนั้นเพื่อให้การจัดการธาตุอาหารในดินมีความเหมาะสม สอดคล้องกับความต้องการของพืช จึงได้มีผู้เสนอทฤษฎีสำหรับนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดการธาตุอาหารพืช ซึ่งปัจจุบันทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและได้รับการยอมรับ มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวาง พบว่ามีอยู่ 3 ทฤษฎี 1) ทฤษฎีถังไม้โอ๊ค 2) ทฤษฎีการตอบสนองต่อธาตุอาหาร และ 3) ทฤษฎีการจัดการธาตุอาหารแบบสมดุลมวล

2.1 ทฤษฎีถังไม้โอ๊ค (law of the minimum)

ทฤษฎีนี้เสนอโดย Justus von Liebing นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน เขาได้นำเสนอหลักการที่ว่าผลผลิตของพืชไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหาร แต่ขึ้นอยู่กับธาตุอาหารที่พืชขาดแคลนมากที่สุด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การเจริญเติบโตหรือการให้ผลผลิตของพืชจะถูกจำกัดโดยระดับธาตุอาหารที่พืชชนิดนั้นขาดแคลนมากสุด (Hiddink and Kaiser, 2005) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระดับความสูงของซี่ไม้ ที่ประกอบเป็นถังไม้โอ๊ค ความแตกต่างของระดับความสูงของซี่ไม้แต่ละซี่จะเปรียบเสมือนระดับของธาตุอาหารแต่ละธาตุที่ขาดแคลน และเมื่อบรรจุน้ำในถังดังกล่าว ระดับของน้ำจะถูกจำกัดอยู่ที่ระดับความสูงของซี่ไม้ ซี่ที่มีความสูงต่ำสุด นั้นคือระดับของน้ำในถัง จะเปรียบเสมือนการเจริญเติบโต หรือปริมาณผลผลิตพืช ซึ่งจะถูกจำกัดโดยธาตุที่พืชชนิดนั้นขาดแคลนมากที่สุด (ภาพที่ 2) หากต้องการเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตพืชตามทฤษฎีนี้ จำเป็นต้องค้นหาว่าพืชขาดธาตุอาหารชนิดใด ซึ่งสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ดินและพืช และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของธาตุอาหารในระดับที่เพียงพอสำหรับพืชชนิดนั้น ๆ แบบเฉพาะเจาะจง (สุมิตรา และวิเชียร, 2546; จำเป็น และคณะ, 2549; สมศักดิ์, 2551; ภรภัทร และสมศักดิ์, 2559)

ภาพที่ 2 แนวคิดการตอบสนองของพืชต่อระดับธาตุอาหารตามทฤษฎีถังไม้โอ๊ค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลผลิตพืชจะถูกจำกัดโดยระดับธาตุอาหารที่พืชขาดแคลนสูงสุด จากตัวอย่างโพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำกัดผลผลิต
ที่มา: https://www.sustainablesoils.com/how-much-does-this-method-cost/

2.2 ทฤษฎีการตอบสนองต่อธาตุอาหาร (low of diminishing returns)

ทฤษฎีนี้ถูกนำเสนอโดย E.A. Mitscherlich ในปี ค.ศ. 1909 หลักการของทฤษฎีนี้คือ พืชจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อมีการเพิ่มธาตุอาหารในช่วงที่พืชขาดแคลนธาตุอาหารชนิดนั้นมาก ในขณะที่ผลผลิตส่วนที่เพิ่มขึ้น จะลดลงตามระดับที่พืชขาดแคลน กล่าวอีกนัยหนึ่งคือการเพิ่มปุ๋ยในอัตราสูงเกินไป อาจส่งผลให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนน้อยลง เนื่องจากเมื่อถึงจุดหนึ่งตามทฤษฎีนี้ อัตราการเพิ่มของผลผลิตจากการเพิ่มปริมาณปุ๋ยจะอยู่ในระดับต่ำ ทำให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ไม่คุ้มกับรายจ่ายค่าปุ๋ยที่ใช้ไป โดยเฉพาะในสภาวะที่ราคาผลผลิตตกต่ำ แต่ปุ๋ยมีราคาแพง ซึ่งโดยหลักการสามารถอธิบายทฤษฎีนี้ได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (สมการที่ 1) หรือ (สมการที่ 2) ตามลำดับ (สมศักดิ์, 2552; Nievergelt, 2013)

$$\frac{dy}{dx} = (A-y)\,c \qquad \text{.....1}$$

หรือ

$$y = A\,(1-10^{-cx}) \qquad \text{.....2}$$

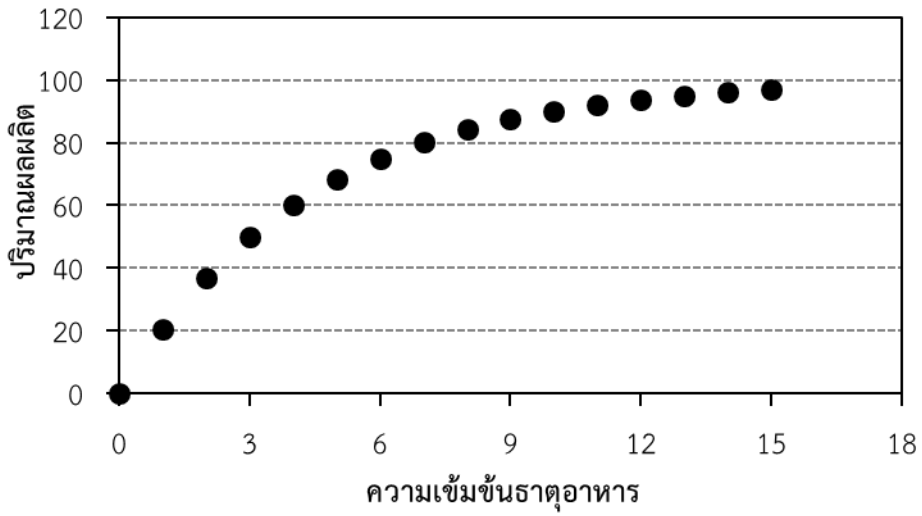
เมื่อ y คือ ผลผลิต

x คือ ความเข้มข้นธาตุอาหาร

A คือ ผลผลิตสูงสุด

c คือ ค่าคงที่ของสมการ

เมื่อนำสมการที่ได้มาสร้างแบบจำลองโดยสมมติให้พืชมีการเจริญเติบโตหรือให้ผลผลิต (A) 100 หน่วย และได้ค่าคงที่ของสมการ (c) เท่ากับ 0.1 พบว่า ความเข้มข้นธาตุอาหาร (x) ที่ทำให้พืชได้ผลผลิตสูงสุด คือ 15 หน่วย (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แบบจำลองการตอบสนองต่อธาตุอาหารของ Mitscherlich เมื่อสมมติให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 100 หน่วย และปริมาณธาตุอาหารที่ทำให้พืชได้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 15 หน่วย

จากแบบจำลอง ชี้ให้เห็นว่า หากในดินไม่มีธาตุอาหารอยู่เลย เมื่อเกษตรกรเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหาร 6 หน่วย ผลผลิตจะเพิ่มขึ้น 75 หน่วย และหากเกษตรกรยังคงเพิ่มปริมาณธาตุอาหารต่อไปอีกเท่าตัว รวมเป็น 12 หน่วย พบว่า ผลผลิตเพิ่มขึ้นเพียงประมาณ 20 หน่วย ดังนั้น หากธาตุอาหารมีราคา 1,000 บาทต่อหน่วย และผลผลิตพืชมีราคา 120 บาทต่อหน่วย ในกรณีแรกเกษตรจ่ายค่าปุ๋ย 6,000 บาท ในขณะที่สามารถขายผลผลิตได้ 9,000 บาท ทำให้เกษตรกรได้ผลตอบแทน 3,000 บาท แต่ในกรณีที่เกษตรกรเพิ่มธาตุอาหารทั้งหมดเป็น 12 หน่วย เกษตรกรต้องจ่ายค่าปุ๋ย 12,000 บาท แต่สามารถขายผลผลิตได้เพียง 11,400 บาท ส่งผลให้เกษตรกรขาดทุน 600 บาท ดังนั้น หลักการจัดการธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น

สำหรับเกษตรกร อย่างไรก็ตาม การคำนวณความต้องการธาตุอาหารของพืชตามทฤษฎีนี้ ในทางปฏิบัติทำได้ยาก เนื่องจากค่าผลผลิตสูงสุด และค่าคงที่ของสมการ ประเมินได้ยาก และมีความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง (Harmsen, 2000) ดังนั้น หากต้องการความแม่นยำ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการทดลองในปริมาณมาก สำหรับนำมาใช้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรของสมการ การคำนวณระดับความเข้มข้นธาตุอาหารที่เหมาะสม ตามทฤษฎีของ Mitscherlich จึงใช้ได้ผลในกรณีที่ปัญหาการขาดธาตุอาหารไม่ซับซ้อน อย่างกรณีการประเมินอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับมันฝรั่งเพียงธาตุเดียว พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ (Nievergelt, 2013) ส่วนในบริเวณที่ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมมีความแปรปรวนการนำสมการดังกล่าวไปใช้จำเป็นต้องมีการดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจากการดัดแปลงสมการให้มีความเหมาะสมกับปริมาณน้ำฝนบริเวณพื้นที่เขตเมดิเตอร์เรเนียน พบว่า สามารถนำมาใช้คำนวณอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวสาลีได้ (Harmsen *et al.,* 2001) อย่างไรก็ตาม หากต้องจัดการธาตุอาหารหลายชนิดไปพร้อมกัน จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการทดลองจำนวนมาก ปัจจุบันจึงมีการใช้แบบจำลองสมดุลมวลมาใช้จัดการธาตุอาหารที่มีความซับซ้อน ซึ่งมีค่าใช้จ่าย และใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการใช้สมการดังกล่าว ประกอบกับงานวิจัยในระยะต่อมา พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินเป็นไปได้ 4 แบบ คือ รูป U คว่ำ, V คว่ำ, S และ C (สมศักดิ์, 2552) ทุกรูปแบบผลผลิตของพืชจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงเกินไป ซึ่งไม่เป็นไปตามสมการของ Mitscherlich แต่สมการนี้ยังคงเป็นรากฐานที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาเทคนิคหลักการจัดการธาตุอาหารในปัจจุบัน

2.3 ทฤษฎีการจัดการธาตุอาหารแบบสมดุลมวล (mass balance model)

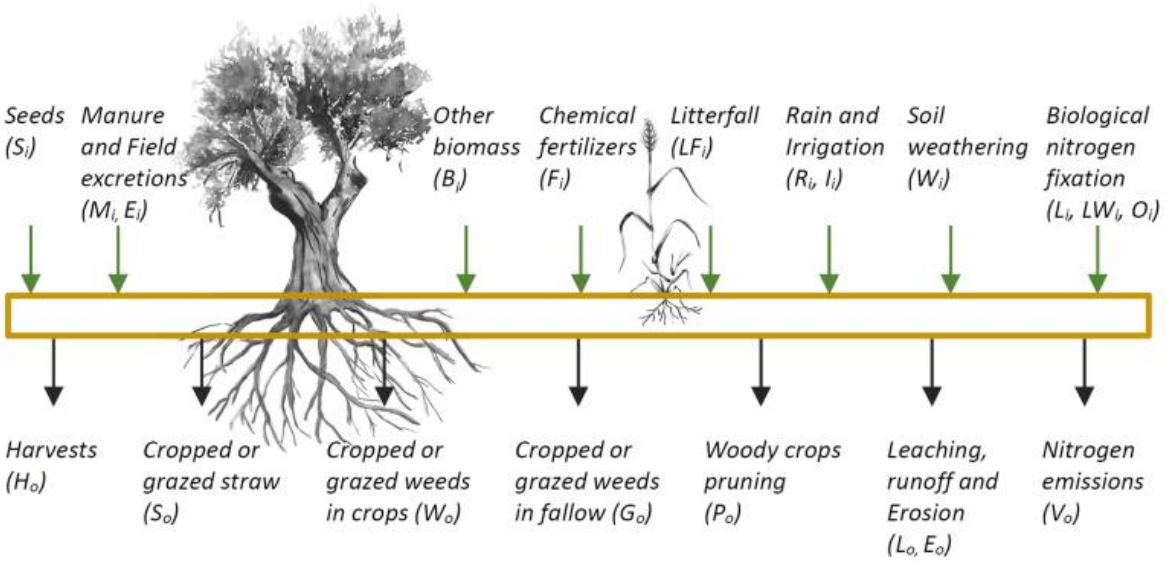
การใช้สมการแบบดั้งเดิมมาประเมินความต้องการธาตุอาหารพืชนั้นทำได้ยาก เนื่องจากปัญหาความไม่แน่นอนของค่าตัวแปรในสมการที่ใช้ ซึ่งเกิดจากความซับซ้อนของสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ทำให้การจัดการธาตุอาหารขาดความแม่นยำ ประกอบกับการเกษตรเปลี่ยนรูปแบบการผลิตจากการเกษตรภาคครัวเรือน มาเป็นการเกษตรเชิงการค้าในภาคอุตสาหกรรม ผลผลิตทางการเกษตรจึงถูกเคลื่อนย้ายออกจากพื้นที่อย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินจากการสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิต ในช่วงศตวรรษที่ 19 นักวิทยาศาสตร์ทางดิน จึงเริ่มเปลี่ยนวิธีการจัดการธาตุอาหารแบบดั้งเดิม มาสู่วิธีการจัดการธาตุอาหารแบบสมดุลมวลของสสาร หลักการของทฤษฎีนี้จะประเมินความต้องการธาตุอาหารที่ต้องเพิ่มในดินจากปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียออกจากระบบ (Garcia-Ruiz *et al.,* 2012) โดยประเมินจากสมดุลของธาตุอาหารที่ดินได้รับ (input) กับส่วนที่สูญเสียออกจากพื้นที่ (output) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย (สมการที่ 3) และ (สมการที่ 4) ตามลำดับ

ธาตุอาหารระดับที่สมดุล = ธาตุอาหารที่ต้องเพิ่มในดิน - ธาตุอาหารที่สูญเสียจากพื้นที่ 3

ธาตุอาหารที่ต้องเพิ่มในดิน = ธาตุอาหารระดับที่สมดุล + ธาตุอาหารที่สูญเสียจากพื้นที่ 4

จากการสร้างแบบจำลองสมดุลมวลเพื่อใช้จัดการไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สำหรับต้นมะกอก พบว่า ปริมาณธาตุอาหารที่ดินได้รับ หรือส่วนที่มีการเพิ่มเข้ามาในระบบ มาจากหลายส่วน ได้แก่

เมล็ดพืช รวมทั้งชีวมวลอื่นๆ ที่ร่วงลงดิน หรือจากปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี น้ำฝน น้ำชลประทาน การผุพังสลายตัวของดิน และพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น ส่วนแหล่งปัจจัยที่ทำให้ธาตุอาหารสูญเสียออกจากพื้นที่ ได้แก่ ผลผลิต ชีวมวลที่นำออกจากพื้นที่โดยกิจกรรมของมนุษย์ หรือสัตว์ กระบวนการชะละลายธาตุอาหาร การไหลบ่าของน้ำ การกร่อนดิน และการสูญเสียไนโตรเจนสู่บรรยากาศ (ภาพที่ 4) (Carmo *et al.*, 2017) จากแบบจำลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า ทฤษฎีสมดุลมวลเป็นเทคนิคการจัดการธาตุอาหารแบบองค์รวม ซึ่งครอบคลุมปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องทั้งระบบ จึงน่าจะช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีนี้มุ่งเน้นรักษาสถานะของธาตุอาหารให้สมดุลกับส่วนที่สูญเสียไป จึงเหมาะกับบริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์อยู่แล้ว แต่หากนำไปใช้ในพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และต้องการยกระดับผลผลิต จำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับค่ามาตรฐานของธาตุอาหารในดิน หรือพืชในระดับที่เพียงพอสำหรับพืชชนิดนั้น ๆ จึงจะสามารถเพิ่มผลผลิตพืช และยังคงความอุดมสมบูรณ์ของดินเอาไว้ ดังนั้น การจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหาร ซึ่งมีความจำเพาะตามชนิดพืช (สุมิตรา และคณะ, 2544) เป็นสิ่งจำเป็นในการนำมาใช้เป็นค่าวินิจฉัยสำหรับแนะนำปุ๋ยแก่เกษตรกร



ภาพที่ 4 แบบจำลองสมดุลมวลของธาตุอาหารพืชระหว่างแหล่งที่มาของธาตุอาหารในดิน (ลูกศรสีเขียว) กับแหล่งที่ทำให้ธาตุอาหารสูญเสียออกจากพื้นที่ (ลูกศรสีดำ) สำหรับใช้จัดการไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในต้นมะกอก

ที่มา: Carmo และคณะ (2017)

3. การจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืช (preparation of plant nutrient standards)

ค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชเป็นค่าที่บ่งชี้สถานะความพอเพียงของธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ สำหรับนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดการความสมดุลธาตุอาหาร หรือใช้เป็นเกณฑ์ประเมินผลวิเคราะห์ดินและพืชในการให้คำแนะนำปุ๋ย ซึ่งมีความจำเพาะต่อชนิดพืชแบบเฉพาะเจาะจง วิธีการที่ดีที่สุดในการสร้างค่ามาตรฐานคือการปลูกพืชในแปลงทดลองที่ให้ระดับธาตุอาหารแตกต่างกัน จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น

ธาตุอาหารกับการตอบสนองของพืช อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัด เนื่องจากหากต้องการข้อมูลที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ในวงกว้าง และครบทุกชนิดธาตุ การศึกษาจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานาน และมีค่าใช้จ่ายสูง ส่วนใหญ่จึงนิยมใช้วิธีสำรวจเก็บตัวอย่างดิน และพืชจากแปลงเกษตรกร ทั้งบริเวณที่ให้ผลผลิตต่ำ และบริเวณที่ให้ผลผลิตสูง (สุมิตรา และวิเชียร, 2546; จำเป็น และคณะ, 2549; สมศักดิ์, 2551; ภรภัทร และสมศักดิ์, 2559) จากนั้นนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหาร กับปริมาณผลผลิต ทั้งนี้การใช้วิธีสำรวจสถานะของธาตุอาหารในดิน และพืช ต้องคำนึงถึงขั้นตอนและรายละเอียดต่าง ๆ ตั้งแต่วิธีการเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง เทคนิคการวิเคราะห์ดินและพืชที่ใช้ ตลอดจนเทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งถือเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยาก และใช้ระยะเวลานาน เพื่อให้ได้มาซึ่งค่ามาตรฐานที่มีความถูกต้อง และแม่นยำ จากการรวบรวมเอกสาร พบว่า เทคนิคที่นิยมใช้จัดทำค่ามาตรฐานพืชจากการสำรวจ มีอยู่ 3 วิธี คือ 1) การประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง 2) การใช้วิธีเส้นขอบเขต (จำเป็น และคณะ, 2549) และ 3) การใช้สมการพหุนามกำลังสอง (ภรภัทร และ สมศักดิ์, 2559)

3.1 การประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง (high yield method)

การจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง อาศัยหลักการที่ว่าสถานะธาตุอาหารในดิน และพืชจากบริเวณที่ให้ผลผลิตดี คือสถานะความเข้มข้นของธาตุอาหารในช่วงที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยจะวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน และพืชจากพื้นที่ดังกล่าวในปริมาณที่มากพอ จากนั้นนำความเข้มข้นธาตุอาหารจากต้นที่ให้ผลผลิตสูงไปประมาณช่วงความเข้มข้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป เพื่อประเมินปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับพืชชนิดนั้น ๆ จากการกำหนดช่วงความเข้มข้นมาตรฐานของธาตุอาหาร จากต้นที่ให้ผลผลิตสูงในลองกอง ทุเรียน และมังคุด พบว่า ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ สอดคล้องกับการใช้วิธีเส้นขอบเขต (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตาม การใช้เทคนิคนี้อาจรวมธาตุอาหารในส่วนที่บริโภคฟุ่มเฟือยเอาไว้ด้วย เนื่องจากบริเวณพื้นที่ให้ผลผลิตสูงส่วนใหญ่มักมีการใส่ปุ๋ยในปริมาณมากจนเกินความต้องการของพืช ค่ามาตรฐานที่ได้จึงอาจสูงกว่าความเป็นจริง (สุมิตรา และคณะ, 2547)

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นธาตุอาหารในใบพืชบางชนิดโดยประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง

ธาตุอาหารในระดับที่เพียงพอ (g/kg)	[1/]ลองกอง	[2/]ทุเรียน	[3/]มังคุด
N	22.95-25.37	20.00-23.00	11.00-14.00
P	1.83-2.07	1.50-2.50	0.50-0.80
K	18.67-20.85	17.00-25.00	0.60-11.00
Ca	10.93-13.93	15.00-25.00	11.00-14.00
Mg	2.67-3.37	3.50-6.00	12.00-18.00

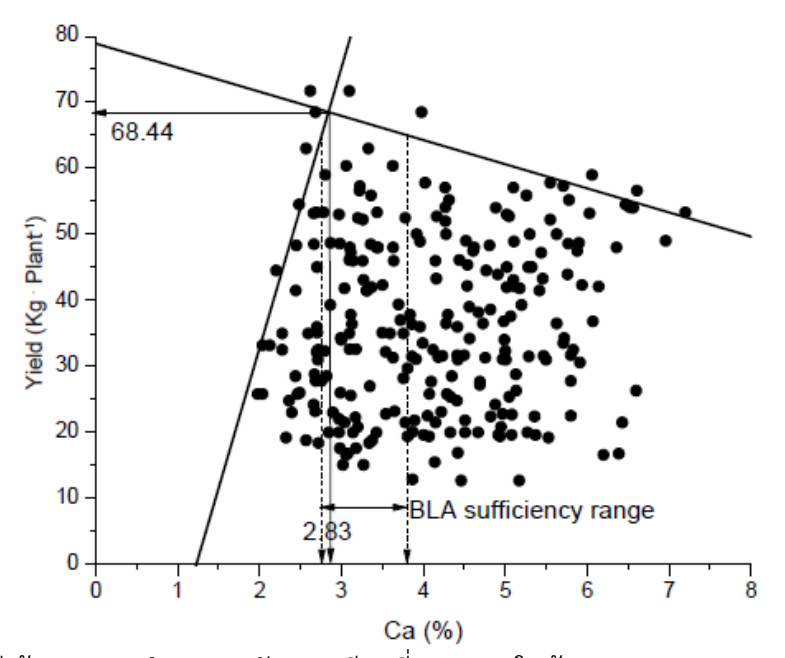
ที่มา: [1/]จำเป็น และคณะ (2549)

[2/]สุมิตรา และคณะ (2544)

[3/]สุมิตรา และคณะ (2547)

3.2 การใช้วิธีเส้นขอบเขต (boundary line method)

การใช้วิธีเส้นขอบเขตสามารถทำได้โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาพิจารณาการกระจายของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นธาตุอาหาร กับการตอบสนองของพืช จากนั้นอาศัยหลักการที่ว่าในช่วงแรกความต้องการธาตุอาหารพืชจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่พืชมีการเจริญเติบโต หรือให้ผลผลิตสูงสุด แต่หลังจากนั้นผลผลิต หรือการเจริญเติบโตจะลดลง เมื่อความเข้มข้นธาตุอาหารยังคงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปกติเมื่อใช้ความเข้มข้นธาตุอาหารพืชที่ได้จากการสำรวจในแต่ละพื้นที่ มาหาความสัมพันธ์กับการตอบสองของพืช พบว่า ส่วนใหญ่ไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากมีปัจจัยอื่นนอกเหนือจากธาตุอาหารที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต หรือผลผลิตพืช เช่น โรค แมลง ปริมาณความชื้นในดิน หรือสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดการตอบสนองของพืชได้เช่นเดียวกัน ปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อความสัมพันธ์ในทางสถิติที่ใช้กันอยู่ทั่วไป (สุมิตรา และคณะ, 2544) ดังนั้น จึงมีการนำวิธีเส้นขอบเขตมาใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยการ ลากเส้นขอบเขตรอบนอกของการกระจายข้อมูลสองเส้นตัดกันในลักษณะของรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมีสมมติฐานว่ากลุ่มข้อมูลบริเวณเส้นขอบเขตนอกเป็นอิทธิพลที่เกิดจากธาตุอาหารภายใต้สภาวะแวดล้อมอื่นที่เหมาะสม การใช้เทคนิคดังกล่าวจะทำให้ได้เส้นแนวโน้ม สองเส้น เส้นแนวโน้มเส้นแรกจะบ่งชี้ระดับความเข้มข้นธาตุอาหารต่อการตอบสนองของพืชจากน้อยไปมาก จนส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตหรือให้ผลผลิตสูงสุด ส่วนเส้นแนวโน้มเส้นที่สองเมื่อพิจารณาจากจุดสูงสุดจะบ่งชี้ความเข้มข้นธาตุอาหารที่เริ่มทำให้พืชมีการตอบสนองลดลง หลังจากมีความเข้มข้นธาตุอาหารสูงเกินไป จากการหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นแคลเซียมในต้นกระบองเพชรกับการเจริญเติบโต พบว่า เมื่อหาความสัมพันธ์ทางสถิติทั่วไป จะไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูล โดยการลากเส้นขอบเขตนอกสองเส้นตัดกัน ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวในลักษณะรูปสามเหลี่ยม ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมองความสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นสามเหลี่ยม (ภาพที่ 5) และจากการใช้วิธีเส้นขอบเขตทำให้ได้ความเข้มข้นแคลเซียมที่ทำให้ต้นกระบองเพชรมีการเจริญเติบโตสูงสุด คือ 2.83 เปอร์เซ็นต์ (Blanco-Macias *et al.*, 2009)



ภาพที่ 5 การใช้วิธีเส้นขอบเขตกำหนดระดับแคลเซียมที่เหมาะสมในต้นกระบองเพชร
ที่มา: Blanco-Macias และคณะ (2009)

การใช้วิธีเส้นขอบเขตสามารถจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชได้ละเอียดกว่าการประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง เนื่องจากสามารถบ่งชี้ค่าความเข้มข้นธาตุอาหารได้ในระดับ ขาดแคลน ต่ำ เพียงพอ และสูงเกินไป ในขณะที่วิธีประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูงสามารถบอกปริมาณธาตุอาหารในระดับเพียงพอ และต่ำหรือสูงกว่าค่าที่เพียงพอเท่านั้น จากการเปรียบเทียบวิธีจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบลองกอง โดยวิธีประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง และวิธีเส้นขอบเขต (ตารางที่ 2) พบว่า ทั้งสองวิธีให้ผลสอดคล้องกัน แต่วิธีเส้นขอบเขตสามารถกำหนดช่วงค่ามาตรฐานได้ละเอียดกว่า (จำเป็น และคณะ, 2549) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาจึงนิยมนำวิธีเส้นขอบเขตมาใช้จัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารในพืชหลายชนิด เช่น ทุเรียน (สุมิตรา และคณะ, 2544) มังคุด (สุมิตรา และคณะ, 2547) และมะม่วงหิมพานต์ (Widiatmaka *et al.*, 2014)

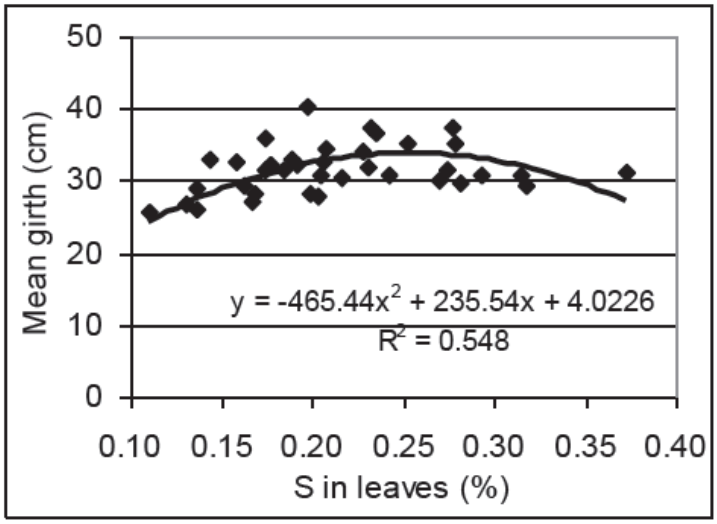
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบลองกองระหว่างวิธีประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง และการใช้วิธีเส้นขอบเขต

ธาตุอาหาร	การประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง			การใช้วิธีเส้นขอบเขต			
(g/kg)	ต่ำ	เพียงพอ	สูง	ขาดแคลน	ต่ำ	เพียงพอ	สูงเกินไป
N	<22.95	22.95-25.37	>25.37	<19.72	19.72-22.96	22.96-26.21	>26.21
P	<1.83	1.83-2.07	>2.07	<1.53	1.53-1.70	1.70-1.87	>1.87
K	<18.67	18.67-20.85	>20.85	<14.30	14.30-17.44	17.44-20.58	>20.58
Ca	<10.93	10.93-13.93	>13.93	<8.21	8.21-10.37	10.37-12.53	>12.53
Mg	<2.67	2.67-3.37	>3.37	<2.03	2.03-2.40	2.40-2.78	>2.78

ที่มา: จำเป็น และคณะ (2549)

3.3 การใช้สมการพหุนามกำลังสอง (quadratic equations method)

การใช้สมการพหุนามกำลังสอง ($y = ax^2 + bx + c$) จัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืช เป็นวิธีที่คล้ายกับการใช้วิธีเส้นขอบเขต เพียงแต่วิธีเส้นขอบเขตใช้เส้นแนวโน้มสองเส้นในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล ในขณะที่การใช้สมการพหุนามกำลังสองใช้เส้นแนวโน้มเพียงเส้นเดียว จึงช่วยลดความยุ่งยากในการประมวลผล การใช้วิธีนี้จะได้เส้นแนวโน้ม ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูประฆังคว่ำ โดยอาศัยหลักการตอบสนองของพืชต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารเช่นเดียวกับการใช้วิธีเส้นขอบเขต คือ ในช่วงแรกความต้องการธาตุอาหารพืชจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่พืชมีการเจริญเติบโต หรือให้ผลผลิตสูงสุด แต่หลังจากนั้นผลผลิต หรือการเจริญเติบโตจะลดลง หากความเข้มข้นธาตุอาหารยังคงเพิ่มขึ้นอีก จากการใช้สมการพหุนามกำลังสองกำหนดความเข้มข้นของกำมะถันที่เหมาะสมในใบยางพาราระยะก่อนเปิดกรีด พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของต้นยางพารากับระดับกำมะถันในใบเป็นไปในลักษณะเส้นโค้งรูประฆังคว่ำ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การใช้สมการพหุนามกำลังสองกำหนดระดับกำมะถันที่เหมาะสมในใบยางพาราระยะก่อนเปิดกรีด
ที่มา: ภรภัทร และ สมศักดิ์ (2559)

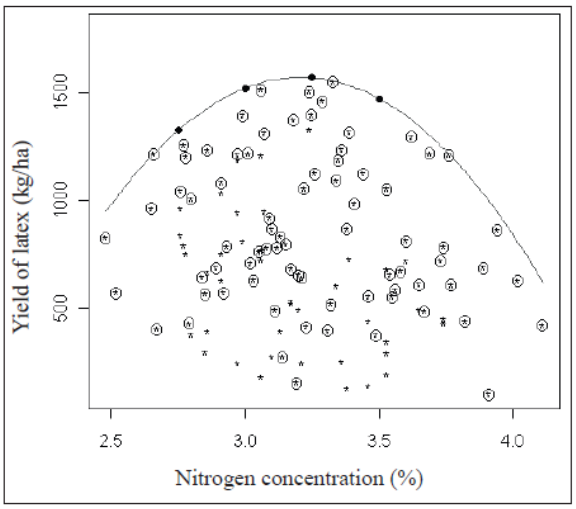
จากภาพแสดงให้เห็นว่าต้นยางพารามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของกำมะถัน และมีการเจริญเติบโตสูงสุด เมื่อมีความเข้มข้นของกำมะถันในใบประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์ แต่หากระดับความเข้มข้นกำมะถันสูงกว่าค่าดังกล่าว จะส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง (ภรภัทร และ สมศักดิ์, 2559) นอกจากนี้ การใช้สมการพหุนามกำลังสองสามารถกำหนดค่ามาตรฐานธาตุอาหารได้อย่างละเอียด เช่นเดียวกับวิธีเส้นขอบเขต จากการจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารหลักในดินสำหรับข้าวโดยใช้สมการพหุนามกำลังสองเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า สามารถกำหนดระดับธาตุอาหาร ในช่วงขาดแคลน ต่ำเพียงพอ และสูงเกินไป (ตารางที่ 3) โดยอาศัยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินกับปริมาณผลผลิต ในช่วง <60, 60-80, 80-100 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เริ่มทำให้ผลผลิตลดลง ตามลำดับ (สุทธิ์เดชา และคณะ, 2562)

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานธาตุอาหารหลักในดินปลูกข้าวจากการใช้สมการพหุนามกำลังสองเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ธาตุอาหารหลัก	ค่ามาตรฐานธาตุอาหารหลักในดินปลูกข้าว			
	ขาดแคลน	ต่ำ	เพียงพอ	สูงเกินไป
Total N (g/kg)	<0.53	0.53-1.02	1.02-1.84	>1.84
Avai. P (mg/kg)	<11.01	11.01-19.22	19.22-27.33	>27.33
Extr. K (mg/kg)	<32.64	32.64-76.88	76.88-120.80	>120.80

ที่มา: สุทธิ์เดชา และคณะ (2562)

อย่างไรก็ตาม จากสาเหตุที่ข้อมูลความเข้มข้นธาตุอาหารที่ได้จากการสำรวจส่วนใหญ่มักไม่พบความสัมพันธ์กับการตอบสนองของพืช เนื่องจากความแปรปรวนของสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ ส่งผลให้ไม่สามารถใช้สมการพหุนามกำลังสองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องใช้วิธีเส้นขอบเขต แต่การใช้วิธีเส้นขอบเขตต้องลากเส้นแนวโน้มสองเส้น และสร้างสมการสองชุดสำหรับใช้วิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งอาจทำให้เสียเวลา เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการดัดแปลงวิธีเส้นขอบเขตมาใช้ร่วมกับสมการพหุนามกำลังสอง โดยการลากเส้นขอบเขตรอบนอกสุดของการกระจายข้อมูลในลักษณะเส้นโค้งรูประฆังคว่ำที่เกิดจากการใช้สมการพหุนามกำลังสองเพียงเส้นเดียว แทนการลากเส้นแนวโน้มสองเส้นแบบสามเหลี่ยม ทำให้ช่วยลดความยุ่งยากในการประมวลผล จากการจัดทำค่ามาตรฐานความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบยางพารา พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสุ่ม ไม่มีรูปแบบแน่นอน (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 การใช้สมการพหุนามกำลังสองร่วมกับวิธีเส้นขอบเขตกำหนดระดับไนโตรเจนที่เหมาะสมในใบยางพารา

ที่มา: Banneheka และคณะ (2013)

การใช้สมการพหุนามกำลังสองเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ แต่เมื่อนำเทคนิควิธีเส้นขอบเขตมาใช้ร่วมกับสมการพหุนามกำลังสอง สามารถกำหนดค่ามาตรฐานของธาตุอาหารได้ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบยางพาราที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูงสุดมีความเข้มข้นประมาณ 3.3 เปอร์เซ็นต์ (Banneheka *et al.,* 2013) นอกจากนี้ ยังมีรายงานการใช้วิธีดังกล่าวกับพืชชนิดอื่น เช่น กระบองเพชร (Blanco-Macias et al., 2009) มะม่วงหิมพานต์ (Widiatmaka *et al.,* 2014) เมล่อน (Maia *et al.,* 2016) และ บลูเบอร์รี่ (Lafond, 2009) แต่เหนือสิ่งอื่นใดการจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารพืชจะยึดติดกับวิธีใดวิธีหนึ่งเพียงอย่างเดียวไม่ได้ ทั้งนี้ควรพิจารณาจากลักษณะการกระจายข้อมูล และเลือกวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนั้น ๆ จากการจัดทำค่ามาตรฐานของสมบัติดินสำหรับปลูกมะม่วงหิมพานต์ พบว่า การกำหนดปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่เหมาะสม ใช้วิธีเส้นขอบเขตร่วมกับสมการพหุนามกำลังสอง ในขณะที่การกำหนดระดับพีเอชที่เหมาะสม ใช้วิธีเส้นขอบเขตที่มีเส้นแนวโน้มสองเส้นตัดกันในลักษณะของรูปสามเหลี่ยม ซึ่งทั้งหมดเลือกวิธีประมวลผลจากรูปแบบการกระจายของข้อมูล (Widiatmaka *et al.,* 2014)

การรวบรวมเอกสารในครั้งนี้ยังพบว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกัน จากการจัดทำค่ามาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ดินและพืชในส้มโอ พบว่า ค่าแนะนำการวิเคราะห์ดินสำหรับส้มโอใกล้เคียงกับค่าแนะนำสำหรับพืชทั่วไป ในขณะที่ค่าแนะนำสำหรับการวิเคราะห์ใบมีความจำเพาะต่อส้มโอมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพืชตระกูลส้มชนิดอื่น พบว่า ส้มโอต้องการฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าแต่ต้องการ แคลเซียม และแมกนีเซียมใกล้เคียงกัน (สมศักดิ์, 2551) ส่วนในยางพาราระยะก่อนเปิดกรีดพบว่าดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยางพาราควรมีปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่สกัดได้ อยู่ในช่วง 10-26 ก/กก., 10-20 และ 40-80 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนในใบควรมีความเข้มข้นของปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในช่วง 30-38, 2.5-3.0 และ 10-14 ก/กก. ตามลำดับ (ภรภัทร และสมศักดิ์, 2559) การศึกษาค่ามาตรฐานในใบมะม่วง พบว่า ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 12.2-17.2, 2.3-6.4 และ 6.2-11.4 ก/กก. ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่า กรณีของมะม่วงมีค่าไนโตรเจนแนะนำต่ำกว่าในยางพาราอย่างเด่นชัด (อัศจรรย์, 2545) ส่วนในใบส้มมีรายงานปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 24-26, 1.2-1.6 และ 8-11 ก/กก. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัสแนะนำต่ำกว่าคำแนะนำในมะม่วงอย่างชัดเจน (นันทรัตน์, 2544 อ้างโดย จำเป็น และคณะ, 2549) จากกรณีศึกษาในข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิดแบบเฉพาะเจาะจง เช่นเดียวกับกรณีของชาน้ำมัน ซึ่งเป็นพืชน้ำมันชนิดใหม่ ที่มีประโยชน์หลากหลายเป็นที่ต้องการของตลาด แต่ยังไม่มีรายงานค่ามาตรฐานของระดับธาตุอาหารสำหรับให้คำแนะนำปุ๋ยแก่เกษตรกร

ระยะเวลา และสถานที่ดำเนินการ

1. ระยะเวลาทำการวิจัย

1 ตุลาคม 2561 – 30 กันยายน 2563

2. สถานที่ดำเนินการ

1. พื้นที่เก็บตัวอย่างดินและพืช บ้านปางมะหัน ตำบลเทอดไทย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย พิกัด (Q47 559541E, 2247103N)
2. ห้องปฏิบัติการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. วัสดุอุปกรณ์

1.1 สารเคมี

1) โพแทสเซียมไดโครเมท
2) เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต
3) ออร์โทฟีแนนโทรลีน อินดิเคเตอร์
4) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
5) กรดไนตริกเข้มข้น
6) กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น
7) กรดไฮโดรคลอริก
8) แอมโมเนียมฟลูออไรด์
9) แอมโมเนียมโมลิบเดต
10) แอนติโมนีโพแทสเซียมตาร์เตรท
11) แอสคอร์บิก
12) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต
13) กรดอะซิติก
14) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
15) โพแทสเซียมคลอไรด์
16) สตรอนเซียมคลอไรด์
17) แคลเซียมคาร์บอเนต
18) แมกนีเซียมออกไซด์
19) แบเรียมคลอไรด์
20) กัมอะคาเซีย
21) โพแทสเซียมซัลเฟต
22) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
23) โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต
24) โซเดียมคาร์บอเนต
25) เกล็ดโซดาไฟ
26) กรดบอริก
27) สารเร่งปฏิกิริยาสำเร็จรูปชนิดอัดเม็ดของเจลดาห์ล
28) โซเดียมไฮดรอกไซด์
29) โบรโมครีซอลกรีน
30) เมทิลเรด
31) เอทิลแอลกอฮอล์

32) โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

33) แอมโมเนียมเมตาวานาเดต

34) แอมโมเนียมอะซิเตต

1.2 อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง

2) ตู้อบ

3) ตู้ดูดควัน

4) เตาให้ความร้อน

5) เครื่องบดตัวอย่าง

6) เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจนและคาร์บอนโดยเทคนิคการเผาแห้ง

7) เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

8) เครื่องเฟลมโฟโทมิเตอร์

9) เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

10)เครื่องย่อยสลายตัวอย่างแบบกึ่งอัตโนมัติ

11)เครื่องย่อยของเจลดาห์ล

12) เครื่องกลั่นของเจลดาห์ล

13) เครื่องวัดพีเอช

14) เครื่องเขย่า

15) เครื่องกวนสารละลาย

16) เครื่องเจือจางสารละลาย

17) ไฮโดรมิเตอร์

18) กระบอกตวง ขนาด 10, 50, 100, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร

19) หลอดแก้ว ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร

20) แท่งแก้วคน

21) กระจกนาฬิกา

22) กรวยพลาสติก

23) บิวเรต

24) บีกเกอร์ ขนาด 50, 250 และ 500 มิลลิลิตร

25) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 50, 250 และ 500 มิลลิลิตร

26) ขวดปริมาตร ขนาด 10, 25, 50, 100, 1,000 และ 2,000 มิลลิลิตร

27) ขวดสีชาขนาด 2.5 ลิตร

28) กระดาษกรองวัตแมน เบอร์ 1 และ เบอร์ 5

29) หลอดเหวี่ยงพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร

1.3 วัสดุอื่น ๆ

1) ถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างดิน
2) ถุงกระดาษสำหรับเก็บตัวอย่างพืช
3) กรรไกร
4) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน (จอบ พลั่วสนาม ออร์เกอร์)

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเก็บ และเตรียมตัวอย่างดินและพืช

สุ่มเก็บตัวอย่างดิน ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จำนวน 245 ตัวอย่าง ในบริเวณพื้นที่ปลูกชาน้ำมัน ของหมู่บ้านปางมะหัน ตำบลเทอดไทย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย และเก็บตัวอย่างใบชาน้ำมันจากต้นที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน จำนวน 103 ต้น (1 ต้น ต่อ 1 ตัวอย่าง) แบ่งเป็น ต้นเกรด A (ผลผลิตสูง >100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด B (ผลผลิตปานกลาง 50-100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด C (ผลผลิตต่ำ <50 ผลต่อต้น) และต้นเกรด D (ไม่ให้ผลผลิต) จำนวน 39, 18, 22 และ 24 ต้น ตามลำดับ โดยแต่ละต้นเลือกเก็บใบที่ขยายตัวเต็มที่แต่ยังไม่แก่ (ใบเพสลาด) บริเวณตำแหน่งใบที่อยู่ตรงกลางของช่อใบ ใน 4 ทิศทางรอบทรงพุ่ม เก็บตัวอย่างใบประมาณ 100 ใบ ต่อหนึ่งตัวอย่าง ดัดแปลงจาก (สุมิตรา และคณะ, 2545ก) นอกจากนี้แยกเก็บใบชาน้ำมันที่มีลักษณะผิดปกติ ซึ่งมีจุดด่างสีน้ำตาล และใบที่สมบูรณ์ มาอย่างละ 10 ต้น เพื่อใช้วิเคราะห์หาสาเหตุความผิดปกติของใบชาน้ำมัน นำตัวอย่างดินที่ได้จากการสุ่มในพื้นที่ มาอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และบดร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2 มิลลิเมตร (ISO 11464, 2006) ส่วนตัวอย่างใบชาน้ำมันใช้ผ้าสะอาดชุบน้ำกลั่นพอหมาดๆ เช็ดบริเวณแผ่นใบเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อน หลังจากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำมาบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช สำหรับใช้วิเคราะห์ธาตุอาหารพืชต่อไป (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547ก)

2.2 การวิเคราะห์ดินและพืช

1) การวิเคราะห์ดิน

นำตัวอย่างดินมาวัดค่าพีเอช (ดิน:น้ำ, 1:1) โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter) (ISO 10390, 2005) และวิเคราะห์หาปริมาณอินทรียวัตถุ จากการใช้วิธีวอล์คเลย์-แบลค (Walkley & Black) หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avai. P) โดยใช้วิธีสกัดดินด้วยน้ำยาสกัดเบรย์ทู (Bray II) ทำให้เกิดสีด้วยวิธีโมลิบดินัมบลู (molybdenum blue) จากนั้นวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) นำตัวอย่างดินอีกส่วนมาสกัดด้วย 1 โมลาร์ ของสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต พีเอช 7.0 (ammonium acetate pH 7.0) จากนั้นนำมาหาปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K) โดยใช้เครื่องเฟลมโฟโตมิเตอร์ (flame photometer) และหาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Ca and Mg) โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (atomic absorption spectrophotometer) ในขณะที่ ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ (Extr. S) ใช้วิธีสกัดดินด้วย 0.5 โมลาร์ ของสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต พีเอช 7.0 ทำให้สารละลายเกิดตะกอนจากการเติม

แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) และวัดความขุ่นด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ส่วนการวิเคราะห์หาจุลธาตุในดิน ใช้วิธีสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด DTPA จากนั้นวัดความเข้มข้นของปริมาณแมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ (Extr. Mn, Zn and Cu) ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตามคู่มือการวิเคราะห์ดิน (Jones, 2001)

2) การวิเคราะห์พืช

นำตัวอย่างพืชมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) โดยใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl) และนำตัวอย่างพืชอีกส่วนมาย่อยสลายด้วยกรดไนตริก : เปอร์คลอริก (2 : 1) สำหรับใช้วิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P) โดยนำสารละลายที่ได้หลังการย่อยมาทำให้เกิดสีด้วยวิธีวานาโดโมลิบเดต (vanadomolybdate) และวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สำหรับการหาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (K) นำสารละลายหลังการย่อยมาวัดความเข้มข้นด้วยเครื่องเฟลมโฟโตมิเตอร์ ในขณะที่ปริมาณ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ทั้งหมด (Ca, Mg, Fe, Mn, Zn and Cu) วัดความเข้มข้นด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (S) ใช้วิธีทำให้สารละลายเกิดตะกอนจากการเติมแบเรียมคลอไรด์ และวัดความขุ่นด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตามคู่มือการวิเคราะห์พืช (Jones, 2001) ส่วนปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (C) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหลักโดยวิธีเผาแห้ง (dry combustion) ดัดแปลงจาก (ISO 10694, 1995)

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลวิเคราะห์ดินมาหาความสัมพันธ์ระหว่างแมงกานีสที่สกัดได้กับธาตุอาหารชนิดอื่น ๆ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของธาตุอาหาร โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยจากสมการลอการิทึม (logarithm) หรือสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential) ขึ้นอยู่กับลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูล วิเคราะห์ความแปรปรวนของธาตุอาหารในใบชาน้ำมัน ตามวิธีแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Honest Significant Difference (HSD) และนำข้อมูลของต้นเกรด A มาประมาณค่าแบบช่วงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อกำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบชาน้ำมัน จากการใช้เทคนิคประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง (จำเป็น และคณะ 2549; จำเป็น และคณะ 2550)

ผลการทดลอง

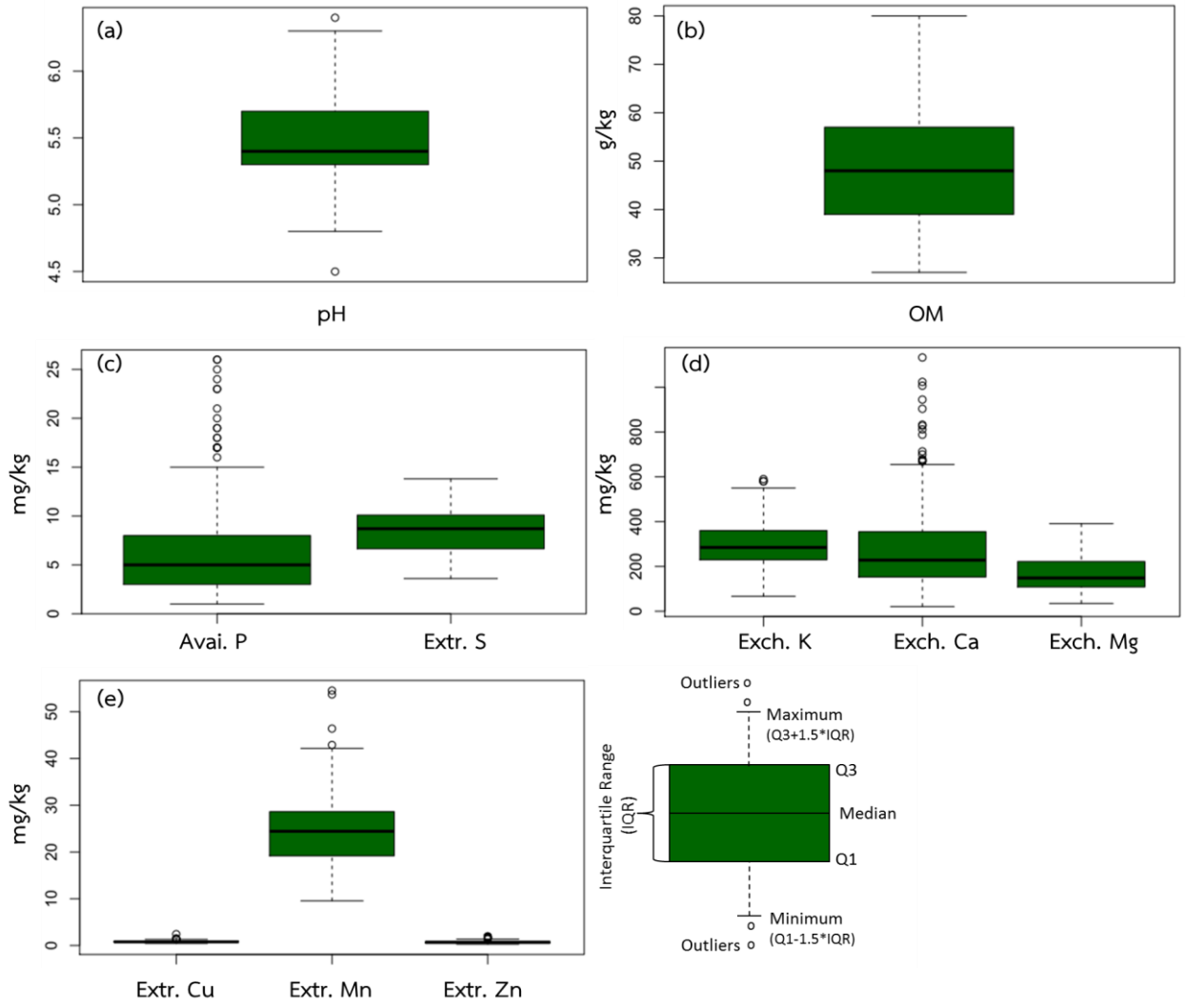
1. ผลวิเคราะห์ดิน

จากผลวิเคราะห์ดินจำนวน 245 ตัวอย่าง ในบริเวณพื้นที่ปลูกชาน้ำมัน ของหมู่บ้านปางมะหัน ตำบลเทอดไทย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย พบว่า ดินบริเวณพื้นที่ดังกล่าว มีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 4.5-6.4 และมีค่ากลาง เท่ากับ 5.4 (ภาพที่ 8a) ชี้ให้เห็นว่า พื้นที่ปลูกชาน้ำมันมีปัญหาความเป็นกรด อย่างไรก็ตาม ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง พบค่า อยู่ในช่วง 27-80 ก/กก. มีค่ากลาง 48.3 ก/กก. (ภาพที่ 8b) ในขณะที่ธาตุอาหารประจุลบ ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และกำมะถันที่สกัดได้ มีค่าอยู่ในช่วง 1-26 และ 3.6-13.8 มก./กก. มีค่ากลาง 6.4 และ 8.7 มก./กก. ตามลำดับ (ภาพที่ 8c) ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงต่ำกว่าค่ามาตรฐานโดยทั่วไป ส่วนธาตุอาหารประจุบวกด่าง ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าอยู่ในช่วง 67-590, 21-635 และ 35-391 มก./กก. มีค่ากลาง 299, 248 และ 166 มก./กก. ตามลำดับ (ภาพที่ 8d) ทั้งนี้เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในระดับต่ำ ส่วนแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547ข) นอกจากนี้ ปริมาณจุลธาตุในดิน ได้แก่ ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ พบว่า อยู่ในระดับต่ำ พบค่าอยู่ในช่วง 0.4-2.4 และ 0.3-2.0 มก./กก. มีค่ากลาง 0.8 และ 0.7 มก./กก. ตามลำดับ แต่กลับพบว่า ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้มีค่าสูง (Jones, 2001) พบค่าอยู่ในช่วง 10-54 มก./กก. และมีค่ากลาง 25 มก./กก. (ภาพที่ 8e) จากผลวิเคราะห์ดิน แสดงให้เห็นว่า ระดับธาตุอาหารบางชนิดที่อยู่ในช่วงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานแนะนำ ได้แก่ ฟอสฟอรัส กำมะถัน แคลเซียม ทองแดง และสังกะสี อาจเป็นผลสืบเนื่องจากอันตรกิริยาเชิงลบของแมงกานีสที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารชนิดอื่นในดิน

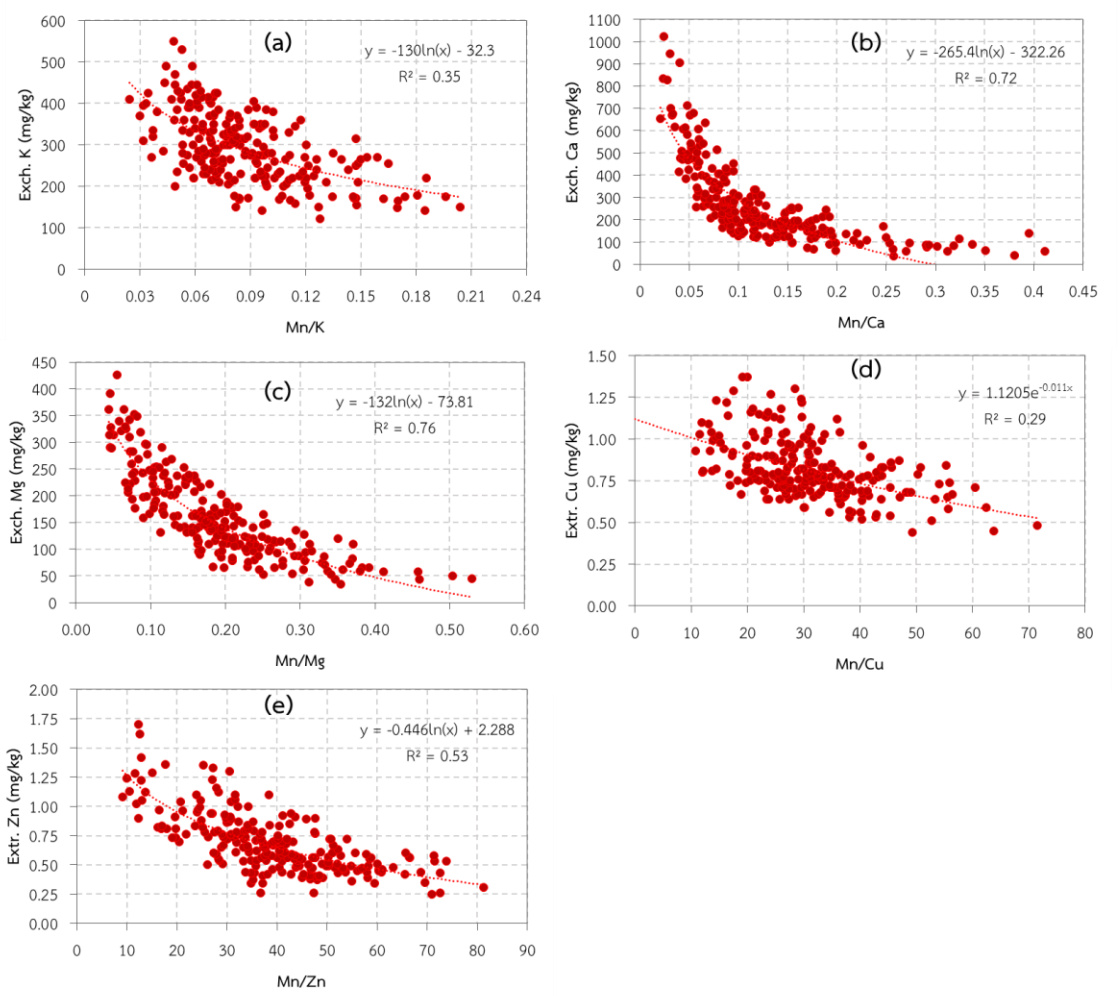
2. สัดส่วนความสัมพันธ์ของแมงกานีสกับธาตุอาหารบางชนิดในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

จากการนำผลวิเคราะห์ดินมาหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของแมงกานีสที่สกัดได้กับธาตุอาหารบางชนิดในดิน ประกอบด้วย ธาตุประจุบวกด่าง ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ภาพที่ 9a-9c) จุลธาตุบางชนิด ได้แก่ ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ (ภาพที่ 9d-9e) ธาตุที่มีประจุลบ ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และกำมะถันที่สกัดได้ (ภาพที่ 10a-10b) พบว่า ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินทุกชนิดที่ทำการทดสอบมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของแมงกานีสที่สกัดได้ รูปแบบความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะผกผันกับสัดส่วนของแมงกานีส โดยระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารชนิดอื่นจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแมงกานีสเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึง อันตรกิริยาเชิงลบของแมงกานีสในดินที่ส่งผลต่อธาตุอาหารชนิดอื่นอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะกรณีของแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ รวมถึงกำมะถันและสังกะสีที่สกัดได้ จากผลทดสอบ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.72, 0.76 (ภาพที่ 9b-9c), 0.69, 0.64 (ภาพที่ 10a-10b) และ 0.53 (ภาพที่ 9e) ตามลำดับ สอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารชนิดดังกล่าวในพื้นที่โดยรวม ซึ่งพบว่าอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าแนะนำ นอกจากนี้ เมื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแมงกานีสที่สกัดได้กับธาตุอาหารชนิดอื่นในดิน โดยพิจารณาจากระดับธาตุอาหารในช่วงที่เพียงพอ พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมของแมงกานีสที่สกัดได้ต่อธาตุอาหารชนิดอื่นอยู่ในช่วงต่าง ๆ ได้แก่ แมงกานีส/ฟอสฟอรัส 2.5-4.1, แมงกานีส/โพแทสเซียม 0.4-0.5, แมงกานีส/

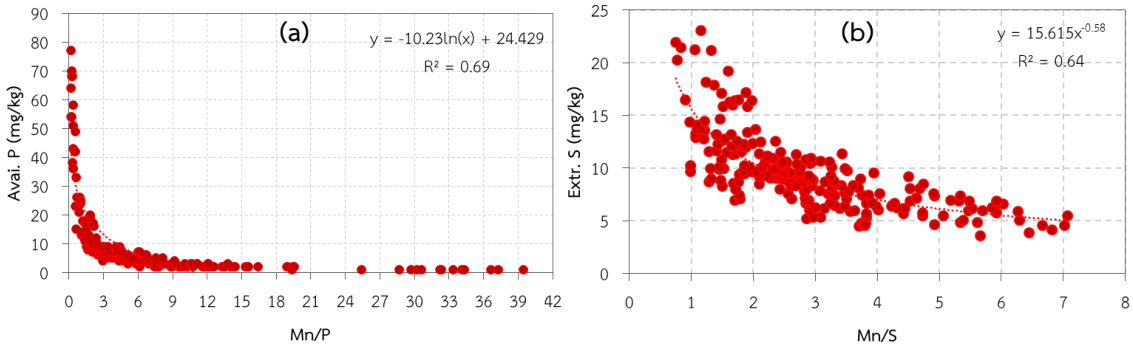
แคลเซียม 0.0002-0.07, แมงกานีส/แมกนีเซียม 0.04-0.2, แมงกานีส/กำมะถัน 0.7-1.8, แมงกานีส/ทองแดง 6.2-19.9 และ แมงกานีส/สังกะสี 0.2-14.3 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ชี้ให้เห็นว่า หากสัดส่วนของธาตุอาหารในดินไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวอันเนื่องจากปริมาณแมงกานีสที่สูงในดิน อาจเป็นปัจจัยยับยั้งการดูดใช้ธาตุอาหารชนิดอื่นของพืช ทั้งนี้ สามารถประเมินศักยภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นชาน้ำมันได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างใบ



ภาพที่ 8 สถานะของพีเอช (a) อินทรียวัตถุ (b) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และกำมะถันที่สกัดได้ (c) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (d) ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ (e) ในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน แมงกานีส/โพแทสเซียม & โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (a) แมงกานีส/แคลเซียม & แคลเซียมที่สกัดได้ (b) แมงกานีส/แมกนีเซียม & แมกนีเซียมที่สกัดได้ (c) แมงกานีส/ทองแดง & ทองแดงที่สกัดได้ (d) และ แมงกานีส/สังกะสี & สังกะสีที่สกัดได้ (e) ในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน แมงกานีส/ฟอสฟอรัส & ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (a) และ แมงกานีส/กำมะถัน & กำมะถันที่สกัดได้ (b) ในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 4 สัดส่วนที่เหมาะสมของแมงกานีสกับธาตุอาหารบางชนิดในดินบริเวณพื้นที่ปลูกชาน้ำมัน

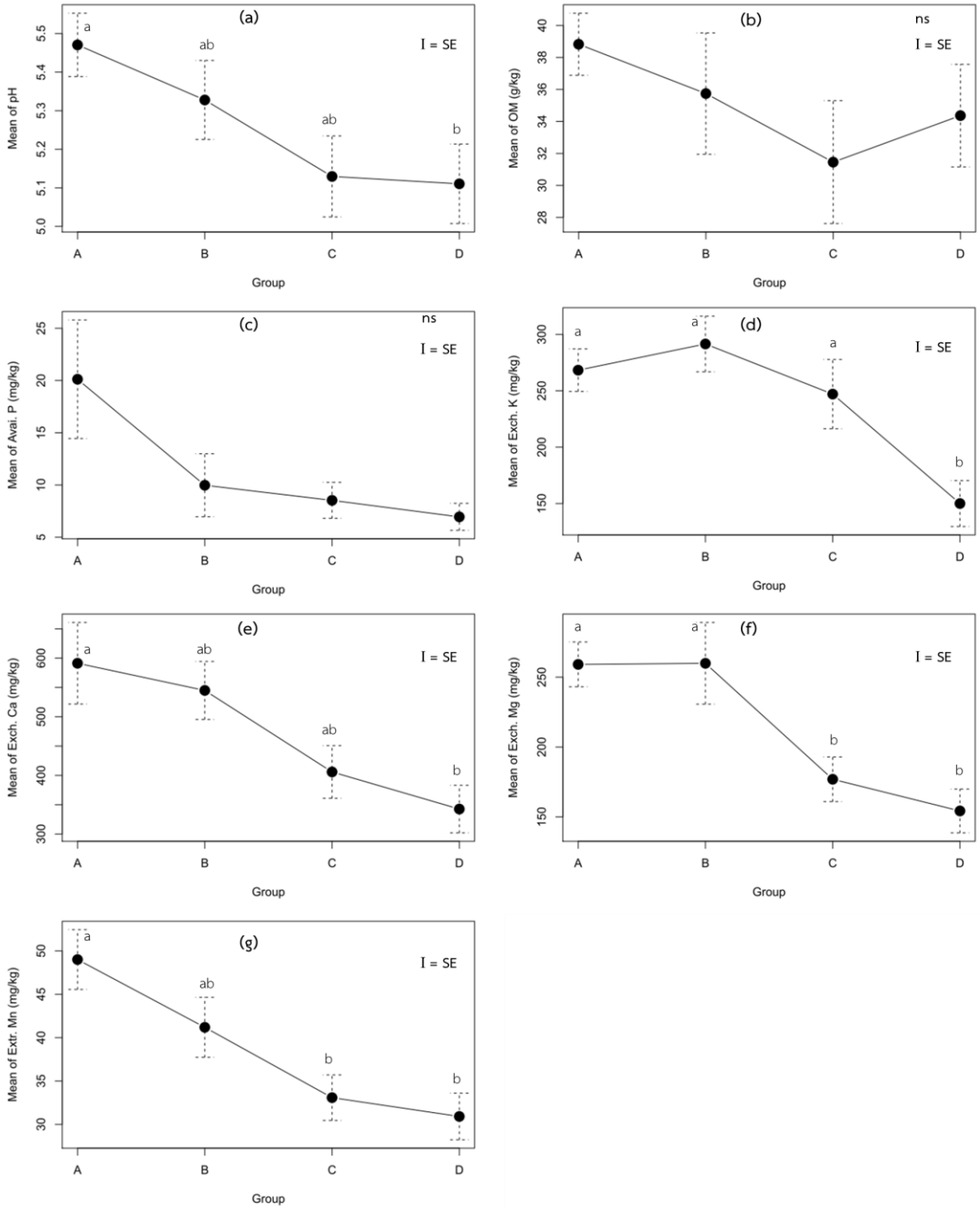
ธาตุอาหาร (วิธีวิเคราะห์)	ช่วงที่เพียงพอ (mg/kg)	สัดส่วนธาตุอาหารที่เหมาะสม						
		Mn/P	Mn/K	Mn/Ca	Mn/Mg	Mn/S	Mn/Cu	Mn/Zn
Avai. P (Bray II)	[1/]10-15	2.5-4.1						
Exch. K (1 M NH_4 OAc pH 7.0)	[1/]60-90		0.4-0.5					
Exch. Ca (1 M NH_4 OAc pH 7.0)	[1/]1000-2000			0.0002-0.007				
Exch. Mg (1 M NH_4 OAc pH 7.0)	[1/]120-365				0.04-0.2			
Extr. S (0.5 M NH_4 OAc pH 7.0)	[1/]11-20					0.7-1.8		
Extr. Cu (DTPA extraction)	[2/]0.9-1.2						6.2-19.9	
Extr. Zn (DTPA extraction)	[2/]1.1-3.0							0.2-14.3

หมายเหตุ : [1/]สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547ข)

[2/]Jones (2001)

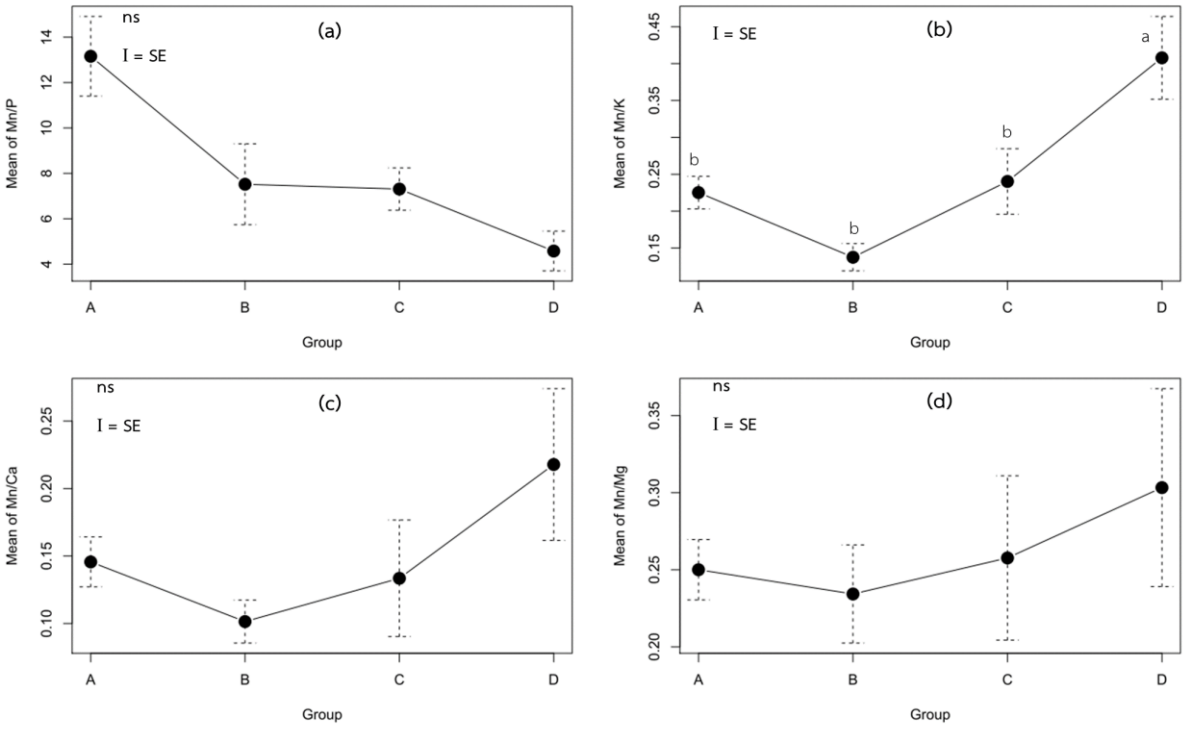
3. สถานะธาตุอาหารในดินจำแนกตามระดับผลผลิต

จากผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินจากต้นที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน จำนวน 103 ต้น แบ่งเป็น ต้นเกรด A (ผลผลิตสูง >100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด B (ผลผลิตปานกลาง 50-100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด C (ผลผลิตต่ำ <50 ผลต่อต้น) และต้นเกรด D (ไม่ให้ผลผลิต) จำนวน 39, 18, 22 และ 24 ต้น ตามลำดับ พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุ (ภาพที่ 11b) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ภาพที่ 11c) บริเวณต้นชาน้ำมันแต่ละเกรด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 31.46-38.82 ก/กก. และ 6.95-20.12 มก./กก. ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในต้นเกรด A และ B มีแนวโน้มสูงกว่าต้นเกรด C และ D ในขณะที่ พีเอชของดิน และปริมาณธาตุอาหารชนิดอื่นในแต่ละกลุ่มเกรด พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อพีเอชดิน (ภาพที่ 11a) ปริมาณโพแทสเซียม (ภาพที่ 11d) แคลเซียม (ภาพที่ 11e) แมกนีเซียม (ภาพที่ 11f) ที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ (ภาพที่ 11g) ลดลง ส่งผลให้ผลผลิตชาน้ำมันลดลง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกรณีของต้นเกรด A ซึ่งให้ผลผลิตสูงสุด กับต้นเกรด D ที่ไม่ให้ผลผลิต พบว่า ดินบริเวณต้นเกรด A มีพีเอช และปริมาณธาตุอาหารชนิดอื่น สูงกว่าต้นเกรด D อย่างเด่นชัด และเมื่อพิจารณาจากสัดส่วนของแมงกานีสที่สกัดได้กับธาตุอาหารชนิดอื่นในดิน พบว่า สัดส่วนของแมงกานีส/ฟอสฟอรัส ในแต่ละกลุ่มเกรดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ในดินบริเวณต้นที่ให้ผลผลิตสูงอย่างต้นเกรด A มีสัดส่วนที่สูงกว่าต้นที่ให้ผลผลิตต่ำกว่า (ภาพที่ 12a) ในขณะที่สัดส่วนของแมงกานีส/โพแทสเซียม (ภาพที่ 12b) แมงกานีส/แคลเซียม (ภาพที่ 12c) และแมงกานีส/แมกนีเซียม (ภาพที่ 12d) ของต้นที่ให้ผลผลิตสูง พบว่า ค่ามีแนวโน้มต่ำกว่าต้นที่ไม่ให้ผลผลิต โดยเฉพาะกรณีสัดส่วนของแมงกานีส/โพแทสเซียม บริเวณต้นเกรด A มีสัดส่วนเท่ากับ 0.23 ต่ำกว่า ต้นเกรด D ที่มีค่า 0.41 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ชี้ให้เห็นว่า สัดส่วนความสมดุลของธาตุอาหารในดินมีผลต่อระดับผลผลิตชาน้ำมัน



ภาพที่ 11 ระดับ พีเอช (a) อินทรียวัตถุ (b) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (c) โพแทสเซียม (d) แคลเซียม (e) แมกนีเซียม (f) และแมงกานีสที่สกัดได้ (g) ในดินปลูกชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ได้แก่ A = ผลผลิต >100 ผล/ต้น B = ผลผลิต 50-100 ผล/ต้น C = ผลผลิต <50 ผล/ต้น และ D = ไม่ให้ผลผลิต ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD, SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาสัดส่วนของแมงกานีสกับธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในแต่ละกลุ่มเกรด หากเปรียบเทียบกับค่าแนะนำเบื้องต้นที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 4) พบว่า ทั้งหมดยังอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม จึงควรปรับความสมดุลของธาตุอาหารในทุกกลุ่ม อย่างไรก็ตาม จากผลวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารบริเวณต้นเกรด A ซึ่งเป็นกลุ่มที่ให้ผลผลิตสูงสุดในพื้นที่ อาจนำมาใช้กำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในดินสำหรับใช้แนะนำเกษตรกรเบื้องต้น

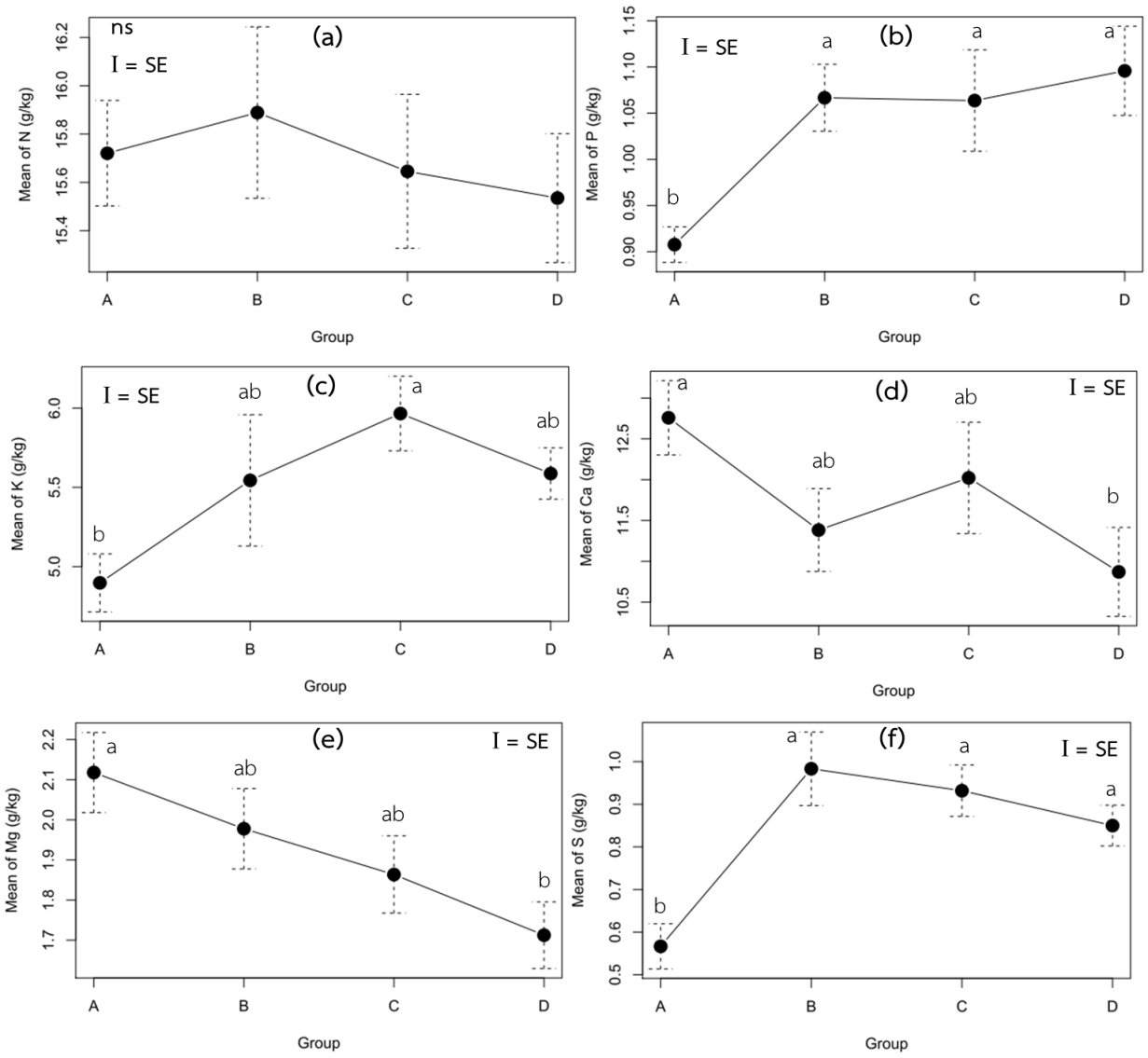


ภาพที่ 12 สัดส่วนของ แมงกานีส/ฟอสฟอรัส (a) แมงกานีส/โพแทสเซียม (b) แมงกานีส/แคลเซียม (c) และแมงกานีส/แมกนีเซียม (d) ในดินปลูกชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ได้แก่ A = ผลผลิต >100 ผล/ต้น B = ผลผลิต 50-100 ผล/ต้น C = ผลผลิต <50 ผล/ต้น และ D = ไม่ให้ผลผลิต ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD, SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

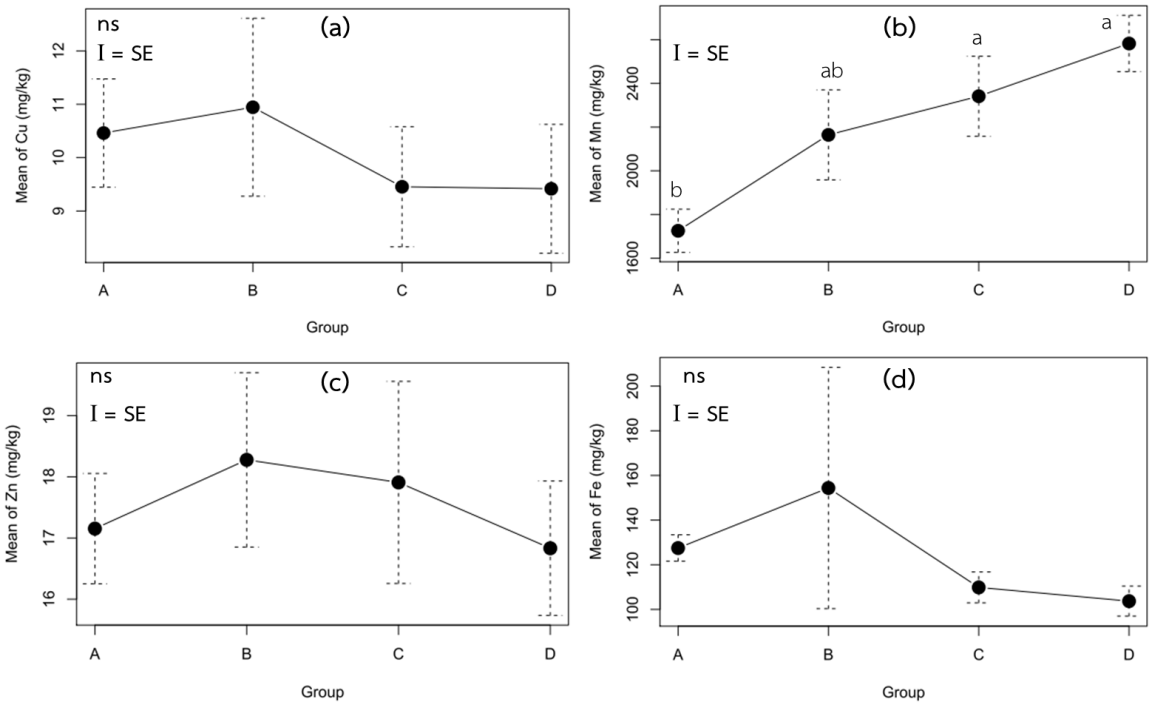
4. สถานะธาตุอาหารในใบชาน้ำมันจำแนกตามระดับผลผลิต

จากผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบชาน้ำมันจากต้นที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน จำนวน 103 ต้น แบ่งเป็นต้นเกรด A (ผลผลิตสูง >100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด B (ผลผลิตปานกลาง 50-100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด C (ผลผลิตต่ำ <50 ผลต่อต้น) และต้นเกรด D (ไม่ให้ผลผลิต) จำนวน 39, 18, 22 และ 24 ต้น ตามลำดับ พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจน (ภาพที่ 13a) ทองแดง (ภาพที่ 14a) สังกะสี (ภาพที่ 14c) และเหล็ก (ภาพที่ 14d) ในใบของต้นชาน้ำมันแต่ละเกรด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 15.53-15.88, 9.41-10.94, 16.83-18.28 และ 103.71-154.39 ก/กก. ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในต้นเกรด A และ B มีแนวโน้มสูงกว่าต้นเกรด C และ D โดยเฉพาะกรณีของทองแดง สังกะสี และเหล็ก แสดงให้เห็นว่า ผลผลิตมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของธาตุชนิดดังกล่าวในใบชาน้ำมัน ส่วนความ

เข้มข้นของธาตุอาหารชนิดอื่นในแต่ละกลุ่มเกรด พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (ภาพที่ 13b) และกำมะถัน (ภาพที่ 13f) ในใบของต้นเกรด A มีความเข้มข้นต่ำสุด 0.90 และ 0.57 ก/กก. ตามลำดับ ในขณะที่ต้นเกรด B, C และ D ไม่มีความแตกต่างกัน มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและกำมะถันอยู่ในช่วง 1.07-1.10 และ 0.85-0.98 ก/กก. ตามลำดับ เช่นเดียวกับความเข้มข้นของโพแทสเซียม พบว่า ต้นเกรด A ค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มต่ำสุด 4.90 ก/กก. แต่ไม่แตกต่างกับต้นเกรด B และ D ซึ่งมีความเข้มข้นโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 5.54-5.59 ก/กก. (ภาพที่ 13c) ในเบื้องต้นจึง ชี้ให้เห็นว่า ฟอสฟอรัส กำมะถัน และโพแทสเซียมอาจไม่ได้เป็นธาตุที่เป็นปัจจัยจำกัดการให้ผลผลิตของชาน้ำมันในลำดับต้น ๆ ถึงแม้สถานะธาตุอาหารในดินบางชนิดธาตุอยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานแนะนำ เนื่องจากความเข้มข้นในใบของต้นที่ให้ผลผลิตสูงกับต้นที่ไม่ให้ผลผลิตไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนความเข้มข้นของแคลเซียม (ภาพที่ 13d) และแมกนีเซียม (ภาพที่ 13e) พบว่า มีแนวโน้มลดลงตามระดับผลิต ต้นเกรด A มีความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงสุด 12.76 และ 2.12 ก/กก. ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับต้นเกรด B และ C ซึ่งมีความเข้มข้นแคลเซียมและแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 11.38-12.02 และ 1.86-1.98 ก/กก. ตามลำดับ ในขณะที่ ต้นเกรด D มีปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมต่ำสุด 10.87 และ 1.71 ก/กก. ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ธาตุชนิดดังกล่าวอาจเป็นปัจจัยจำกัดการให้ผลผลิตของชาน้ำมันในพื้นที่เนื่องจากอยู่ในสภาวะที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ในทางกลับกัน ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบของต้นชาน้ำมันแต่ละกลุ่มเกรด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อต้นชาน้ำมันให้ผลผลิตลดลงอย่างเด่นชัด พบว่า ความเข้มข้นในต้นเกรด A ต่ำสุด 1,725 ก/กก. ในขณะที่ต้นเกรด C และ D มีความเข้มข้นของแมงกานีสสูงสุด 2,341 และ 2,583 ก/กก. ตามลำดับ (ภาพที่ 14b) ชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นแมงกานีสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นชาน้ำมันได้รับผลผลิตลดลง และในทุกกลุ่มเกรด มีการสะสมแมงกานีสอยู่ในระดับสูงเกินความจำเป็น และอาจอยู่ในระดับที่เป็นพิษ เนื่องจากพบลักษณะใบชาน้ำมันที่มีจุดด่างสีน้ำตาลบริเวณแผ่นใบ (ภาพที่ 15) และจากผลวิเคราะห์สถานะธาตุอาหารในใบชาน้ำมันที่มีลักษณะดังกล่าวเทียบกับใบปกติ พบว่า การสะสมธาตุอาหารบางชนิดมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยใบที่มีจุดด่างสีน้ำตาลมีการสะสมแมงกานีส (ภาพที่ 16c) และทองแดง (ภาพที่ 16d) 1,711 และ 34 มก./กก. สูงกว่าใบปกติ 877 และ 19 มก./กก. ตามลำดับ แต่มีการสะสมไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำกว่า (ภาพที่ 16b) ในขณะที่ การสะสมคาร์บอนในใบไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 16a) ชี้ให้เห็นว่า ความแตกต่างของระดับธาตุอาหารในใบ ไม่ได้มีสาเหตุจากอายุใบที่ต่างกัน จึงมีความเป็นไปได้ว่าความเข้มข้นแมงกานีสที่สูงน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่เป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตชาน้ำมัน อย่างไรก็ตาม จากผลวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารชนิดอื่นในใบของต้นเกรด A ซึ่งเป็นกลุ่มที่ให้ผลผลิตสูงสุดในพื้นที่ อาจนำมาใช้กำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในพืช สำหรับใช้แนะนำเกษตรกรเบื้องต้น

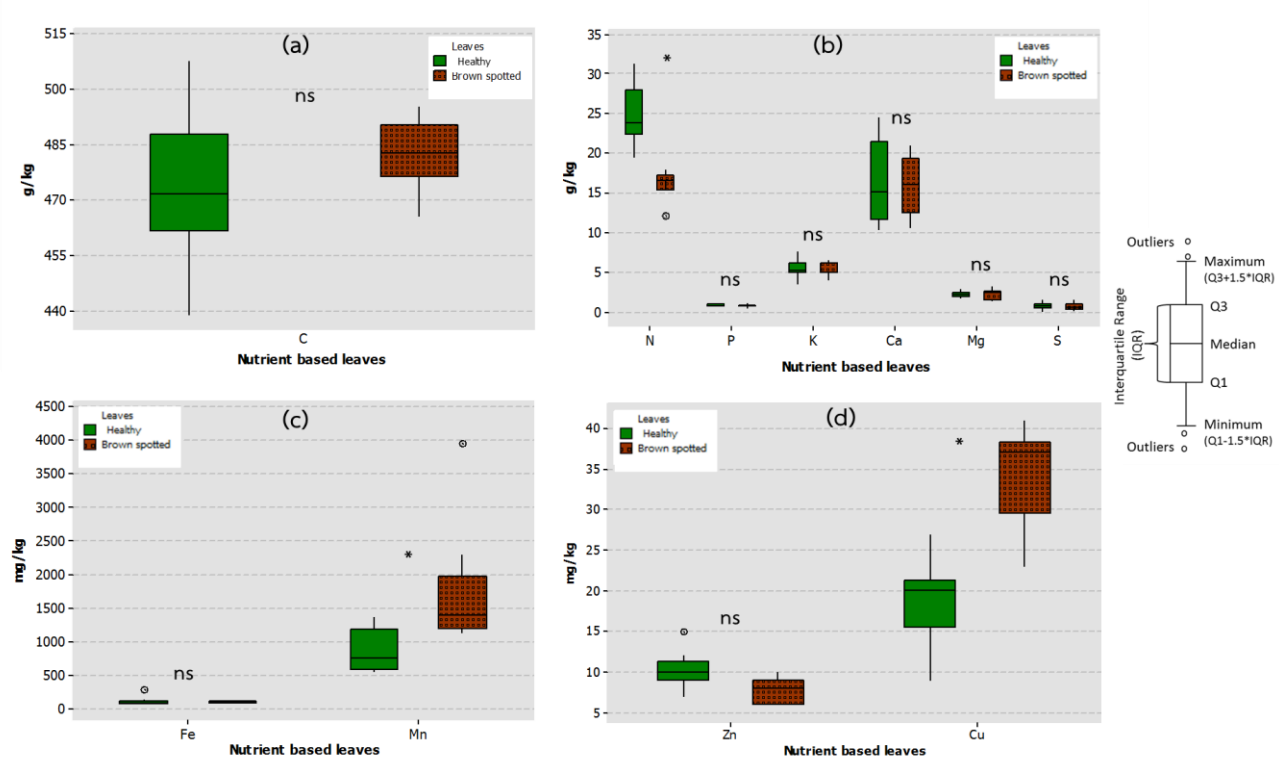


ภาพที่ 13 สถานะของไนโตรเจน (a) ฟอสฟอรัส (b) โพแทสเซียม (c) แคลเซียม (d) แมกนีเซียม (e) และกำมะถัน (f) ในใบชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ได้แก่ A = ผลผลิต >100 ผล/ต้น B = ผลผลิต 50-100 ผล/ต้น C = ผลผลิต <50 ผล/ต้น และ D = ไม่ให้ผลผลิต ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD, SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน



ภาพที่ 14 สถานะของทองแดง (a) แมงกานีส (b) สังกะสี (c) และเหล็ก (d) ในใบชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ได้แก่ A = ผลผลิต >100 ผล/ต้น B = ผลผลิต 50-100 ผล/ต้น C = ผลผลิต <50 ผล/ต้น และ D = ไม่ให้ผลผลิต ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แสดงถึงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD, SE = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ภาพที่ 15 อาการผิดปกติของใบชาน้ำมันที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 16 สถานะธาตุอาหารในใบชาน้ำมันเปรียบเทียบระหว่างใบสมบูรณ์ (ใบปกติ) กับใบผิดปกติ (มีจุดด่างสีน้ำตาล) * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี HSD

5. สมบัติดินที่เหมาะสมสำหรับชาน้ำมันเบื้องต้น

จากการใช้เทคนิคประเมินความเข้มข้นธาตุอาหารจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง เพื่อกำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในดินเบื้องต้น โดยนำข้อมูลความเข้มข้นธาตุอาหารบริเวณทรงพุ่มของต้นเกรด A (ผลผลิต >100 ผลต่อต้น) มาประมาณค่าแบบช่วงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5) พบว่า ระดับพีเอชและอินทรียวัตถุที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 5.19-5.39 และ 32.72-38.63 ก/กก. ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ควรอยู่ในช่วง 8.18-17.54, 219-269, 422-550 และ 197-240 มก./กก. ตามลำดับ ในขณะที่ ช่วงความเข้มข้นธาตุอาหารในดินที่แนะนำสำหรับพืชบางชนิดในเมืองไทย (ตารางที่ 6) พบว่า ระดับพีเอช และอินทรียวัตถุ ที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 4.50-6.50 และ 10-26 ก/กก. ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ควรอยู่ในช่วง 10.00-25.00, 40-150, 50-2,000 และ 120-240 ก/กก. ตามลำดับ แตกต่างกันตามชนิดพืช

ตารางที่ 5 ค่ามาตรฐานสมบัติดินสำหรับชาน้ำมันประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง (ผลผลิต >100 ผล/ต้น)

สมบัติดิน	หน่วย	ต่ำ	เพียงพอ	สูง
pH		>5.19	5.19-5.39	<5.39
OM	g/kg	>32.72	32.72-38.63	<38.63
Avai. P	mg/kg	>8.18	8.18-17.54	<17.54
Exch. K	mg/kg	>219	219-269	<269
Exch. Ca	mg/kg	>422	422-550	<550
Exch. Mg	mg/kg	>197	197-240	<240

ตารางที่ 6 ค่ามาตรฐานสมบัติดินในช่วงที่เหมาะสมสำหรับชาน้ำมันเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น

สมบัติดิน	หน่วย	[1/]ชาน้ำมัน	[2/]ยางพารา	[3/]ส้มโอ	[4/]ดินทั่วไป
pH		5.19-5.39	4.50-5.00	5.50-6.50	-
OM	g/kg	32.72-38.63	10.00-26.00	15.00-25.00	15.00-25.00
Avai. P	mg/kg	8.18-17.54	10.00-20.00	15.00-25.00	10.00-15.00
Exch. K	mg/kg	219-269	40-80	100-150	60-90
Exch. Ca	mg/kg	422-550	50-600	1,000-2,000	1,000-2,000
Exch. Mg	mg/kg	197-240	-	120-240	120-365

หมายเหตุ : [1/]ประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง (ผลผลิต >100 ผล/ต้น, n = 39)

[2/]ภรภัทร และสมศักดิ์ (2559)

[3/]สมศักดิ์ (2551)

[4/]สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547ข)

6. การกำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบชาน้ำมันเบื้องต้น

จากการใช้เทคนิคประเมินความเข้มข้นธาตุอาหารจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง เพื่อกำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบชาน้ำมันเบื้องต้น โดยนำข้อมูลความเข้มข้นธาตุอาหารของต้นเกรด A (ผลผลิต >100 ผลต่อต้น) มาประมาณค่าแบบช่วงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7) พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน อยู่ในช่วง 15.28-16.16, 0.87-0.95, 4.53-5.27, 11.84-13.68, 1.92-2.32 และ 0.46-0.67 ก/กก. ตามลำดับ ส่วน ความเข้มข้นที่เหมาะสมของทองแดง สังกะสี และเหล็ก อยู่ในช่วง 8-13, 15-19 และ 116-139 มก./กก. ตามลำดับ ในขณะที่ ช่วงความเข้มข้นธาตุอาหารในใบ ที่แนะนำสำหรับไม้ผลบางชนิดของเมืองไทย ยกเว้นกรณีกำมะถัน ไม่มีข้อมูลเปรียบเทียบ เนื่องจากมีผู้ศึกษาน้อย (ตารางที่ 8) พบว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีความเข้มข้นที่เหมาะสมในใบ อยู่ในช่วง 17.00-26.21, 1.20-2.80, 8.00-25.00, 4.00-55.00 และ 2.00-6.00 ก/กก. ตามลำดับ ส่วนทองแดง สังกะสี และเหล็ก มีความเข้มข้นแนะนำอยู่ในช่วง 5-25, 10-100 และ 25-150 มก./กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบชาน้ำมันประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง (ผลผลิต >100 ผล/ต้น)

ธาตุอาหาร	หน่วย	ต่ำ	เพียงพอ	สูง
N	g/kg	>15.28	15.28-16.16	<16.16
P	g/kg	>0.87	0.87-0.95	<0.95
K	g/kg	>4.53	4.53-5.27	<5.27
Ca	g/kg	>11.84	11.84-13.68	<13.68
Mg	g/kg	>1.92	1.92-2.32	<2.32
S	g/kg	>0.46	0.46-0.67	<0.67
Cu	mg/kg	>8	8-13	<13
Zn	mg/kg	>15	15-19	<19
Fe	mg/kg	>116	116-139	<139

ตารางที่ 8 ค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบชาน้ำมันเปรียบเทียบกับไม้ผลชนิดอื่น

ธาตุอาหาร	หน่วย	[1/]ชาน้ำมัน	[2/]ลองกอง	[3/]ทุเรียน	[4/]ลำไย	[5/]ลิ้นจี่	[6/]ส้ม
N	g/kg	15.28-16.16	22.96-26.21	20.00-24.00	18.80-24.20	17.00-21.00	24.00-26.00
P	g/kg	0.87-0.95	1.70-1.87	1.50-2.50	1.20-2.20	2.20-2.80	1.20-1.60
K	g/kg	4.53-5.27	17.44-20.58	15.00-25.00	12.70-18.00	11.00-15.00	8.00-11.00
Ca	g/kg	11.84-13.68	10.37-12.53	17.00-25.00	8.80-21.60	4.00-6.00	30.00-55.00
Mg	g/kg	1.92-2.32	2.40-2.78	2.50-5.00	2.00-3.10	2.00-3.00	2.60-6.00
S	g/kg	0.46-0.67	-	-	-	-	-
Cu	mg/kg	8-13	7-8	10-25	15-17	10-20	5-10
Zn	mg/kg	15-19	18-20	10-30	17-20	15-25	25-100
Fe	mg/kg	116-139	61-66	40-150	68-78	25-40	50-150

หมายเหตุ : [1/]ประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง (ผลผลิต >100 ผล/ต้น, n = 39)

[2/]จำเป็น และคณะ (2549), จำเป็น และคณะ (2550)

[3/]สุมิตรา และคณะ (2545ข)

[4/]ยุทธนา และคณะ (2543)

[5/]Vock (1997)

วิจารณ์

1. ผลวิเคราะห์ดิน

จากผลวิเคราะห์ดิน แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ปลูกชาน้ำมันมีปัญหาความเป็นกรด เนื่องจากดินในพื้นที่ศึกษาจัดเป็นดินที่มีพัฒนาการสูง ตั้งอยู่ในสภาพพื้นที่ภูเขา ความลาดชันมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะดินเกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ของหินแกรนิต ซึ่งเป็นหินอัคนีสีจาง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2558) ประกอบกับตั้งอยู่ในสภาพอากาศแบบเขตร้อนชื้น มีผลให้ดินเกิดการผุพังสลายตัวอย่างรุนแรง ปริมาณธาตุอาหารประจุบวกจึงถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดิน ด้วยอำนาจการไล่ที่ของธาตุซึ่งมีอำนาจสูงกว่า อย่างเช่น ไฮโดรเจนไอออน และธาตุที่มีศักยภาพชักนำให้ดินเป็นกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้แก่ เหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส ทำให้มีการสะสมธาตุเหล่านี้อยู่ในระดับสูง และเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาความเป็นกรดของดินตามมา จากปัญหาความเป็นกรดของพื้นที่ จึงมีผลชักนำลดความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารชนิดอื่น เช่น ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากอาจถูกตรึงอยู่กับออกไซด์ของเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส มีผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ โดยเฉพาะแมงกานีส พบว่าในพื้นที่มีการสะสมแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงกว่าดินทั่วไปอย่างเด่นชัด ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดดินมีแมงกานีสเป็นองค์ประกอบอยู่สูง และระดับพีเอชที่ต่ำ ยิ่งเป็นปัจจัยเร่งให้แมงกานีสละลายออกมามากขึ้น เช่นเดียวกับดินอันดับ ออกซิซอลล์ (Oxisols) บริเวณเกาะคาไว และโออาฮู ของฮาวาย มีรายงานปริมาณแมงกานีสละลายออกมามากเกินไป เนื่องจากกระบวนผุพังสลายตัวของหินและแร่จากสภาพอากาศที่รุนแรง (Hue and Mai, 2002) ในขณะที่ ธาตุอาหารชนิดอื่นในพื้นที่ปลูกชาน้ำมัน ได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมถึง กำมะถัน ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าแนะนำโดยทั่วไป ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาเชิงลบระหว่างแมงกานีสที่สกัดได้กับธาตุอาหารชนิดอื่น ๆ มีรายงาน ระดับแมงกานีสที่สูงในดินเป็นปฏิปักษ์ต่อระดับ ฟอสฟอรัส (Nogueira *et al.*, 2004) โพแทสเซียม (Vankatesan *et al.*, 2007) แคลเซียม (Hue *et al.*, 2001) แมกนีเซียม (Elamin and Wilcox, 1986) ทองแดง (Kovacik *et al.*, 2014) และสังกะสี (Soltangheisi *et al.*, 2014) ซึ่งเป็นสาเหตุให้พืชที่ปลูกบริเวณที่มีแมงกานีสสูง ได้รับธาตุอาหารชนิดอื่นไม่เพียงพอ ส่งผลให้เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ปลูกชาน้ำมันปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูง แสดงให้เห็นว่า อันตรกิริยาเชิงลบของแมงกานีสที่มีต่อโพแทสเซียม น่าจะมีอิทธิพลน้อยกว่าในกรณีของธาตุชนิดอื่น นอกจากนี้ พื้นที่ศึกษายังมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจเนื่องจากเป็นพื้นที่ใหม่ที่เริ่มใช้ทำการเกษตร จึงยังคงมีปริมาณอินทรียวัตถุสะสมอยู่ในดิน และน่าจะเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่เป็นปัจจัยเร่งการละลายของแมงกานีสในดิน เนื่องจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุจะให้อิเล็กตรอนเพื่อการรีดิวซ์แมงกานิกเป็นแมงกานัส (ยงยุทธ, 2552) ดังนั้น จากผลวิเคราะห์ดินในพื้นที่ปลูก ชาน้ำมันโดยรวม ชี้ให้เห็นว่า เกษตรกรควรให้ความสนใจกับปริมาณแมงกานีสที่สูงในดิน ซึ่งคาดว่าน่าจะมี อันตรกิริยาเชิงลบต่อธาตุชนิดอื่น ๆ ได้แก่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง และสังกะสี และเพื่อความชัดเจนของข้อมูล สำหรับแนะนำเกษตรกร จึงควรศึกษาสัดส่วน

ความสัมพันธ์ของแมงกานีสกับธาตุอาหารชนิดดังกล่าวในข้างต้น อีกทั้ง ควรเฝ้าระวังความเป็นพิษจากแมงกานีส ซึ่งอาจเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อพืช หากพืชดูดแมงกานีสไปสะสมในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น

2. สัดส่วนความสัมพันธ์ของแมงกานีสกับธาตุอาหารบางชนิดในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

จากผลการหาสัดส่วนความสัมพันธ์ของแมงกานีสกับธาตุอาหารบางชนิดในดินบริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่า แมงกานีสที่สกัดได้ในดินมีอันตรกิริยาเชิงลบต่อธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในดินอย่างเด่นชัด ทั้งธาตุอาหารที่มีประจุบวก ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ รวมถึงธาตุอาหารที่มีประจุลบ ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และกำมะถันที่สกัดได้ สอดคล้องกับรายงานผลวิเคราะห์ดิน พบว่า ความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ ส่วนความเข้มข้นของแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงกว่าค่าแนะนำ ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณแมงกานีสที่สูงในดินจะไปแทนที่ธาตุอาหารประจุบวกชนิดอื่นที่อยู่ในสารละลายดินหรือที่ถูกดูดซับอยู่กับคอลลอยด์ดิน ส่งผลให้ธาตุประจุบวกอื่น ๆ ถูกชะละลายออกไป ในขณะที่ธาตุประจุลบอาจถูกตรึงอยู่กับแมงกานีส อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ยาก มีรายงานความเข้มข้นแมงกานีสในดินที่สูงเกิน 1,000 มก./กก. ส่งผลให้ความเข้มข้นของแคลเซียม และแมกนีเซียมลดลง (Vankatesan *et al.,* 2007) เช่นเดียวกับการทดสอบเพิ่มปริมาณแมงกานีสในสารละลายธาตุอาหาร พบว่า ส่งผลให้พืชดูดใช้แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กได้น้อยลง (Nazrul-Islam, 1986) นอกจากนี้ พบปัญหาอันตรกิริยาของแมงกานีสที่ส่งผลเชิงลบต่อธาตุชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไนโตรเจนในพื้นที่ปลูกข้าวบาร์เลย์ (Thong *et al.,* 1997) ฟอสฟอรัสในพื้นที่ปลูกมันฝรั่ง (Barben *et al.,* 2010) และนาข้าว (Magahud *et al.,* 2015) โพแทสเซียมในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง (Heenan and Campbell, 1981) สังกะสีในพื้นที่ปลูกข้าวโพด (Soltangheisi *et al.,* 2014) รวมถึงมีรายงานการใส่กำมะถันในดิน ส่งผลให้ความเข้มข้นของแมงกานีสลดลง เนื่องจากทั้งสองชนิดธาตุเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน (Turan *et al.,* 2013) จากผลการทดลองและรายงานการศึกษาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า ระดับแมงกานีสที่สูงในดิน มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารชนิดอื่น ทั้งธาตุอาหารที่มีประจุบวกและประจุลบ ดังนั้น จึงควรหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแมงกานีสกับธาตุอาหารชนิดดังกล่าว สำหรับใช้เป็นแนวทางปรับความสมดุลของธาตุอาหารในดิน ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้เมื่อพิจารณาจากระดับที่เพียงพอเบื้องต้นของธาตุอาหารในดิน พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมของแมงกานีสที่สกัดได้ต่อธาตุอาหารชนิดอื่น อยู่ในช่วงต่าง ๆ ได้แก่ แมงกานีส/ฟอสฟอรัส 2.5-4.1, แมงกานีส/โพแทสเซียม 0.4-0.5, แมงกานีส/แคลเซียม 0.0002-0.07, แมงกานีส/แมกนีเซียม 0.04-0.2, แมงกานีส/กำมะถัน 0.7-1.8, แมงกานีส/ทองแดง 6.2-19.9 และ แมงกานีส/สังกะสี 0.2-14.3 ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่า หากต้องการป้องกัน อันตรกิริยาเชิงลบที่เกิดจากแมงกานีส จำเป็นต้องรักษาสัดส่วนของธาตุอาหารให้อยู่ในช่วงดังกล่าว เช่น กรณีของทองแดง ผลทดสอบตัวอย่างดินโดยรวมมีปริมาณทองแดงที่สกัดได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ 0.8 มก./กก. และมีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับสูง 25 มก./กก. คิดเป็นสัดส่วนแมงกานีสต่อแคลเซียม เท่ากับ 31 ในขณะที่สัดส่วนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.2-19.9 ดังนั้น เพื่อเพิ่มปริมาณทองแดงให้อยู่ในช่วงที่เพียงพอ และแก้ปัญหาอันตรกิริยาที่เกิดจากแมงกานีส จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณทองแดงในดินให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 1.26 มก./กก. หรืออาจใช้วิธีลดความเข้มข้นของแมงกานีสในดิน ทั้งนี้สามารถทำได้โดยการใส่วัสดุปูน จำพวกปูนขาว ปูนมาร์ล รวมถึง โดโลไมท์ ซึ่งนอกจากช่วยลดปริมาณ

แมงกานีสในดินจากอำนาจการไล่ที่ของแคลเซียมและแมกนีเซียมแล้ว ยังสามารถใช้เป็นแหล่งของแคลเซียมและแมกนีเซียมในดิน รวมถึงช่วยยกระดับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้อีกทางหนึ่ง มีรายงานหาก พีเอชของดินเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ความเข้มข้นของแมงกานัสไอออนในสารละลายดินจะลดลง 100 เท่า (ยงยุทธ, 2552) อย่างไรก็ตาม หากใส่วัสดุปูนในปริมาณมากเกินไป ต้องระวังปัญหาอันตรกิริยาเชิงลบของแคลเซียมและแมกนีเซียม ที่จะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารชนิดอื่น เช่นเดียวกับกรณีปัญหาที่เกิดจากแมงกานีส

3. สถานะธาตุอาหารในดินจำแนกตามระดับผลผลิต

จากผลวิเคราะห์ดินบริเวณต้นที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน แบ่งเป็น ต้นเกรด A (ผลผลิตสูง >100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด B (ผลผลิตปานกลาง 50-100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด C (ผลผลิตต่ำ <50 ผลต่อต้น) และต้นเกรด D (ไม่ให้ผลผลิต) ชี้ให้เห็นว่า ระดับผลผลิตชาน้ำมันค่อนข้างผันแปรตามระดับธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกรณีของต้นเกรด A ซึ่งให้ผลผลิตสูงสุด กับต้นเกรด D ที่ไม่ให้ผลผลิต พบว่า ดินบริเวณต้นเกรด A มีพีเอช ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สูงกว่าต้นเกรด D อย่างเด่นชัด นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนของแมงกานีสกับธาตุอาหารชนิดอื่น ชี้ให้เห็นว่า สัดส่วนของแมงกานีส/โพแทสเซียม แมงกานีส/แคลเซียม และแมงกานีส/แมกนีเซียม ในดินบริเวณต้นเกรด A มีแนวโน้มอยู่ในระดับต่ำกว่าต้นเกรด D โดยเฉพาะกรณีสัดส่วนของแมงกานีส/โพแทสเซียม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากระดับแมงกานีสที่สูงในดินบริเวณต้นเกรด D อาจไปไล่ที่แคตไอออนชนิดอื่น ซึ่งถูกดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ดิน ให้ออกมาอยู่ในสารละลายดิน (ยงยุทธ, 2552) ประกอบกับพื้นที่ปลูกชาน้ำมันอยู่ในพื้นที่ลาดชัน ดังนั้น เมื่อฝนตกแคตไอออนส่วนที่อยู่ในสารละลายดินจึงถูกชะละลายออกจากหน้าตัดดินได้โดยง่าย ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ สัดส่วนของแมงกานีสกับธาตุดังกล่าวจึงอยู่ในระดับสูง ในขณะที่สัดส่วนของแมงกานีส/ฟอสฟอรัส มีแนวโน้มลดลงตามระดับผลผลิต ทั้งนี้หากพิจารณาจากสัดส่วนที่เหมาะสม ตามทฤษฎีต้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับผลผลิต ชี้ให้เห็นว่า ฟอสฟอรัสอาจไม่ได้เป็นธาตุที่เป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตในอันดับต้น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับสถานะธาตุอาหารในใบของต้นเกรด A พบว่าอยู่ในระดับต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเกรดอื่น แต่กลับให้ผลผลิตสูงสุด จึงควรทำการศึกษาประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติม ในขณะที่ ความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดินอันเนื่องจากแมงกานีสที่สูงในดิน โดยเฉพาะกรณีของต้นเกรด D ซึ่งพบแนวโน้มของความไม่สมดุลสูงสุด ส่งผลให้เกิดการแก่งแย่งระหว่างธาตุอาหาร (Turan *et al.*, 2013) ต้นชาน้ำมันในกลุ่มดังกล่าวจึงดูดแมงกานีสไปสะสมในใบสูงกว่าการดูดใช้ธาตุอาหารชนิดอื่น ทำให้ระดับแมงกานีสที่สกัดได้ในดินอยู่ในระดับต่ำกว่าต้นเกรด A อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้สัดส่วนของแมงกานีส/ฟอสฟอรัส บริเวณต้นเกรด A มีแนวโน้มอยู่ในระดับสูงกว่าต้นเกรด D เพราะต้นเกรด A มีการดูดแมงกานีสไปสะสมในใบน้อยกว่า จึงมีการสะสมในดินสูง ในขณะที่แมงกานีสที่สูงอาจเป็นปฏิปักษ์ต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัส ทำให้การสะสมฟอสฟอรัสในใบของต้นเกรด A อยู่ในระดับต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีการสะสมในดินค่อนข้างสูง โดยที่พืชดูดไปใช้ได้น้อย ส่งผลให้ สัดส่วนแมงกานีส/ฟอสฟอรัส ของต้นเกรด A มีแนวโน้มสูงสุด อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของ

แมงกานีสกับธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในทุกกลุ่มเกรดยังอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม ดังนั้น หากปรับความสมดุลของธาตุอาหารในดินอาจสามารถเพิ่มผลผลิตชาน้ำมันได้ในทุกกลุ่ม

4. สถานะธาตุอาหารในใบชาน้ำมันจำแนกตามระดับผลผลิต

จากผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบชาน้ำมันจากต้นที่ให้ผลผลิตแตกต่างกัน แบ่งเป็น ต้นเกรด A (ผลผลิตสูง >100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด B (ผลผลิตปานกลาง 50-100 ผลต่อต้น) ต้นเกรด C (ผลผลิตต่ำ <50 ผลต่อต้น) และต้นเกรด D (ไม่ให้ผลผลิต) แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นธาตุอาหารของต้นที่ให้ผลผลิตสูงอย่างต้น เกรด A และ B ส่วนใหญ่มีความเข้มข้นอยู่ในระดับสูงกว่าต้นเกรด C และ D ซึ่งให้ผลผลิตต่ำ และไม่ให้ผลผลิต ตามลำดับ ยกเว้นกรณีของ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถัน ที่พบความเข้มข้นของต้นเกรด A อยู่ในระดับต่ำกว่าเกรดอื่น ๆ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากต้นเกรด A สูญเสียธาตุอาหารชนิดดังกล่าวไปกับผลผลิตมากกว่ากลุ่มอื่น แต่การชดเชยธาตุอาหารไม่เพียงพอ ความเข้มข้นธาตุอาหารในใบจึงต่ำ หรือเนื่องจากความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวยังไม่เป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตชาน้ำมันมากนัก ถึงแม้จะอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าแนะนำในพืชโดยทั่วไป แต่ยังคงให้ผลผลิตสูงสุด มีรายงานความเข้มข้นฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมในใบของไม้ผลบางชนิดในเมืองไทยอยู่ในช่วง 1.20-6.40 และ 6.20-25.00 ก/กก. ตามลำดับ (จำเป็น และคณะ, 2549) ซึ่งสูงกว่าค่าที่พบในพื้นที่ ในขณะที่ ความเข้มข้นของแมงกานีสในต้นเกรด A อยู่ในระดับต่ำกว่าต้นเกรด C และ D ชี้ให้เห็นว่า แมงกานีสเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตชาน้ำมันในพื้นที่อย่างเด่นชัด สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินโดยรวมของพื้นที่ พบว่า ส่วนใหญ่มีการสะสมแมงกานีสอยู่ในระดับสูง ปริมาณแมงกานีสที่สูงในดินจึงเป็นปฏิปักษ์ต่อการดูดใช้ธาตุอาหารชนิดอื่น มีรายงานแมงกานีสที่สูงในดินเป็นปฏิปักษ์ต่อการดูดใช้ แอมโมเนียมในข้าวบาร์เลย์ (Thong *et al.,* 1997) ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และเหล็กในต้นชา (Vankatesan *et al.,* 2007) จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างใบ ยังแสดงให้เห็นว่า ต้นที่ให้ผลผลิตต่ำ และไม่ให้ผลผลิต มีการสะสมแมงกานีสในใบมากกว่า 2,000 มก./กก. ซึ่งอยู่ในระดับสูงเกินความต้องการของพืชโดยทั่วไป ทั้งนี้ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของแมงกานีสในพืชส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-300 มก./กก. (Kalra, 1998) หากพืชมีการสะสมแมงกานีสสูงกว่าช่วงดังกล่าว อาจเป็นพิษต่อเซลล์พืช มีรายงานต้นยางพาราเล็กที่ได้รับแมงกานีส 1,000 มก./กก. ส่งผลให้ใบแสดงอาการเป็นพิษจากแมงกานีส (สายใจ, 2558) แตงโมแสดงอาการเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นแมงกานีสในใบ 1,000-1,500 มก./กก. (Hue and Mai, 2002) ส่วนอ้อยที่มีความเข้มข้นแมงกานีสในใบอยู่ในช่วง 212-1,727 มก./กก. ส่งผลให้ส่วนของใบมีอาการใบเหลืองอันเนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง (Huang *et al.,* 2016) เนื่องจากความเข้มข้นที่สูงเกินไปของแมงกานีสในใบชักนำให้เซลล์เกิดสภาวะเครียดออกซิเดทีฟ (oxidative stress) (Panda *et al.,* 1987) อันเกิดจากกระบวนการที่เซลล์สร้างสัญญาณเตือนให้พืชสร้างระบบป้องกันอันตรายเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยโมเลกุลของออกซิเจนภายในเซลล์ ซึ่งไวต่อปฏิกิริยาจะรับอิเล็กตรอนจากไอออนอื่น ทั้งนี้ เป็นไปได้ว่าในกรณีนี้ ออกซิเจนอาจได้รับอิเล็กตรอนจากแมงกานีส ซึ่งมีความเข้มข้นสูงในใบ เกิดเป็นสารอนุมูลอิสระออกซิเจนรีแอกทีฟ (reactive oxygen species, ROS) ได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์ อนุมูลไฮดรอกซิล ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และอนุมูลอิสระอื่น ๆ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเกิดอย่างต่อเนื่องไม่สามารถควบคุมได้ จนทำให้เกิดความเสียหายต่อคลอโรฟิลล์ (Huang *et al.,* 2016) และจากผล

วิเคราะห์ตัวอย่างใบของต้นที่ให้ผลผลิตสูง พบว่า มีความเข้มข้นแมกนีเซียมในใบสูงกว่าต้นที่ไม่ให้ผลผลิตต่ำ แต่มีความเข้มข้นแมงกานีสอยู่ในระดับต่ำกว่าอย่างเด่นชัด ชี้ให้เห็นว่า ต้นที่ไม่ให้ผลผลิตอาจโดนยับยั้งการดูดใช้แมกนีเซียม อันเนื่องจากความเข้มข้นแมงกานีสที่สูงในดิน จึงส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ เมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์มีน้อยจึงมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้การสร้างและสะสมอาหารของพืชลดลง จึงเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต นอกจากนี้ มีรายงานอาการเป็นพิษจากแมงกานีสบริเวณใบจะมีรอยด่างสีน้ำตาลที่ใบแก่ รอยด่างที่เกิดขึ้นมาจากพิษของแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ส่วนสีน้ำตาลเกิดจากพอลิฟีนอลรูปออกซิไดส์ ก่อนรอยด่างปรากฏจะมีการสร้างคาลอส (callose) ในบริเวณนั้นก่อน ซึ่งแสดงว่าพิษของแมงกานีสมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อเยื่อหุ้มเซลล์ (ยงยุทธ, 2552) ลักษณะอาการดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะใบชาน้ำมันที่แสดงอาการผิดปกติในพื้นที่ และจากผลวิเคราะห์สถานะธาตุอาหารในใบ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ใบชาน้ำมันที่มีจุดด่างสีน้ำตาลบริเวณแผ่นใบมีการสะสมแมงกานีสในใบ สูงกว่าใบปกติ ในขณะที่ มีการสะสมไนโตรเจนอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากแมงกานีสยับยั้งการดูดใช้ไนโตรเจน เช่นเดียวกับกรณีของธาตุอื่น ๆ ส่วนปริมาณทองแดงที่สูงในใบที่มีจุดด่างสีน้ำตาล น่าจะเป็นกลไกการตอบสนองของพืชในกระบวนการสร้างสารต้านออกซิเดชันเพื่อลดความเป็นพิษของแมงกานีส ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีทองแดงเป็นองค์ประกอบ (ยงยุทธ, 2559) นอกจากนี้ ลักษณะจุดด่างสีน้ำตาลที่พบบริเวณแผ่นใบ มีลักษณะคล้ายอาการของโรคจุดสาหร่าย (algal spot) อันมีสาเหตุจากการเข้าทำลายของสาหร่ายสีเขียว (green algae) มีรายงานพบแพร่กระจายทั่วไปในพืชหลายชนิด เช่น ฝรั่ง ชา กาแฟ มะม่วง โกโก้ มะพร้าว และปาล์มน้ำมัน (อนุรักษ์ และคณะ, 2558) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าการเกิดโรคดังกล่าวอาจมีปัจจัยร่วมจากความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ระดับแมงกานีสที่สูงในใบอาจส่งผลให้เซลล์พืชได้รับความเสียหาย จึงเป็นโอกาสให้เชื้อสาเหตุโรคพืชเข้าทำลายได้ง่ายกว่าใบปกติ เพื่อความชัดเจนของข้อมูลจึงควรศึกษาประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติม จากประเด็นทั้งหมด สามารถชี้ให้เห็นว่าแมงกานีสอาจเป็นธาตุที่กำลังเป็นปัจจัยจำกัดการให้ผลผลิตชาน้ำมันในพื้นที่ ทั้งปัญหาความเป็นพิษโดยตรงต่อต้นชาน้ำมัน และอันตรกิริยาเชิงลบที่ส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารอื่น ๆ ดังนั้น ควรลดระดับแมงกานีส หรือเพิ่มพีเอชของดิน โดยการใช้วัสดุปูน ควบคู่กับการลดอันตรกิริยาของแมงกานีส โดยการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในดินจากการใส่ปุ๋ย เพื่อปรับความสมดุลของธาตุอาหาร แม้ว่าความเข้มข้นธาตุอาหารในดินจะอยู่ในระดับที่สูง แต่หากสัดส่วนของธาตุอาหารแต่ละชนิดขาดความสมดุล ย่อมส่งผลกระทบต่อการดูดใช้ของพืช จากอำนาจการแก่งแย่งระหว่างกัน ซึ่งสามารถประเมินความเพียงพอของการดูดใช้ธาตุอาหารได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างใบ ทั้งนี้ หากต้องการผลผลิตในระดับ 100 ผลต่อต้น สามารถใช้สถานะของต้นเกรด A เป็นเกณฑ์สำหรับประเมินความเพียงพอของการดูดใช้ธาตุอาหารได้ในเบื้องต้น

5. สมบัติดินที่เหมาะสมสำหรับชาน้ำมันเบื้องต้น

ผลการนำข้อมูลความเข้มข้นธาตุอาหารของต้นเกรด A (ผลผลิต >100 ผลต่อต้น) มาประมาณค่าแบบช่วงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อกำหนดค่าของสมบัติดินที่เหมาะสมสำหรับชาน้ำมันเบื้องต้น และเมื่อนำช่วงความเข้มข้นที่ได้ เปรียบเทียบกับค่าแนะนำในพืชชนิดอื่นของเมืองไทย (ตารางที่ 6) ชี้ให้เห็นว่า พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงต่ำกว่าค่าแนะนำสำหรับ ส้มโอ (5.50-6.50) แต่มีค่าสูงกว่าค่าแนะนำสำหรับยางพารา (4.50-5.50) ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วงสูงกว่าพืชชนิดอื่นอย่างเด่นชัด ทั้งนี้ อาจเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับชาน้ำมัน หรือเนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษา เพิ่งเริ่มนำที่ดินมาใช้ทำการเกษตร ประกอบกับแมงกานีสที่สูงอาจขัดขวางการดูดใช้ไนโตรเจน และโพแทสเซียม จึงยังมีปริมาณอินทรียวัตถุ (แหล่งของไนโตรเจน) และโพแทสเซียมสะสมอยู่ในดินสูง ในขณะที่ บริเวณที่ทำการเกษตรมาอย่างยาวนานแต่การเติมธาตุอาหารน้อยกว่าส่วนที่สูญเสียไปกับผลผลิต ในระยะยาวมักจะมีระดับธาตุอาหารอยู่ในระดับต่ำ มีรายงานกรณีศึกษาธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ในข้าว พบว่า ในตอซังข้าว พบการสะสมโพแทสเซียมสูงสุด ส่วนในเมล็ดข้าวพบการสะสมไนโตรเจนสูงสุด ชี้ให้เห็นว่า ในระยาวธาตุดังกล่าวอาจสูญเสียออกจากพื้นที่ในอัตราสูง ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินอยู่ในระดับต่ำ (สุทธิ์เดชา และคณะ, 2562) ส่วนปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากการศึกษาในครั้งนี้ ค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วงต่ำกว่าค่าแนะนำสำหรับสมโอและดินทั่วไป และแม้จะอยู่ในช่วงเดียวกับยางพารา แต่ค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วงแคบกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลสืบเนื่องจากระดับพีเอชของดิน ซึ่งมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของแคลเซียมในดิน เห็นได้จากระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับส้มโออยู่ในช่วงที่สูงกว่า ชาน้ำมัน และยางพารา ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่า ค่าที่เหมาะสมของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วงเดียวกับค่าแนะนำสำหรับสมโอ และดินทั่วไป เพียงแต่อยู่ในช่วงที่แคบกว่า ทั้งนี้ การจัดทำค่ามาตรฐานธาตุอาหารในครั้งนี้ใช้วิธีประเมินจากต้นที่ให้ผลผลิตสูง จึงมีโอกาสได้ค่าสูงเกินความเป็นจริง เช่น กรณีของค่าแนะนำปริมาณอินทรียวัตถุและโพแทสเซียมที่อยู่ในช่วงสูงกว่าพืชชนิดอื่นอย่างเด่นชัด เนื่องจากวิธีดังกล่าวอาจรวมส่วนที่พืชบริโภคฟุ่มเฟือย ซึ่งถึงแม้พืชจะดูดใช้ธาตุอาหารเพิ่มขึ้นแต่ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงได้อีก (จำเป็น และคณะ, 2549) การนำเกณฑ์มาตรฐานที่ได้ไปใช้จึงควรสังเกตการตอบสนองของพืชควบคู่ไปด้วยกัน อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในครั้งนี้ ปริมาณธาตุอาหารที่สูงในดินยังไม่ได้มีผลให้พืชได้รับธาตุอาหารสูงจนทำให้ผลผลิตลดลงหรือแสดงความเป็นพิษ ยกเว้น กรณีของแมงกานีส ที่อาจแสดงความเป็นพิษบริเวณใบชาน้ำมัน และมีผลเชิงลบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารชนิดอื่น จึงไม่ได้จัดทำค่ามาตรฐานของธาตุดังกล่าว

6. การกำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบชาน้ำมันเบื้องต้น

ผลการนำข้อมูลความเข้มข้นธาตุอาหารในใบของต้นชาเกรด A (ผลผลิต >100 ผลต่อต้น) มาประมาณค่าแบบช่วงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อกำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมในใบชาน้ำมันเบื้องต้น และเมื่อนำช่วงความเข้มข้นที่ได้ เปรียบเทียบกับค่าแนะนำในไม้ผลชนิดอื่นของเมืองไทย ชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นไนโตรเจนที่เหมาะสมมีค่าต่ำกว่าค่าแนะนำสำหรับ ลองกอง (22.96-26.21 ก/กก.) ทุเรียน (20.00-24.00 ก/กก.) และส้ม (24.00-26.00 ก/กก.) แต่มีค่าใกล้เคียงกับค่าแนะนำในลำไย

(18.80-24.20 ก/กก.) และลิ้นจี่ (17.00-21.00 ก/กก.) ซึ่งเป็นไม้ผลที่มีแหล่งปลูกทางภาคเหนือ เช่นเดียวกับชาน้ำมัน แต่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถัน พบว่า มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานในพืชโดยทั่วไป ซึ่งค่าแนะนำฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสำหรับไม้ผลชนิดอื่น มีค่าอยู่ในช่วง 1.20-2.80 และ 8.00-25.00 ก/กก. ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ส่วนความเข้มข้นแนะนำของกำมะถันในพืชทั่วไปอยู่ในช่วง 2.50-10.00 ก/กก. (Kalra, 1998) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเป็นช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมจำเพาะสำหรับชาน้ำมัน หรืออาจเป็นช่วงความเข้มข้นที่อยู่ในระดับต่ำแต่ยังไม่เป็นปัจจัยหลักที่มีผลจำกัดผลผลิต ส่งผลให้ต้นเกรด A ยังได้รับผลผลิตมากกว่า 100 ผลต่อต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากผลวิเคราะห์ดินโดยรวม พบว่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และกำมะถันที่สกัดได้ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากอาจถูกตรึงอยู่กับแมงกานีสในดิน สอดคล้องกับการตรวจพบความเข้มข้นต่ำในใบ ในขณะที่ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับสูง แต่กลับพบความเข้มข้นในใบต่ำกว่าพืชทั่วไป จึงเป็นไปได้ว่าแมงกานีสในดินยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมของต้นชาน้ำมัน ซึ่งหากเป็นไปตามสมมุติฐาน การเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถันในดิน แต่ลดความเข้มข้นแมงกานีส อาจช่วยเพิ่มผลผลิต ชาน้ำมันให้สูงขึ้นในทุกระดับเกรด เนื่องจากฟอสฟอรัสทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของรูปพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการภายในของพืช ตั้งแต่กระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการหายใจ ตลอดจนกระบวนการลำเลียงสารอาหารไปสะสมยังส่วนต่าง ๆ ของต้นชาน้ำมัน โพแทสเซียมทำหน้าที่ช่วยลำเลียงแป้งและน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงไปสร้างผลผลิต ส่วนกำมะถันทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนและคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนเมแทบอลิซึม และการสังเคราะห์แสงของต้นชาน้ำมัน (ยงยุทธ, 2559) เพื่อความชัดเจนของข้อมูล จึงควรศึกษาการตอบสนองของฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและกำมะถันเพิ่มเติม ส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมของแคลเซียม และแมกนีเซียม พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่าแนะนำสำหรับลองกอง (Ca 10.37-12.53, Mg 2.40-2.78 ก/กก.) แต่อยู่ในช่วงต่ำกว่าค่าแนะนำในทุเรียน (Ca 17.00-25.00, Mg 2.50-5.00 ก/กก.) และส้ม (Ca 30.00-55.00, Mg 2.60-6.00 ก/กก.) ในขณะที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมของทองแดง พบว่า ใกล้เคียงกับค่าแนะนำในไม้ผลชนิดอื่น ซึ่งโดยรวมมีความเข้มข้นแนะนำอยู่ในช่วง 5-25 มก./กก. เช่นเดียวกับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสังกะสี พบว่า มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับค่าแนะนำสำหรับลองกอง (18-20 มก./กก.) และลำไย (17-20 มก./กก.) นอกจากนี้ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของเหล็ก พบว่า มีค่าสูงกว่าค่าแนะนำในลองกอง (61-66 มก./กก.) ลำไย (68-78 มก./กก.) และลิ่นจี่ (25-40 มก./กก.) แต่อยู่ในช่วงเดียวกับค่าแนะนำสำหรับส้ม (50-150 มก./กก.) และทุเรียน (40-150 มก./กก.) (ตารางที่ 8) จากการกำหนดระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับชาน้ำมันโดยรวม แสดงให้เห็นว่า ต้นชาน้ำมันต้องการธาตุอาหารค่อนข้างจำเพาะ ทั้งนี้ ในบางกรณีชาน้ำมันต้องการธาตุอาหารบางชนิดใกล้เคียงกับไม้ผลชนิดหนึ่ง แต่มีความต้องการธาตุอาหารอีกธาตุใกล้เคียงกับไม้ผลชนิดอื่น การจัดทำค่าแนะนำธาตุอาหารสำหรับชาน้ำมันจึงเป็นสิ่งจำเป็น อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้หาความเข้มข้นที่เหมาะสมของแมงกานีสสำหรับชาน้ำมัน เนื่องจากในต้นชาน้ำมันทุกกลุ่ม มีความเข้มข้นของแมงกานีสในใบอยู่ในระดับสูงเกินความต้องการของพืชทั่วไป จึงควรทำการศึกษาการตอบสนองของแมงกานีสเพิ่มเติม นอกจากนี้ จากผลการประเมินความเข้มข้นที่เหมาะสมของธาตุอาหารในใบ ยังชี้ให้เห็นว่า แนวทางการจัดการธาตุอาหารพืชให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้น จำเป็นต้องพิจารณาทั้งสถานะของธาตุอาหารในดิน ควบคู่กับ

การประเมินความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ เพื่อประเมินความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหาร หรือประเมินความเพียงพอของธาตุอาหารตามความต้องการของพืชชนิดนั้น ๆ เนื่องจากปัญหาความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน มีผลให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างกัน ทำให้พืชไม่สามารถดูดใช้ธาตุอาหารในบางชนิดได้อย่างเพียงพอ ถึงแม้สถานะของธาตุอาหารชนิดนั้นในดินจะอยู่ในระดับสูงก็ตาม การจัดการธาตุอาหารโดยใช้ผลวิเคราะห์ดินเพียงอย่างเดียว ในบางครั้งจึงไม่อาจแก้ปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารของพืชได้ ดังนั้น จึงควรยึดหลักการพิจารณาทั้งผลวิเคราะห์ดินและพืชควบคู่กัน

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

พื้นที่ปลูกชาน้ำมัน บ้านปางมะหัน จังหวัดเชียงราย มีการสะสมของแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับสูง ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาเชิงลบต่อธาตุอาหารชนิดอื่น ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง และสังกะสี แต่กลับส่งเสริมให้ต้นชาน้ำมันดูดแมงกานีสไปสะสมในใบ อยู่ในช่วงความเข้มข้นที่สูงเกินความต้องการ และอาจอยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อพืช ดังนั้น จึงควรปรับความสมดุลของธาตุอาหารในดิน ซึ่งสามารถพิจารณาจากช่วงสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแมงกานีสกับธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในดินเบื้องต้น ได้แก่ แมงกานีส/ฟอสฟอรัส 2.5-4.1, แมงกานีส/โพแทสเซียม 0.4-0.5, แมงกานีส/แคลเซียม 0.0002-0.07, แมงกานีส/แมกนีเซียม 0.04-0.2, แมงกานีส/กำมะถัน 0.7-1.8, แมงกานีส/ทองแดง 6.2-19.9 และ แมงกานีส/สังกะสี 0.2-14.3 ตามลำดับ ในขณะที่ หากต้องการผลผลิตชาน้ำมันในระดับที่ไม่น้อยกว่า 100 ผลต่อต้น สมบัติดินควรมีพีเอช อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในช่วง 5.19-5.39, 32.72-38.63 ก/กก. 8.18-17.54, 219-269, 422-550 และ 197-240 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นแนะนำเบื้องต้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ในใบชาน้ำมัน ควรอยู่ในช่วง 15.28-16.16, 0.87-0.95, 4.53-5.27, 11.84-13.68, 1.92-2.32, 0.46-0.67 8-13, 15-19 และ 116-139 ก/กก. ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม อาจสามารถเพิ่มผลผลิตชาน้ำมันได้อีก หากลดระดับแมงกานีสในดิน แต่เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถัน เนื่องจากช่วงความเข้มข้นแนะนำที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ อยู่ในช่วงต่ำกว่าค่าแนะนำในพืชโดยทั่วไป จึงควรศึกษาการตอบสนองของธาตุอาหารชนิดดังกล่าวเพิ่มเติม

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เกษตรกรในพื้นที่รวมถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบถึงข้อจำกัดของดินที่ส่งผลต่อผลผลิตชาน้ำมัน
2. เกษตรกรได้ข้อมูลแนวทางจัดการดินเพื่อปรับความสมดุลของธาตุอาหารในดินและพืช
3. นักวิชาการมีข้อมูลค่ามาตรฐานธาตุอาหาร เพื่อใช้แปลผลวิเคราะห์ดินและพืช และสามารถให้คำแนะนำปุ๋ยสำหรับชาน้ำมันได้อย่างเหมาะสม
4. นักวิชาการรวมถึงเกษตรกรได้แนวทางในการประเมินความสมดุลของธาตุอาหารในดินสำหรับนำไปปรับใช้กับพื้นที่อื่น ในกรณีที่ดินมีปริมาณธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ อยู่ในระดับสูงแต่พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ เนื่องจากเกิดปัญหาอันตรกิริยาระหว่างธาตุอาหาร

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

สุทธิ์เดชา ขุนทอง ณัฐพร ประคองเก็บ มนต์ระวี มีแต้ม นิยม สุรักษ์ วิวัฒน์สวยสม ชนิดา เกิดชนะ ชนินาถ การะภักดี ปราณี จอมอุ่น จิราพร สวยสม และ ทิพานันท์ อุปนิสากร. 2563. อันตรกิริยาระหว่างแมงกานีสกับธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ในดินปลูกชาน้ำมัน บ้านปางมะหัน จังหวัดเชียงราย. ว. พืชศาสตร์ สงขลานครินทร์ 7: 218-234.

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

เอกสารอ้างอิง

กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2558. ชุดดินภาคเหนือความรู้พื้นฐานเพื่อการเกษตร. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

จำเป็น อ่อนทอง พิรุณ ติระพัฒน์ และ คศิกาญจน์ สุขมี. 2550. ค่าความเข้มข้นมาตรฐานเบื้องต้นของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโบรอน ในใบลองกอง (*Aglaia dookkoo* Griff.). ว. สงขลานครินทร์ วทท. 29: 287-296.

จำเป็น อ่อนทอง สายใจ กิ้มสงวน และ พิรุณ ติระพัฒน์. 2549. ค่ามาตรฐานของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบลองกอง. ว. วิทย. กษ. 37: 257-268.

ชัยรัตน์ นิลนนท์. การแปลความหมายผลการวิเคราะห์ดิน และใบปาล์มน้ำมัน. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. คณะทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภรภัทร สุชาติกูล และ สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2559. การจัดทำค่ามาตรฐานสำหรับการแปลผลการวิเคราะห์ดินและพืชในยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ระยะก่อนเปิดกรีด. ว. ยางพารา 37: 27-45.

มูลนิธิชัยพัฒนา. 2562. ความเป็นมาของโครงการเส้นทางน้ำมันของเมล็ดชา. เข้าถึงได้จาก: http://www.teaoilcenter.org/index.php/2013-12-01-03-05-05/2013-12-01-03-04-28/origin-of-tea-oil-projets. [เข้าถึงเมื่อ 4 ธันวาคม 2562].

ยงยุทธ โอสถสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2559. ความเครียดของพืชและการบรรเทาความเครียด. ว. ดินและปุ๋ย 38: 47-78.

ยุทธนา เขาสุเมรุ ชิติ ศรีตนทิพย์ และ สันติ ช่างเจรจา. 2543. การแก้ปัญหาต้นโทรมของลำไย: ความสัมพันธ์ระหว่างระดับธาตุอาหารในดินและต้นลำไยกับการแสดงอาการต้นโทรม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2551. การสำรวจธาตุอาหารเพื่อจัดทำคำแนะนำมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ดินและพืชสำหรับส้มโอ. ว. วิทย. กษ. 39: 62-65.

สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2552. การศึกษาความสัมพันธ์ของธาตุอาหารและการจัดการเพื่อการผลิตส้มโอคุณภาพในเขตลุ่มน้ำปากพนัง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สายใจ หมื่นภักดี. 2558. ผลของแมงกานีสต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในกล้ายางพารา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547ก. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547ข. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

สุทธิ์เดชา ขุนทอง กมรินทร์ นิ่มนวลรัตน์ ชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจงสุข สุรเชษฐ์ นาราภัทร์ วิวัฒน์ สวยสม และ สุภาภรณ์ ขุนทอง. 2562. การประเมินธาตุอาหารหลักสำหรับการผลิตข้าวจากผลวิเคราะห์ดินและพืช. ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 6: 72-85.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ ภิญโญ มีเดช สุรกิตติ ศรีกุล และชาย โฆรวิส. 2540. ผลของธาตุ N, P, K และ Mg ต่อผลผลิตของปาล์มน้ำมัน. ว. ดินและปุ๋ย 19:171-189.

สุมิตรา ภู่วโรดม นุกูล ถวิลถึง สมพิศ ไม้เรียง พิมล เกษสยม และ จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร. 2544. ความต้องการธาตุอาหารและการแนะนำปุ๋ยในใบทุเรียน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สุมิตรา ภู่วโรดม นุกูล ถวิลถึง สมพิศ ไม้เรียง พิมล เกษสยม และ จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร. 2545ก. การสร้างค่ามาตรฐานธาตุอาหารสำหรับทุเรียน: 1 วิธีมาตรฐานในการเก็บตัวอย่างใบ. ว. วิทย. กษ. 33: 269-278.

สุมิตรา ภู่วโรดม นุกูล ถวิลถึง สมพิศ ไม้เรียง พิมล เกษสยม และ จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร. 2545ข. การสร้างค่ามาตรฐานธาตุอาหารสำหรับทุเรียน: 2 ค่ามาตรฐานธาตุอาหาร. ว. วิทย. กษ. 33: 279-286.

สุมิตรา ภู่วโรดม พรทิวา กัญยวงศ์หา นุจรี บุญแปลง และ ชัยวัฒน์ มครเพศ. 2547. การวิเคราะห์พืชเพื่อเป็นแนวทางการใส่ปุ๋ยในมังคุด. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

สุมิตรา ภู่วโรดม และ วิเชียร จาฏุพจน์. 2546. การใช้วิธีเส้นขอบเขตในการกำหนดค่ามาตรฐานธาตุอาหารสำหรับทุเรียน. ว. วิทย. กษ. 34: 51-58.

อนุรักษ์ สันป่าเป้า Mutiara K. Pitaloka นราสินี ถี่ถ้วน อรณิชา ตันติพลานนท์ และ วสันณ์ เพชรรัตน์. 2558. สัณฐานวิทยาและความรุนแรงของสาหร่ายปรสิตพืช *Cephaleuros* Kunze. แก่นเกษตร 48: 189-194.

อัศจรรย์ สุขธำรง. 2545. การจัดการธาตุอาหารพืชเพื่อการเพิ่มผลผลิตและควบคุมคุณภาพของมะม่วง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

Banneheka, B.M.S.G., M.P. Dhanushika, W. Wijesuriya and K. Herath. 2013. A linear programming approach to fitting an upper quadratic boundary line to natural rubber data. J. Natn. Sci. Foundation Sri Lanka 41: 13-20.

Barben, S.A., B.G. Hopkins, V.D. Jolley, B.L. Webb and B.A. Nichois. 2010. Phosphorus and manganese interactions and their relationships with zinc in chelator-buffered solution grown russet Burbank potato. J. Plant Nutr. 33: 752-769.

Blanco-Macias, F., R. Magallanes-Quintanar, R.D. Valdez-Cepeda, R. Vazquez-Alvarado, E. Olivares-Saenz, E. Gutierrez-Ornelas and J.A. Vidales-Contreras. 2009. Comparison between CND norms and boundary-line approach nutrient standards: *Opuntia ficus-indica* L. case. Rev. Chapingo. Ser. Hortic. 15: 217-223.

Carmo, M., R. Garcia-Ruiz, M.I. Ferreira and T. Domingos. 2017. The N-P-K soil nutrient balance of Portuguese cropland in the 1950s: the transition from organic to chemical fertilization. Sci. Rep. 7: 8111. DOI:10.1038/s41598-017-08118-3.

de la Puente, L.S. and R.M. Belda. 1999. Square root and quadratic equation for the study of leaf diagnosis in wheat. J. Plant Nutr. 22: 1469-1479

Elamin. O.M. and G.E. Wilcox. 1986. Effect of magnesium and manganese nutrition on watermelon growth and manganese toxicity. J. Am. Soc. Hort. Sci. 111: 588-593.

Garcia-Ruiz, R., M. Gonzalez De Molina, G. Guzman, D. Soto and J. Infante-Amate. 2012. Guidelines for constructing nitrogen, phosphorus, and potassium balances in historical agricultural systems. J. Sustain. Agr. 36: 650-682.

Harmsen, K. 2000. A modified Mitscherlich equation for rainfed crop production in semi-arid areas: 1. theory. Neth. J. Agr. Sci. 48: 237-250.

Harmsen, K., A.E. Matar, M.C. Saxena and S.N. Silim. 2001. Yield response to phosphorus fertilizer in a wheat-lentil rotation in a Mediterranean environment. Neth. J. Agr. Sci. 49: 385-404.

Heenan, D.P. and L.C. Campbell. 1981. Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bragg). Plant Soil 61: 447-456.

Hiddink, J.G. and M.J. Kaiser. 2005. Implications of Liebig's law of the minimum for the use of ecological indicators based on abundance. Ecography 28: 264-271.

Huang, Y.L., S. Yang, G.X. Long, Z.K. Zhao, X.F. Li and M.H. Gu. 2016. Manganese toxicity in sugarcane plantlets grown on acidic soils of southern China. Plos One 11: e0148956. doi:10.1371/journal.

Hue, N.V. and Y. Mai. 2002. Manganese toxicity in watermelon as affected by lime and compost amended to a Hawaiian acid Oxisol. Hort Science 37: 656-661.

Hue, N.V., S. Vega and J.A. Silva. 2001. Manganese toxicity in a Hawaiian Oxisol affected by soil pH and organic amendments. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:153-160.

ISO 10390. 2005. Soil quality-determination of pH. International Standard.

ISO 10694. 1995. Soil quality-determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). International Standard.

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ISO 11464. 2006. Soil quality-pretreatment of samples for physico-chemical analysis. International Standard.

Jones, J.B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. New York: CRC Press.

Kalra, Y.P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. New York: CRC Press.

Kovacik, J., P. Babula, J. Hedbavny and P. Svpc. 2014. Manganese-induced oxidative stress in two ontogenetic stages of chamomile and amelioration by nitric oxide. Plant Sci. 215: 1-10.

Lafond, J. 2009. Optimum leaf nutrient concentrations of wild low bush blueberry in Quebec. Can. J. Plant Sci. 89: 341-347.

Magahud, J.C., R.B. Badayos, P.B. Sanchez and P.C.S. Cruz. 2015. Levels and sources of potassium, calcium, sulfur, iron and manganese in major paddy soils of the Philippines. Phil. Sci. Tech. 1: DOI: 10.18191/2015-08-2-014.

Maia, C.E. and E.R.C. Morais. 2016. Boundary line model to estimate the nutrient sufficiency range in muskmelon leaves. Rev. Bras. Cienc. Solo. 40:e0160033.

Nazrul-Islam, A.K.M. 1986. Effects of Interaction of Calcium and Manganese on the Growth and Nutrition of *Epilobium hirsutum* L. Soil Sci. Plant Nutr. 32: 161-168.

Nievergelt, Y. 2013. On the existence of best Mitscherlich, Verhulst, and west growth curves for generalized least-squares regression. J. Comput. Appl. Math. 248: 31-46.

Nogueira, M.A., Giuliana C.M. and E.J.B.N Cardoso. 2004. Manganese toxicity in mycorrhizal and phosphorus-fertilized soybean plants. J. Plant Nutr. 27: 141-156.

Panda, S., A.K. Mishra and U.C. Biswal. 1987. Manganese induced peroxidation of thylakoid lipids and changes in chlorophyll-α fluorescence during aging of cell free chloroplasts in light. Phytochemistry 26: 3217-3219.

Soltangheisi, A., Z.A. Rahman and C.F. Ishak. 2014. Interaction effects of zinc and manganese on growth, uptake response and chlorophyll content of sweet corn (*Zea mays* var. *saccharata*). Asian J. Plant Sci. 13: 26-33.

Tong, Y., Z. Rengel and R.D. Graham. 1997. Interactions between nitrogen and manganese nutrition of barley genotypes differing in manganese efficiency. Ann. Bot. 79: 53-58.

Turan, M.A., S. Tuban, A.V. Katkat and Z. Kucukyumuk. 2013. The evaluation of the elemental sulfur and gypsum effect on soil pH, EC, SO_4-S and available Mn content. J. Food Agric. Environ. 11: 572-575.

Venkatesan, S., K.V. Hemalatha and S. Jayaganesh. 2007. Characterization of manganese toxicity and its influence on nutrient uptake, antioxidant enzymes and biochemical parameter in tea. Res. J. Phytochem. 1: 52-60.

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

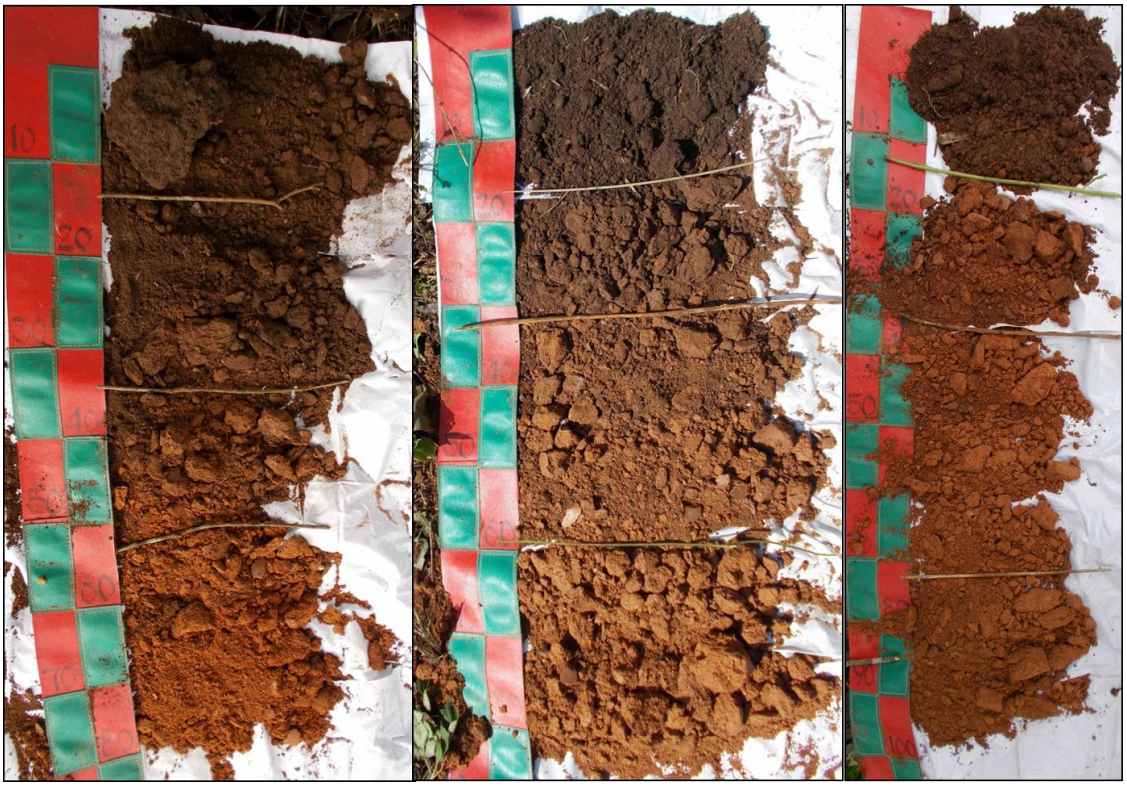
Vock, N. 1997. Citrus Information Kit. Department of Primary Industries. Queensland.

Widiatmaka, A. Sutandi, A. Iswandi, U. Daras, M. Hikmat and A. Krisnohadi. 2014. Establishing land suitability criteria for cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Indonesia. Appl. Environ. Soil. Sci. 743194. doi.org/10.1155/2014/743194.

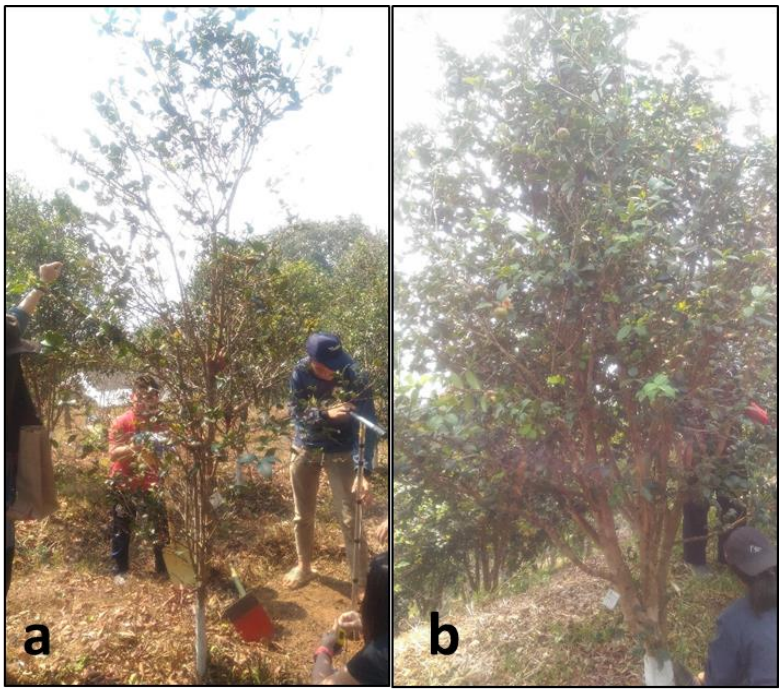
ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 สภาพพื้นที่แหล่งปลูกชาน้ำมัน หมู่บ้านปางมะหัน ตำบลเทอดไทย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย



ภาคผนวกที่ 2 ลักษณะดินที่ใช้ปลูกชาน้ำมัน



ภาคผนวกที่ 3 การเก็บตัวอย่างดินและใบชาน้ำมันจากต้นที่ให้ผลผลิตต่ำ (a) และต้นที่ให้ผลผลิตสูง (b)

ภาคผนวกที่ 4 ลักษณะอาการคล้ายการขาดโพแทสเซียมของใบชาน้ำมันที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน