ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา	ปฐพีวิทยา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การจัดการปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมสำหรับผักกาดหอมห่อที่ปลูกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

Management of Calcium and Magnesium Fertilizers for Continuous Lettuce Production in Mae Hae Area, Chiang Mai Province

นามผู้วิจัย นางสาวเฟื่องลดา ธนะโชติ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรื่นรมณ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศุภิฌา ธนะจิตต์, ปร.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิบูลย์ กังแฮ, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดการปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมสำหรับผักกาดหอมห่อที่ปลูกอย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

Management of Calcium and Magnesium Fertilizers for Continuous Lettuce Production in Mae Hae Area, Chiang Mai Province

โดย

นางสาวเฟื่องลดา ธนะโชติ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
พ.ศ. 2552

เฟื่องลดา ธนะโชติ 2552: การจัดการปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมสำหรับผักกาดหอมห่อที่ปลูกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D. 102 หน้า

ทำการทดลองภายใต้สภาพโรงเรือน 2 แห่งในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จ.เชียงใหม่ เพื่อศึกษาอัตราปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เหมาะสมต่อการผลิตผักกาดหอมห่อที่ปลูกในดินที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง และการสะสมธาตุอาหารหลักในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดิน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 11 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ แบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ตำรับที่ 1 ใช้ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 15 กรัมต่อต้นในครั้งแรก และ 13-13-21 อัตราเดียวกันในครั้งที่สอง ตำรับที่ 2-11 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณเท่ากับตำรับควบคุมแต่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม โดยใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 1-3 กรัมต่อต้นในตำรับที่ 2-5 ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 0.5- 1.5 กรัมต่อต้นในตำรับที่ 6-8 และปุ๋ยทั้งสองร่วมกันอัตรา 1:0.5-3:1.5 กรัมต่อต้นในตำรับที่ 9-11 ตามลำดับ สำหรับโรงเรือนที่ 1 มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ตกค้างในดินบนเท่ากับ 190.6 และ 259.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าดินในโรงเรือนที่ 2 ที่มีค่าเท่ากับ 559.4 และ 1,782.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ผลการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในโรงเรือนที่ 1 ตำรับที่ 5 ที่ใส่แคลเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้นร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนมีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำหนักสดหลังตัดแต่งสูงสุดเท่ากับ 5,253 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มการให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตรในตำรับควบคุม ส่วนในโรงเรือนที่ 2 พบว่า การใส่แคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มในอัตรา 3:1.5 กรัมต่อต้นมีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งสูงสุดเท่ากับ 4,927 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าผลผลิตที่ได้รับจากการใส่ปุ๋ยครบสูตร (4,131 กิโลกรัมต่อไร่) โดยผลผลิตนำหนักสดหลังการตัดแต่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นทั้งสองแปลง การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมไม่มีผลทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลผลิตที่ได้และการดูดใช้ธาตุอาหารหลักขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่อของผักกาดหอมห่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทั้งสองแปลง และไม่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตที่ได้รับ โดยปริมาณการสะสมธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอยู่ในระดับที่พอเพียง ส่วนแคลเซียมและแมกนีเซียมอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่มีการรายงาน เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มการให้ผลผลิตสูงสุด เกณฑ์การสะสมธาตุอาหารหลักทั้งสามเพื่อใช้กับผักกาดหอมห่อที่ปลูกในพื้นที่แม่แฮสามารถปรับเปลี่ยนได้เป็น 26.8-33.9, 3.2-5.3 และ 45.7-56.0 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นแคลเซียมและแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Fuanglada Tanachote 2009: Management of Calcium and Magnesium Fertilizers for Continuous Lettuce Production in Mae Hae Area, Chiang Mai Province. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Mr. Somchai Anusontpornperm, Ph.D. 102 pages.

The experiments were carried out in two greenhouses inside the area of Mae Hae Royal Project Development Centre, Chiang Mai province. This study was aimed at investigating suitable rates of Ca and Mg fertilizers for Crisphead lettuce grown on soils with high residual P and K. Randomized Complete Block Design was used, employing 11 treatments with four replications. Fertilization was split into two times. A control (T1) contained 15 g of each 15-15-15 and 13-13-21 per plant for the 1st and 2nd applications, respectively. Treatment 2-11 were applied with the same amount of N as of the control, but without P and K, with additional 1-3 g Ca for T3-T5, 0.5-1.5 g Mg for T6-8, and a combination of 1:0.5-3:1.5 Ca:Mg for T9-T11 at the 1st application. Soil in the 1st greenhouse comprised lower amounts of available P and K than did soil in the 2nd greenhouse with the values of 190.6 and 259.7 mg kg^{-1} compared to 559.4 and 1,782.9 mg kg^{-1}, respectively.

In the 1st greenhouse, result showed that application of 3 g Ca per plant with N (T5) gave the highest yield of 5,253 kg rai^{-1} while yield obtained from T2 (N alone) was higher than that from the control with complete fertilizer applied. For the trial from the 2nd greenhouse, it was found that application of Ca and Mg at the rate of 3:1.5 g per plant with N (T11) tended to give the greatest yield of 4,927 kg rai^{-1}, which was higher than that of the control (4,131 kg rai^{-1}). In addition, yield of crisphead lettuce tentatively increased with increasing amounts of Ca when applied with N. This plant showed no response to added Mg. Nonetheless, fresh yields and major nutrient concentrations in plant tissue were indifferent among treatments in both trials. Additionally, there was no relationship between nutrient concentration and obtained yield. Concentrations of N, P and K in plant tissue were at sufficient levels while Ca and Mg concentrations were lower than critical levels having been reported. Considering the potentially highest fresh yield of crisphead lettuce gained form this study, critical level of nutrient concentration in plant tissue at mature stage can be adjusted as followed 26.8-33.9, 3.2-5.3 and 45.7-56.0 g kg^{-1}, respectively, whereas Ca and Mg concentrations in plant tissue need a further study.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร. เอิบ เขียวรื่นรมณ์ และอาจารย์ศุภิฌา ธนะจิตต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สมภพ จงรวยทรัพย์ นักวิชาการเกษตร ชำนาญการพิเศษ สถาบันหม่อนไหมแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติ ฯ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโครงการหลวง ฝ่ายวิจัย มูลนิธิโครงการหลวงที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลอง และอำนวยความสะดวกระหว่างการปฏิบัติงาน ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ส่งเสริมฯ ประจำศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ และเกษตรกรที่ร่วมโครงการทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือด้านการติดต่อประสานงาน การดำเนินการทดลอง และการเก็บข้อมูลงานวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่มูลนิธิโครงการหลวงทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการเดินทางไปพื้นที่ปฏิบัติงาน ขอขอบพระคุณคุณชัยภัทร คงแก้ว เจ้าหน้าที่ห้องวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการรวมทั้งให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ดินและพืช

ขอกราบขอบพระคุณ คุณยายมะลิวัลย์ คุณพ่อดนัย และคุณแม่เรณู ธนะโชติ รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาและเป็นกำลังแรงใจให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วง ประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่ คุณยาย คุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีความรู้มาจนถึงปัจจุบัน

เฟื่องลดา ธนะโชติ

เมษายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	39
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	80
สรุปผลการทดลอง	80
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ภาคผนวก	91
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	102

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง	28
2	แสดงค่าวิเคราะห์ดินบริเวณที่ศึกษาก่อนปลูก	42
3	ปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมห่อ (cripshead lettuce) ในระยะต่าง ๆ	59
4	ระดับความเข้มของธาตุอาหารหลักและรองที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อ	60
5	ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	61
6	ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	62
7	ผลต่างระหว่างค่าปุ๋ยกับผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	77
8	ผลต่างระหว่างค่าปุ๋ยกับผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	78

ตารางผนวกที่

1	ผลผลิตน้ำหนักสดก่อนและหลังตัดแต่ง อัตรารอดตาย และน้ำหนักต่อหัวของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	92
2	ผลผลิตน้ำหนักสดก่อนและหลังตัดแต่ง อัตรารอดตาย และน้ำหนักต่อหัวของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	93
3	ผลผลิตน้ำหนักแห้งหลังตัดแต่งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 และ 2	94
4	ปริมาณการดูดใช้ ธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	95
5	ปริมาณการดูดใช้ ธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	96
6	การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน	97
7	ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	98
8	ความสัมพันธ์ระหว่าง non SI unit กับ SI unit	101

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเตรียมแปลงปลูกในแปลงที่ 1 (ก) และแปลงที่ 2 (ข) การเตรียมกล้าพืช (ค) ต้นกล้าอายุ 25 วันหลังเพาะเมล็ดพร้อมย้ายลงแปลงปลูก (ง) ประชากรผักกาดหอมห่อ ในแปลงที่ 1 (จ) และแปลงที่ 2 (ฉ)	29
2	ผักกาดหอมห่อหลังการย้ายกล้าปลูกได้ 1 สัปดาห์ ที่มีการใส่ปุ๋ยครั้งแรกของแปลงที่ 1 (ก) และแปลงที่ 2 (ข) ผักกาดหอมอายุปลูกหลังการย้ายกล้าปลูกได้ 2 สัปดาห์ ที่มีการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองของแปลงที่ 1 (ค) และแปลงที่ 2 (ง) และผักกาดหอมห่อที่ระยะเก็บเกี่ยว อายุ 6 สัปดาห์ในแปลงที่ 1 (จ) และแปลงที่ 2 (ฉ)	32
3	สภาพทั่วไปของบริเวณที่ทำการศึกษา ที่ตั้งอยู่ภายในบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ (ก) แปลงทดลองที่ 1 ภายใต้สภาพโรงเรือนเปิด (ข) และแปลงทดลองที่ 2 ภายใต้สภาพโรงเรือนปิด (ค)	36
4	พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดินของบริเวณที่ทำการศึกษา ที่ตั้งอยู่ภายในบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวง แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่	38
5	แผนที่ตั้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่	39
6	ลักษณะสภาพภูมิประเทศของแปลงปลูกผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	40
7	ลักษณะสภาพภูมิประเทศของแปลงปลูกผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	41
8	ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 และ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ตำรับที่ 1 และ 2) และการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 1-3 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 3-5)	50
9	ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 และ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ตำรับที่ 1 และ 2) และการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 0.5-1.5 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 6-8)	53
10	ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 และ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ตำรับที่ 1 และ 2) และการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1:0.5-3:1.5 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 9-11)	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	ผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ตามตำรับการทดลองทั้งหมด	57
12	ผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ตามตำรับการทดลองทั้งหมด	58
13	ปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2	70
14	ปริมาณการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2	71
15	ปริมาณการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2	72
16	ปริมาณการดูดใช้ธาตุแคลเซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2	73
17	ปริมาณการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2	75
18	ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีในแต่ละตำรับการทดลอง	76

การจัดการปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมสำหรับผักกาดหอมห่อที่ปลูกอย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

Management of Calcium and Magnesium Fertilizers for Continuous Lettuce Production in Mae Hae Area, Chiang Mai Province

คำนำ

ผักกาดหอมห่อ (*Lactuca sativa* L.) เป็นพืชที่มีช่วงอายุสั้น และแสดงการตอบสนองต่อบทบาทของธาตุอาหารรองอย่างชัดเจน โดยธาตุแคลเซียมจะมีผลต่อการห่อหัวของผักกาดหอมห่อเกี่ยวข้องกับการป้องกันการเกิดโรคปลายใบไหม้ (tipburn) (Saure, 1998) และมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ขณะที่แมกนีเซียมจะมีผลต่อความกรอบเขียวของพืช และกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ เนื่องจากแมกนีเซียมเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ สังเคราะห์โปรตีน การปลุกฤทธิ์เอ็นไซม์ การถ่ายโอนพลังงาน รวมถึงการจัดแบ่งส่วนคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีผลทำให้การสะสมแป้งในส่วนต่าง ๆ ของพืชเป็นไปอย่างปกติ (Marcus, 1976; Devlin and Witham, 1983; Scott and Robson, 1990b)

ปุ๋ย เป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้เพิ่มผลผลิตพืช เกษตรกรในพื้นที่ของมูลนิธิโครงการหลวงได้ทำการปลูกผักกาดหอมห่อโดยมีการใช้ปุ๋ยเคมีกันอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการตกค้างของธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินในปริมาณที่สูงมาก ผลการศึกษาที่ผ่านมาในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ ได้พบปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ตกค้างในเขตรากพืชสูงกว่า 500 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (นภาพร, 2551) เช่นเดียวกับในพื้นที่ทุ่งหลวงที่พบการตกค้างในลักษณะเช่นเดียวกัน (ศพิษา, 2550) นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส และ/หรือโพแทสเซียม รวมทั้งการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ไม่ทำให้ปริมาณผลผลิตผักกาดหอมห่อแตกต่างจากการใช้ปุ๋ยครบสูตรที่เกษตรกรใช้อยู่ทั่วไปแต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม กลับพบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมในใบผักกาดหอมห่อมีค่าต่ำกว่า 11.2 และ 2.6 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (นภาพร, 2551) ซึ่งต่ำกว่าความเข้มข้นที่แสดงถึงการดูดใช้ขึ้นไปสะสมในใบพืชที่เพียงพอของธาตุทั้งสองที่ควรมีค่าเท่ากับ 14.0 และ 3.0 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (Reuter and Robinson, 1997) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ดิน

เหล่านี้มีธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมในระดับต่ำ หรืออาจเกิดจากการที่ดินมีธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างอยู่สูงทำให้พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ธาตุอาหารรองทั้งสองได้เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้น การทดสอบใช้ปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมสำหรับผักกาดหอมห่อที่ปลูกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพิ่มอาจจะช่วยทำให้ได้ผลผลิตผักกาดหอมห่อเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเต็มสูตร ซึ่งก็จะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านค่าปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก และน่าจะช่วยลดปัญหาการตกค้างของธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในระยะยาวด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราของปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เหมาะสมต่อการผลิตผักกาดหอมห่อที่ปลูกอย่างต่อเนื่องบนดินที่สูง บริเวณพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

2. เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเพิ่มเติมธาตุอาหารรองทั้งสองกับการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น ๆ และผลผลิตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในดินที่มีธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างอยู่สูง

การตรวจเอกสาร

1. ผักกาดหอมห่อ (Crisphead lettuce)

1.1 การจำแนกตามหลักอนุกรมวิธาน

ผักกาดหอมห่อ (lettuce) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) ประกอบด้วยพืช 800 สกุล จำนวนกว่า 20,000 ชนิด จำแนกตามอนุกรมวิธานได้ดังนี้

Kingdom: Plantae
Division: Magnoliophyta
Class: Magnoliopsida
Order: Asterales
Family: Asteraceae
Genus: *Lactuca*
Species: *L.sativus*

ผักกาดหอม (lettuce) สามารถจำแนกตามลักษณะ ขนาดและรูปร่างของใบ ระดับของการห่อหัว การลดลงของสี ชนิดของลำต้น และลักษณะอื่น ๆ โดยถูกจำแนกได้เป็น 6 ประเภท ได้แก่ crisphead, butterhead, cos lettuce, leaf lettuce, stem lettuce และ latin lettuce แต่ในปัจจุบันได้จำแนกออกเป็น 7 ประเภท โดยรวมกลุ่ม oil-seed lettuce เข้าไปด้วย (Boukema *et al*., 1990)

ผักกาดหอมห่อ (crisphead lettuce) มีสีเขียวค่อนข้างอ่อน ใบห่อเป็นหัว เนื้อใบหนา กรอบเป็นแผ่นคลื่น มีแคโรทีนอยู่ในปริมาณปานกลาง และอะมีโฟเลตค่อนข้างสูง มีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญ ผักกาดหอมห่อเป็นผักที่ได้รับความนิยมในการปลูกและบริโภคมาก เป็นผักที่ใช้รับประทานใบสดหรือเป็นผักสลัด จนได้รับชื่อว่าเป็น “the king of salad plant” ผักกาดหอมห่อประกอบด้วยวิตามินเอ วิตามินซี แคลเซียม เหล็ก โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต จัดเป็นผักสดที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและมีสรรพคุณทางยา สามารถช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง ป้องกันและต้านสาร

ก่อมะเร็ง ช่วยบรรเทาอาการท้องผูก มีฤทธิ์เป็นยานอนหลับอย่างอ่อน เป็นผักที่เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน (สัมฤทธิ์, 2538; สุนทร, 2540; อนุรักษ์, 2542)

ผักกาดหอมห่อเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศเย็น ถ้าอุณหภูมิอากาศสูงเกินไปจะทำให้ผักกาดหอมห่อมีรสขม เกิดการแทงช่อดอกเร็ว (FAO, 1961; Knott and Deanon, 1970) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการห่อหัวของพืชนี้อยู่ที่ประมาณ 15-20 องศาเซลเซียส (Knott, 1950) ดังนั้น พืชนี้จึงปลูกได้ดีในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 85 ขึ้นไป และช่วงแสงต่อวันยาว 14-16 ชั่วโมง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่สูงจากระดับทะเลปานกลางเฉลี่ยตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป (ประสิทธิ์, 2549)

พื้นที่ปลูกผักกาดหอมห่อในประเทศไทย นิยมปลูกบริเวณพื้นที่สูงตอนเหนือของประเทศเช่น ในพื้นที่ของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และจังหวัดเพชรบูรณ์ (ธีรศักดิ์, 2545) ซึ่งพันธุ์ที่ทนร้อนได้ดีที่สุดคือ พันธุ์ใบ (leafy type) ได้แก่ butterhead และ crisphead สำหรับการปลูกในประเทศไทย สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ปลูกได้ผลดีที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม-เมษายน ชนิดของผักกาดหอมห่อที่ปลูกกันบนที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย มี 3 ชนิดด้วยกัน (ประสิทธิ์, 2549) ได้แก่

1. ชนิดห่อหัวแน่น (crisphead) มีลักษณะใบหยาบ กรอบ เปราะ เห็นเส้นกลางใบชัดเจน ใบห่อหัวแน่นแข็งคล้ายกะหล่ำปลี เป็นชนิดที่นิยมกันมากทางการค้า เพราะขนส่งได้สะดวก มีการสูญเสียน้อย ได้แก่ พันธุ์ Great Lake, Ballard Fame และ Georgia เป็นต้น

2. ชนิดพันธุ์ห่อไม่แน่น (butterhead) ลักษณะใบอ่อนนุ่ม ผิวใบเป็นมันคล้ายถูกเคลือบด้วยน้ำมันหรือเนย ใบข้างในซ้อนทับกันแน่นพอประมาณ ลักษณะคล้ายดอกกุหลาบ ใบไม่กรอบเหมือนชนิดแรก เป็นผักกาดหอมชนิดที่ชอบอากาศหนาวเย็น ไม่ทนทานต่ออากาศร้อน แต่อายุการเก็บเกี่ยวจะเร็วกว่าชนิดห่อหัวแน่น ได้แก่ พันธุ์ Big Boston และ White Boston เป็นต้น

3. ชนิดห่อหัวค่อนข้างยาว (cos) ซึ่งมีลักษณะห่อหัวรูปกลมยาวตั้งตรง ใบแข็ง ยาวและแคบ นิยมปลูกมากในทวีปยุโรป แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ พันธุ์ที่มีหัวขนาดใหญ่ ได้แก่ พันธุ์ Paris White และ White Heart เป็นต้น พันธุ์ที่มีหัวขนาดเล็ก ได้แก่ พันธุ์ Little Gem เป็นต้น

1.2 ประวัติและความเป็นมา

ผักกาดหอมห่อ (crisphead lettuce) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปยุโรป ถูกนำเข้ามาปลูกแถบเอเชียในประเทศจีนตั้งแต่ศตวรรษที่ 5 และแพร่กระจายไปทั่วทั้งทวีป (Soundy and Smith, 1992) ผักกาดหอมห่อเข้าสู่ประเทศไทยเมื่อใดไม่มีหลักฐานปรากฏที่แน่ชัด แต่ในปัจจุบันนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ผักกาดหอมห่อจึงมีชื่อเรียกหลาย ๆ ชื่อ ในภาคเหนือเรียกว่า ผักกาดยี ภาคกลางเรียกว่า ผักสลัด หรือสลัดแก้ว เป็นต้น

ผักกาดหอมห่อมีการปลูกแพร่หลายในหลายประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะในแถบอเมริกาเหนือ ทางตะวันตกของยุโรป ประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ออสเตรเลีย และบางส่วนของเอเชีย (Ryder, 1999) สลัดหรือผักกาดหอม (Lettuce: *Lactuca sativa* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) เป็นวงศ์ค่อนข้างใหญ่ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นสายพันธุ์ป่ามีเพียงไม่กี่ชนิดที่นำมาปลูกเพื่อการค้า โดยที่ Compositae คือกลุ่มพืชที่มีก้านดอกเดี่ยว มีช่อดอกเป็นจำนวนมาก ส่วน Asteraceae คือกลุ่มพืชที่เนื้อเยื่อมีสารคล้ายน้ำนมในลำต้นและส่วนอื่น ๆ Lettuce จึงมีความหมายว่าน้ำนมจากพืช (milk juice of plant) โดย Lac (Lactuca) มีรากศัพท์มาจากภาษาละตินที่หมายถึงนม) Lettuce มีรากศัพท์มาจากภาษาฝรั่งเศสโบราณ คือ laitue ซึ่งหมายถึงน้ำนม Sativar หมายถึง พืชที่ขยายพันธุ์โดยเมล็ด อยู่ในวงศ์ Asteraceae (formerly Compositae) รวมทั้ง เอนไดฟ์ (endive) ซาลซิไฟ (salsify) อาร์ติโชค (artichoke) ชิคอร์รี (chicory) ทานตะวัน (sunflower) เบญจมาศ และเก๊กฮวย (chrysanthemum) (นิพนธ์, 2549)

1.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก ผักกาดหอมห่อมีระบบรากแก้วที่แข็งแรง อวบอ้วน และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้ถึง 60 เซนติเมตรหรือมากกว่าเมื่อถึงระยะที่แทงช่อดอก การย้ายกล้ามาปลูกบนแปลง รากแก้วอาจได้รับความเสียหายได้ง่าย รากแขนงและรากฝอยจะแพร่กระจายอยู่ใกล้ผิวดินในระดับความลึก 30 เซนติเมตร ปริมาณรากจะอยู่เป็นกลุ่มหนาแน่น และจะลดลงตามระดับความลึกของดินทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารพืชส่วนมากเกิดในดินบนใกล้ชั้นผิวดิน (Jackson, 1995)

ลำต้น ผักกาดหอมห่อมีลำต้นตั้งตรง มีข้อปล้องถี่และสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์มาก ๆ ลำต้นจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ได้ถึง 2 นิ้ว อย่างไรก็ตามในระยะแรกจะมองไม่ค่อยเห็นเนื่องจากมีใบปกคลุมอยู่ จะเห็นลำต้นชัดเจนขึ้นในระยะแทงช่อดอก

ใบ ใบของผักกาดหอมห่อแตกออกจากลำต้นโดยรอบ มีสีเขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงเขียวแก่ ลักษณะเนื้อใบหนาและอ่อนนุ่ม ใบจะทำให้เกิดการห่อหัวอัดกันแบบหลวม ๆ คล้ายกะหล่ำปลี ใบที่อยู่ข้างในมีลักษณะเป็นมัน บางชนิดม้วนงอและเปราะ มีเส้นใบสังเกตได้ชัดเจน ขอบใบหยักหรือเว้าแหว่ง มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันตามสายพันธุ์

ช่อดอก ผักกาดหอมห่อมีช่อดอกแบบช่อดอกรวม (panicle) ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกตรงยอด แต่ละกระจุกจะประกอบด้วยดอกย่อยจำนวน 15-25 ดอกหรือมากกว่า ก้านช่อดอกแต่ละข้อยาวประมาณ 2 ฟุต ช่อดอกช่อแรกเกิดที่ยอดก่อน จากนั้นจะเกิดด้านข้างตรงมุมใบ (leaf axis) ช่อดอกที่เกิดจากส่วนยอดโดยตรงจะมีอายุมากที่สุด ส่วนช่อดอกอื่น ๆ จะมีอายุรองลงมาตามลำดับ

ดอก มีลักษณะเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีกลีบดอกสีเหลืองหรือขาวปนเหลือง ตรงโคนดอกเชื่อมติดกัน มีรังไข่ 1 ห้อง ยอดเกสรตัวเมีย 1 อัน มีลักษณะเป็น 2 แฉกและมีเกสรตัวผู้ 5 อัน ลักษณะเป็นกระโจมห่อหุ้มยอดเกสรตัวเมียเพื่อไว้ผสมตัวเอง ระยะดอกบาน ดอกจะบานช่วงเช้าและปิดในระยะเวลาสั้น ๆ โดยเฉพาะในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ การผสมเกสรจะเสร็จสิ้นภายในระยะเวลา 3-6 ชั่วโมง

เมล็ด ลักษณะเมล็ดเป็นเมล็ดเดี่ยว (achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่รังเดียว มีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดของผักกาดหอมห่อมีลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็ก ๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีม ความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตรและกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร โดยดอก 1 ดอก จะมีหลายเมล็ด ซึ่งจะสุกหลังจากดอกบานประมาณ 12 วัน

1.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

ช่วงแสง แสงมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตมาก ถ้าผักกาดหอมห่อได้รับช่วงแสงต่อวันยาวและมีความเข้มของแสงต่ำ จะทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่ดี (Kalloo, 1981) ช่วงแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งที่มีอิทธิพลต่อการออกดอกของผักกาดหอมห่อ การเปลี่ยนแปลงของตาดอก เช่นเดียวกันกับในผักกาดหอมชนิด butterhead ช่วงแสงมีบทบาทต่อการกำเนิดดอก แต่มีผลเล็กน้อยในผักกาดหอมประเภทใบ (Rappaport and Wittwer, 1956) และยังพบว่าอิทธิพลของช่วงแสงมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นต่อการพัฒนาของก้านดอก (Knott and Deanon, 1970)

อุณหภูมิ ผักกาดหอมห่อเป็นพืชผักเมืองหนาวที่เจริญเติบโตได้ดีเมื่ออุณหภูมิในช่วงกลางวันอยู่ระหว่าง 18-25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในช่วงกลางคืนอยู่ในช่วง 10-15 องศาเซลเซียส (Ryder, 1999) ดังนั้นเมื่อปลูกในสภาพอุณหภูมิต่ำจะทำให้ได้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกในสภาพอุณหภูมิสูง เนื่องจาก อุณหภูมิสูงจะทำให้การเจริญของใบถูกจำกัดและเกิดการสร้างสารคล้ายน้ำนมออกมามาก มีเส้นใยมาก เนื้อเยื่อเหนียว ทำให้มีรสขม ช่อดอกเจริญเติบโตเร็ว ทำให้ได้ผลผลิตต่ำและคุณภาพของผลผลิตไม่ดี อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการเจริญของผักกาดหอมห่อและสลัดบัตเตอร์มากกว่าสายพันธุ์อื่น

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ถ้าในช่วงปลูกผักกาดหอมห่อมีความชื้นสัมพัทธ์สูงตั้งแต่ร้อยละ 85 ขึ้นไปจะทำให้ผักกาดหอมห่อมีการเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกในช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำหากปลูกที่อุณหภูมิเพียง 20 องศาเซลเซียส และได้รับช่วงแสง 16 ชั่วโมงต่อวันแล้ว จะทำให้จำนวนใบเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15 (Tibbitts and Bottenberg, 1976)

สภาพดิน ผักกาดหอมห่อเป็นพืชที่มีระบบรากค่อนข้างอ่อนแอและเจริญเติบโตหนาแน่นที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร สภาพดินสำหรับปลูกผักกาดหอมห่อโดยทั่วไปควรเป็นดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำดี และควรมีค่าพีเอชดินอยู่ระหว่าง 6.0-6.5 (นิพนธ์, 2549)

1.5 โรคและแมลงศัตรูของผักกาดหอมห่อ

1.5.1 โรคเน่าเละ (bacterial soft rot)

สาเหตุของโรคเกิดจากเชื้อแบคทีเรียชื่อ *Erwinia* sp. เป็นโรคที่พบและสร้างความเสียหายให้กับพืชอวบน้ำ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่อากาศร้อนอบอ้าว สร้างความเสียหายทั้งในแปลงปลูกหลังเก็บเกี่ยว ระหว่างเก็บในโรงเรือน ระหว่างการขนส่งและจำหน่าย ลักษณะอาการเริ่มจากเป็นรอยช้ำเล็ก ๆ ลักษณะเป็นจุดฉ่ำน้ำ หากสภาพแวดล้อมเหมาะสมแผลจะขยายลึกลงไปในเนื้อเยื่อและกระจายไปรอบต้น เนื้อเยื่อส่วนนั้นจะเน่ายุบตัวลงอย่างรวดเร็ว แผลเละเป็นเมือกเยิ้มส่งกลิ่นเหม็นอย่างรุนแรง ผักจะเน่ายุบตายไปทั้งต้นขณะที่ใบยังเขียวอยู่ เมื่อจับต้นขึ้นมาก็จะหลุดติดมือได้ง่ายซึ่งอาการส่วนมากจะเกิดที่โคนต้นระดับผิวดิน

1.5.2 โรคเน่าดำ (black rot)

สาเหตุเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* พบระบาดทั่วไปโดยเฉพาะในฤดูฝนหรือสภาพที่มีความชื้นสูง ลักษณะอาการที่พบ พืชจะมีใบแห้งเป็นสีน้ำตาลหรือเหลืองคล้ายสีทอง

1.5.3 โรคใบจุด (Leaf Spot)

เชื้อสาเหตุ ได้แก่ *Cercospora longissima* มักพบอาการที่ใบแก่และใบล่างของต้น เริ่มแรกจะเกิดเป็นจุดเล็ก ๆ สีน้ำตาล เริ่มจากขอบใบแล้วต่อมาเป็นจุดแผลขยายสู่ส่วนกลางของใบ ขอบแผลมีสีน้ำตาลเข้ม ส่วนกลางของแผลจะแห้งเป็นจุดสีฟางข้าวทำให้ดูคล้ายตากบ เมื่อแผลลุกลามและรวมกันมาก ๆ จะทำให้เกิดอาการใบไหม้ทั้งใบได้

1.5.4 โรคใบไหม้ (Tip burn)

เกิดจากการขาดธาตุแคลเซียม มักพบในหน้าแล้งที่มีอากาศร้อนดินขาดน้ำ โดยอาการจะเริ่มจากขอบใบไหม้แห้งเป็นสีน้ำตาลลามจากปลายขอบด้านบนของใบ พบได้ในใบที่อยู่รอบนอกและใบที่ห่ออยู่ด้านใน ในกรณีที่ไม่รุนแรงจะเกิดเฉพาะใบล่างที่แก่โดยจะแห้งตายทั้งใบ

ส่วนใบอ่อนจะแห้งและม้วนขึ้นเล็กน้อยเฉพาะส่วนที่แห้ง ในพืชที่พบอาการนี้อาจแคระแกรนหยุดการเจริญเติบโตไม่ห่อหัวหรือหัวห่อไม่แน่น

1.5.5 โรคเหี่ยว (Wilt)

เกิดจากเชื้อราในดินสกุล Rhizoctonia ซึ่งจะทำลายบริเวณโคนต้นและรากทำให้เกิดแผลลุกลามออกไป ส่งผลให้พืชแสดงอาการแคระแกร็น เหลืองและเหี่ยวตายในที่สุด ส่วนโรคเหี่ยวที่เกิดจากเชื้อราสกุล Sclerotium หรือราเมล็ดผักกาด สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายเนื่องจากพบเส้นใยสีขาวหยาบ ๆ ของเชื้อราบริเวณโคนต้นและดินรอบต้น ต่อมาก็จะสร้างเป็นเม็ดกลมสีขาวและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ายเมล็ดผักกาด ทำให้โคนเน่ามีผลให้ต้นพืชเหี่ยวในเวลาต่อมา

1.5.6 แมลงศัตรูพืช

จิ้งหรีดและหนอนด้วงแก้ว เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญอาศัยอยู่ในดินหรือบริเวณรากพืชหรือใต้ดินบริเวณโคนต้น ลึกประมาณ 10-30 เซนติเมตร มักกัดกินรากและต้นกล้าทำให้ต้นเหี่ยวตาย ส่วนหนอนกระทู้ผักจะกัดกินใบของผักกาดหอมห่อ โดยพบช่วงการระบาดได้ตลอดทั้งปี

2. ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียม

2.1 ธาตุแคลเซียม

แคลเซียมมีน้ำหนักโมเลกุล 40.08 กรัม เป็นโลหะอัลคาไลน์ (alkaline) ที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดยเป็นธาตุที่พบทั่วไปในพืชและสัตว์ แคลเซียมที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้อยู่ในรูปของไดวาเลนต์ แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายยาก (Gardiner and Miller, 2004) ดังนั้นเมื่อ Ca^{2+} อยู่ในเนื้อเยื่อพืชจะไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น แคลเซียมที่มีอยู่ในพืชส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ใบและลำต้นมากกว่าที่เมล็ด ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช (ยงยุทธ, 2546)

ธาตุแคลเซียมในดิน มาจากการสลายตัวของหินและแร่ที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักได้แก่ เฟลด์สปาร์ อพาไทต์ แคลไซต์และยิปซัม ดินที่มีแร่เหล่านี้มากก็สามารถสนองแคลเซียม

ให้แก่พืชได้อย่างเพียงพอ ดินด่างมีแคลเซียมมากกว่าดินกรด แคลเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ในดินคือ Ca^{2+} ในสารละลายดินกับแคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable calcium) ดินที่ขาดแคลเซียมได้แก่ดินกรดและดินที่ผ่านการชะละลายมาช้านาน การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราสูงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้รากพืชดูดแคลเซียมได้น้อยลงและอาจขาดธาตุนี้

แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืชและพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ แม้ว่าพืชได้ธาตุนี้มากเกินไปจะมีการเจริญเติบโตช้าลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่ไม่ชอบดินแคลคาเรียสหรือดินเนื้อปูนหรือพืชไม่ทนปูน (calcifuge) แต่อาการเป็นพิษก็เกิดช้าและมักเป็นผลทางอ้อมมากกว่าทางตรง สาเหตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษเนื่องจากพืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโทรพลาสซึมต่ำได้ (Hanson, 1984)

2.1.1 ความสัมพันธ์ของแคลเซียมกับผนังเซลล์

แคลเซียมจำเป็นในการแบ่งเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ calcium pectate เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของชั้นภายใน middle lamella แคลเซียมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์และป้องกันการย่อยสลายของ middle lamella จากเอนไซม์ polygalacturonase โดยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการสลายสารเพกเทตใน middle lamella ในพืชที่ขาดแคลเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลง คือ กิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase สูงขึ้น มีการสลายของผนังเซลล์ และเนื้อเยื่อ (Gardiner and Miller, 2004) ในทางตรงกันข้ามพืชที่ได้รับแคลเซียมอัตราสูง และอยู่บริเวณที่มีความเข้มแสงสูงด้วย ผนังเซลล์จะมี calcium pectate ในสัดส่วนที่มากกว่าสาร pectic ชนิดอื่น เนื้อเยื่อพืชจึงต้านทานต่อการย่อยสลาย (ยงยุทธ, 2546)

2.1.2 แคลเซียมกับการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของพืช

ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชจะแตกต่างกันตามสภาพการปลูก ชนิดและพันธุ์พืช (Loneragan and Snowball, 1969) โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลในการกำหนดความเข้มข้นที่เหมาะสมของแคลเซียมในสารละลายปลูกพืช เช่น ความเข้มข้นของธาตุอื่น ทั้งนี้เนื่องจากมีหลายธาตุสามารถเข้าแทนที่แคลเซียมตรงจุดที่ธาตุนี้เกาะกับผิวนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ และต้องเพิ่ม

ความเข้มข้นของแคลเซียมในสารละลายปลูกพืชเมื่อในสารละลายธาตุอาหารนั้นมีโลหะหนัก โซเดียมคลอไรด์หรือโปรตอนสูงกว่าปกติ (Marschner, 1995)

การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมในสารละลายปลูกพืชหรือสารละลายดิน มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุนี้ในใบเพิ่มขึ้น แต่มักไม่มีผลต่อความเข้มข้นในอวัยวะที่มีการคายน้ำต่ำหรือไม่มีการคายน้ำ เช่น ผลและหัว เพราะอวัยวะทั้งสองส่วนนี้รับแคลเซียมซึ่งเคลื่อนย้ายมาทางท่อลำเลียงอาหาร (phloem) เป็นหลัก โดยทั่วไปพืชมีกลไกควบคุมให้มีการเคลื่อนย้ายแคลเซียมทางท่อลำเลียงอาหารน้อย โดยการจำกัดการถ่ายโอนแคลเซียมเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหารในผลและหัวนั้น พืชต้องควบคุมระดับแคลเซียมไว้ค่อนข้างต่ำ เพื่อให้เซลล์ในอวัยวะดังกล่าวขยายขนาดได้อย่างรวดเร็วและเยื่อมีสภาพให้ซึมได้สูง แต่ข้อที่ควรระวังคืออวัยวะที่คายน้ำน้อยแต่อัตราการเติบโตสูง มักมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมหรือมีแคลเซียมในอวัยวะนั้นต่ำกว่าระดับวิกฤติ หรือมีธาตุนี้ไม่เพียงพอสำหรับคงสภาพที่ดีของเยื่อไว้ได้ เป็นเหตุให้พืชแสดงอาการขาดแคลเซียมที่ผล เช่น ก้นผลมะเขือเทศเน่า (blossom end rot) และผิวผลแอปเปิลมีรอยบุ๋ม (bitter pit) หรือที่อวัยวะอื่น ๆ เช่น ไส้เน่า (black heart) ของขึ้นฉ่าย (celery) และกะหล่ำดอก ปลายใบไหม้ของผักกาดหอมห่อหรือผักกาดขาวปลีไหม้ (tipburn) (Bangerth, 1979)

2.1.3 การดูดและการลำเลียงแคลเซียมในพืช

แคลเซียมส่วนใหญ่ถูกดูดซึมโดยกระบวนการไหล (mass flow) ในรูปของแคลเซียมไอออนเข้าไปพร้อมน้ำ การดูดแคลเซียมและการลำเลียงเกี่ยวข้องกับบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยน (exchange site) และกระบวนการเมแทบอลิซึม (Gardiner and Miller, 2004) ในต้นแอปเปิ้ลอัตราการดูดแคลเซียมขึ้นอยู่กับปริมาตรของรากทั้งหมด ความหนาแน่นราก ช่วงการเจริญเติบโตของราก กิจกรรมของรากในช่วงนั้น ๆ และการแพร่กระจายของรากในดิน นอกจากนี้อัตราการดูดแคลเซียมยังขึ้นกับความเข้มข้นแคลเซียมภายนอกรากและการคายน้ำ (Clarkson, 1984; Kirkby and Pilbeam, 1984)

หลังจากรากพืชสัมผัสแคลเซียม แคลเซียมจะเคลื่อนย้ายข้ามชั้น cortex โดยกระบวนการแพร่ (diffusion) หรือโดยการแทนที่ในบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนอย่างอิสระ หรือทั้งสองกระบวนการรวมกัน การดูดแคลเซียมถูกจำกัดด้วยบริเวณรากที่ต่อจากบริเวณปลายราก (root tip) ในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นในสุด (endodermis) ซึ่งมีลักษณะเป็น unsuberized ดังนั้นการ

เคลื่อนย้ายแคลเซียมจากชั้น cortex สู่ท่อลำเลียงถูกจำกัดด้วย apoplastic หรือ บริเวณที่เรียกว่า free space pathway หรือเคลื่อนย้ายได้ในรากอ่อนเฉพาะที่ผ่านเข้าไปได้ง่ายซึ่งมีลักษณะ non suberized บางครั้งในท่อลำเลียง แคลเซียมไอออนอาจเข้าไปในเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ (xylem vessel) ผ่านกิจกรรมหลั่งสารโดยเซลล์ parenchyma ของท่อลำเลียงน้ำ (xylem) หรือ passive leakage (Ferguson and Clarkson, 1975; Russel and Clarkson, 1976)

กระบวนการลำเลียง (translocation) ของแคลเซียมเป็นไปอย่างช้า ๆ การลำเลียงแคลเซียมในพืชเกิดขึ้นผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ เช่นเดียวกับการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ใน plasma membrane และปฏิกิริยาสะสมกับเนื้อเยื่อเหนี่ยวนำ (conductive tissue) แคลเซียมที่ถูกยึดเหนี่ยวในท่อลำเลียงน้ำสามารถถูกแทนที่ได้ด้วยแคลเซียมไอออนอิสระ (Ca^{2+}) และแคตไอออนชนิดอื่น และเคลื่อนที่สู่ส่วนบนของต้นพืชในกระบวนการคายน้ำโดยเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง (Tibbitts, 1979; Van de Geijn and Petit, 1979; Clarkson, 1984)

แคลเซียมเคลื่อนที่ได้ในท่อลำเลียงน้ำ โดยไปแทนที่ไอออนที่มีประจุบวกสอง (divalent cations) ชนิดอื่นในบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยน เช่น แมกนีเซียม แคลเซียมคีเลตสามารถลำเลียง ได้รวดเร็วกว่าแคลเซียมอิสระ (Ferguson and Clarkson, 1975; Van de Geijn and Petit, 1979) สารประกอบคีเลต (chelating compound) หรือ malic หรือกรดซิตริก (citric acid) ความเข้มข้นสูงอาจส่งเสริมการเคลื่อนย้ายแคลเซียมในพืช และอาจมีถึงร้อยละ 50 ของแคลเซียมใน xylem sap complex กับ malic หรือ citric acid (Shear and Faust, 1970)

การย้ายแคลเซียมไอออนออกจากบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยน สู่สภาวะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (immobile) อาจปรากฏผ่านการใช้ประโยชน์ของไอออน โดยกิจกรรมของเนื้อเยื่อเจริญและสะสมไอออนในรูปผลึกของ oxalate ใบอ่อนมีอัตราของเมแทบอริซึมมากกว่าใบแก่ ดังนั้นในใบอ่อนจึงมีแคลเซียมสะสมมาก โดยจะมีการแข่งขันระหว่าง sink ในพืชสูงเมื่อสภาวะแคลเซียมในท่อลำเลียงน้ำต่ำและมีการคายน้ำสูง ขณะที่เมื่อใน sap มีแคลเซียมไอออนมาก การแพร่กระจายของไอออนนี้จะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการคายน้ำที่รุนแรง และแคลเซียมจำนวนมากจะเคลื่อนสู่ใบแก่ ในพืชที่หัวใหญ่มีการคายน้ำมากกว่าปกติและใบในถูกปิดล้อม ใบนอกจะลำเลียงแคลเซียมออกจากเนื้อเยื่อเจริญ ในผักกาดหอมห่อปรากฏว่า การคายน้ำมีส่วนในการลำเลียงแคลเซียมอย่างเด่นชัด ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นเฉลี่ยในใบนอกมักจะมีความเข้มข้นสูงกว่าใบในเช่นเดียวกับความเข้มข้นที่ปลายใบนอกมักจะสูงกว่าบริเวณเส้นกลางใบ (midrib) แต่ในใบอ่อนจะ

ให้ผลตรงข้าม (Misaghi and Grogan 1978; Collier and Huntington, 1983; Clarkson, 1984; Barta and Tibbitts, 1991)

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดและเคลื่อนย้ายแคลเซียมในพืช

1) พันธุกรรม ภายใต้สภาวะที่มีแคลเซียมที่เป็นประโยชน์เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณแคลเซียมในพืชจะถูกควบคุมโดยพันธุกรรมและจากแคลเซียมบริเวณราก ที่อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมักจะมีแคลเซียมความเข้มข้นต่ำกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ พืชใบเลี้ยงคู่มีความต้องการแคลเซียมสูง อาจมาจากพืชใบเลี้ยงคู่มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) ของรากสูงกว่าพืชอื่น (Mengel and Kirkby, 1987)

2) ฮอร์โมน IAA หรือกรดอินโดลแอซีติกมีความสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายแคลเซียม การเคลื่อนย้ายแคลเซียมและออกซินตามแรงกระตุ้นของแรงโน้มถ่วงปรากฏทั้งในยอดและราก ในบริเวณที่มีการเจริญเติบโตช้าจะมีแคลเซียมเป็นตัวยับยั้งการเคลื่อนย้าย auxin และเป็นผลยับยั้งการโค้งงอตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Hasenstein and Evans, 1988)

3) แคตไอออน โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มแคตไอออนชนิดหนึ่งจะมีผลทำให้ความเข้มข้นของแคตไอออนชนิดอื่นลดลง ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า การเป็นปฏิปักษ์กันระหว่างแคตไอออน (cation antagonism) (Mengel and Kirkby, 1987) ดังนั้น โดยแท้จริงแล้วความเข้มข้นแคลเซียมในสารละลายดินมีความสำคัญต่อการควบคุมการดูดแคลเซียมน้อยกว่าความสัมพันธ์ของแคลเซียมกับความเข้มข้นเกลือทั้งหมด และสัดส่วนความเข้มข้นกับไอออนชนิดอื่นในสารละลาย (Shear, 1975) เช่น โพแทสเซียม แอมโมเนียม (Battery, 1990) และแมกนีเซียม (Willumsen, 1984) ซึ่งต่างก็เป็นปฏิปักษ์กับแคลเซียมและขัดขวางการดูดแคลเซียม แคตไอออน เช่น รูบิเดียม (Rb) และอะลูมิเนียม (Al) ต่างก็เป็นตัวยับยั้งการดูดแคลเซียมเช่นกัน (Yamada, 1975) อัตราการดูดแคลเซียมขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคตไอออนแต่ละชนิดในสารละลายธาตุอาหารพืช เช่น โพแทสเซียมจะถูกดูดโดยเซลล์ได้รวดเร็วกว่า เพราะสามารถดูดได้ง่ายและมีความสามารถแข่งขันสูง (Mengel and Kirby, 1987)

4) ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากการทดลองเรื่องผลของสารละลายเกลือต่อการลำเลียงธาตุแคลเซียมในมะเขือเทศ (Adams and Ho, 1990) แสดงถึงบทบาท

ของโซเดียมคลอไรด์ได้ว่า เมื่อโซเดียมคลอไรด์มีความเข้มข้นมากขึ้นก็จะไปลดปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (total calcium) ที่สะสมในผลมะเขือเทศให้น้อยลง แต่มีผลต่อน้ำหนักแห้งเพียงเล็กน้อย ในขณะที่บริเวณใบพืช แม้ว่าโซเดียมคลอไรด์จะมีผลต่อแคลเซียมที่สะสมในใบเพียงเล็กน้อยแต่น้ำหนักแห้งจะลดลงมาก ส่วนใหญ่ปริมาณกระบวนการสะสมเกลือ (salinization) ในสารละลายธาตุอาหารมาจากโซเดียมคลอไรด์ และธาตุอาหารหลักอื่น เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และไนเทรต (NO^-_3) ซึ่งก็ต่างมีผลต่อการสะสมแคลเซียม โดยเฉพาะการดูดซึมในกระบวนการเคลื่อนย้ายแคลเซียม (Adams and Ho, 1990)

การดูดซึมในกระบวนการเคลื่อนย้ายแคลเซียมส่วนมากเกิดในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีการดูดแคลเซียมเข้าไปใหม่แล้วเคลื่อนย้ายไปสะสมยังผลมากกว่าช่วงกลางวัน (Adams and Ho, 1990) เกลือโซเดียมที่มีความเข้มข้นสูงจะส่งผลกระทบต่อผักกาดหอมห่อ โดยเฉพาะการลดการดูดใช้แคลเซียม (Cresswell, 1991; Huett, 1994)

5) ไนโตรเจน สำหรับแคลเซียมแล้ว ไนโตรเจนที่ให้แก่รากพืชในรูปไนเทรต (NO^-_3) สามารถดูดซึมได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับประจุลบชนิดอื่น แต่แคลเซียมไม่สามารถเพิ่มระดับการแข่งขันกับกรดอินทรีย์ (organic acid) ในการเคลื่อนย้ายใน translocation stream (Shear, 1980) นอกจากนี้ในก้านใบ ลำต้น และรากของมะเขือเทศที่ปลูกในสารละลายที่มีไนเทรต-ไนโตรเจนจะมีกรดอินทรีย์สูงมากกว่าที่ปลูกในแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (Kirby and Mengel, 1967) เพราะฉะนั้นไนโตรเจนที่อยู่ในรูป ไนเทรตส่งเสริมการดูดและการลำเลียงแคลเซียม

ในทางตรงข้าม ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ซึ่งอยู่ในรูปแอมโมเนียมจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อสถานะของแคลเซียมในพืช (Wilcox *et al.*, 1973) ในมะเขือเทศพบว่าการดูดแคลเซียมจะลดลงโดยได้รับอิทธิพลจาก NH_4>โพแทสเซียม>แมกนีเซียม>โซเดียม แอมโมเนียมไอออนสามารถดูดซึมได้ง่ายกว่าไนเทรต ซึ่งในความเป็นจริงแล้วแอมโมเนียมจะยับยั้งการดูดไนเทรต โดยจะขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ nitrate reductase ในราก (Shear, 1980; Faust, 1986) และแอมโมเนียมไอออนอาจจะขัดขวางการดูดน้ำอีกด้วย (Quebedeaux and Ozbun, 1973) นอกจากนี้แอมโมเนียมไอออนทำให้ค่าพีเอชของดินลดลง (Shear and Faust, 1970) ซึ่งจะเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุโลหะแล้วไปลดการดูดแคลเซียมลง

6) ความดันราก การดูดซึมน้ำเข้าสู่ท่อลำเลียงน้ำ รากจะลดศักย์ของน้ำ (water potential) ของดินหรือสารละลายดิน ทำให้มีความแตกต่างกันในพืชที่มีการคายน้ำช้าและเร็ว เป็นผลมาจากการดูดซึม 2 แบบ ได้แก่ ในพืชที่มีการคายน้ำช้าและมีรากเป็น osmometers มีการดูดซึมแบบออสโมติก (osmotic absorption) และพืชที่มีการคายน้ำได้รวดเร็วมีกระบวนการดูดซึมทางอ้อม ซึ่งการดึงน้ำเป็นผลมาจากความดันลดลงหรือจากแรงตึงผิวใน xylem sap และการดูดซึมแบบออสโมติก ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดันราก (root pressure) และ guttation และส่วนมากของสารที่หลั่งจาก sap ซึ่งพบในลำต้น กล่าวได้ว่า แรงดันรากเป็นผลมาจากน้ำจากดิน electro-osmosis และ osmosis เข้าสู่ท่อลำเลียงน้ำของราก (สมบุญ , 2538)

แรงดันรากเกิดได้เพราะน้ำเคลื่อนเข้าสู่รากอย่างต่อเนื่อง การเกิด hydrostatic pressure ซึ่งเป็นแรงดันน้ำ และแคลเซียมผ่านในพืช ความดันรากเกิดภายใต้สภาวะที่การคายน้ำไม่เป็นบทบาทสำคัญและสามารถถูกกระตุ้นได้โดยเพิ่มช่วงเวลากลางคืนสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ และโดยลดแรงต้านการเคลื่อนที่ของน้ำที่จะเข้าสู่พืช ซึ่งช่วยรักษาระดับน้ำในดินให้เหมาะสม และในช่วงเวลากลางคืนให้มีแรงดันออสโมติกของสารละลายดินต่ำ เป็นสองทางเลือกที่จะให้พืชมีการดูดน้ำสูงสุด (Wein, 1997) แรงดันรากเป็นกระบวนการออสโมติกขั้นพื้นฐาน สาเหตุมาจากใน xylem sap มี sufficient solutes สะสมต่ำกว่าสารตั้งต้น การลดลงของแรงดันรากเป็นผลมาจากการที่มี sufficient aeration, อุณหภูมิต่ำและ respiration inhibitors เป็นผลให้ลดการสะสมเกลือในท่อลำเลียงน้ำในราก และการยอมให้ซึมผ่านผิวรากมีการเปลี่ยนแปลง

แรงดันรากที่เป็นบวก (positive root pressure) ณ เวลากลางคืนจะส่งเสริมการเคลื่อนย้ายแคลเซียมสู่เนื้อเยื่อหรืออวัยวะ เพราะว่า การคายน้ำถูกจำกัด เมื่อเวลากลางวันและกลางคืนความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารจะแตกต่างกัน โดยมีการศึกษา พบว่า เฉพาะความเข้มข้นที่ให้ตอนกลางคืนเท่านั้นที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นแคลเซียมที่ปลายผนังเนื้อเยื่อมะเขือเทศ (Brafield and Guttridge, 1984) และใบอ่อนของสตรอเบอรี (Guttridge *et al.*, 1981) การเพิ่มความเข้มข้นแคลเซียมลงไปในสารละลายธาตุอาหาร จะเพิ่มความเข้มข้นแคลเซียมในส่วนใกล้เคียงแต่ไม่เพิ่มในส่วนกลางหรือปลายของใบ ดอกและผลไม้ (Bradfield and Guttridge, 1984)

7) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การดูดแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิรากและลดลงตามความเข้มข้นของสารละลาย ผักกาดหอมห่อที่ปลูกที่อุณหภูมิต่ำมีปริมาณแคลเซียมน้อยกว่าการปลูกในบริเวณที่อุณภูมิสูง โดยในเวลากลางคืนในระหว่าง 7-18 องศาเซลเซียส จะทำ

ให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบเพิ่มขึ้น (Knavel, 1981; Ikeda and Osawa, 1984; Clover, 1991) ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการคายน้ำและมีผลต่อการดูดใช้แคลเซียม โดยทั่วไปเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น การคายน้ำและการดูดแคลเซียมผ่านทางใบและผลจะลดลง (Barta and Tibbitts, 1991; Cline and Hanson, 1992; Adams and Hand, 1993) อย่างไรก็ตามหากความชื้นสัมพัทธ์สูงเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ก็จะเป็นการส่งเสริมการเคลื่อนย้ายแคลเซียมไปยังอวัยวะที่มีอัตราการหายใจต่ำ ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับความดันรากในผักกาดหอมห่อ (Choi *et al.*, 1997)

2.2 แมกนีเซียม

แมกนีเซียมเป็นแคตไอออนที่มีประจุบวกสองประจุ มีขนาดเล็ก มีรัศมีไฮเดรตไอออนเท่ากับ 0.428 นาโนเมตร อัตราการดูดแมกนีเซียมไอออนในพืชจะลดลงมากหากมีไอออน K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mn^{2+} และ H^+ ในสารละลายดินสูง เนื่องจากไอออนเหล่านี้แสดงภาวะปฏิปักษ์ต่อการดูดใช้แมกนีเซียม ดังนั้นจึงอาจพบการขาดแมกนีเซียมได้เสมอหากธาตุต่าง ๆ ภายในดินไม่สมดุล การแก้ไขทำได้โดยการใส่ปุ๋ยต่าง ๆ แต่พอควร การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพียงอย่างเดียวโดยมิปรับลดปุ๋ยชนิดอื่น และขณะนั้นยังใส่ปุ๋ยธาตุอื่น ๆ ข้างต้น ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบอาจต่ำกว่าปกติ แต่ความเข้มข้นของธาตุนี้ในผลหรือหัวมิได้ลดลงตามไปด้วย อาจคงระดับปกติหรือสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแมกนีเซียมในพืชเคลื่อนย้ายได้ดีมาก (Mengel and Kirkby, 1987)

แมกนีเซียมในดินส่วนมากอยู่ในรูปของหินหรือแร่ สำหรับแร่ที่มีแมกนีเซียม เป็นองค์ประกอบได้แก่ ออไจต์ ไบโอไทต์ เซอร์เพนทีน แมกนีไซต์และโดโลไมต์ เมื่อหินและแร่สลายตัวจะปลดปล่อยแมกนีเซียมออกมา นอกจากนั้นยังมีแมกนีเซียมอีกจำนวนหนึ่งซึ่งอยู่ในรูปของไอออนอิสระในสารละลายดินซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับที่อยู่ในรูปแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมจึงมีอยู่ในดิน 3 รูปคือ 1) แมกนีเซียมไอออนในสารละลายดิน 2) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งดูดซับอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดิน พืชสามารถดูดใช้แมกนีเซียมทั้ง 2 รูปนี้เป็นประโยชน์ได้โดยง่าย และ 3) เป็นองค์ประกอบของเกลืออนินทรีย์และแร่ต่างในดิน การปลดปล่อยแมกนีเซียมไอออนออกมาจากส่วนนี้ขึ้นอยู่กับสภาพละลายได้ของเกลือกับความยากง่ายของการสลายตัวผุพังของแร่ พีเอชของดินมีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุนี้ในดินมาก ความเป็นประโยชน์จะสูงในดินที่เป็นกลาง หรือเป็นด่าง การดูดแมกนีเซียมของพืชมีภาวะปฏิปักษ์กับโพแทสเซียม แอมโมเนียม แคลเซียม แมงกานีส และไฮโดรเนียม หากในดินมีธาตุเหล่านี้ในระดับความเข้มข้นสูงจะทำให้อัตราการดูดแมกนีเซียมของพืชลดลง (ยงยุทธ, 2546)

แมกนีเซียมมีบทบาทที่สำคัญต่อพืชหลายด้าน เนื่องจากมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ การมีพันธะเชิงไอออน (ionic bond) กับสารนิวคลีโอฟิลิกลิแกนด์ (nucleophilic ligands) เช่น หมู่ฟอสฟอริล (phosphoril group) และทำหน้าที่เชื่อมโยงและ/หรือทำปฏิกริยาได้สารประกอบเชิงซ้อนหลายชนิดซึ่งมีเสถียรภาพแตกต่างกัน พันธะเคมีระหว่างแมกนีเซียมกับสารส่วนมากเป็นพันธะเชิงไอออน และพันธะโควาเลนซ์ เช่น ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ แมกนีเซียมสามารถรวมกับเอนไซม์ได้สารเชิงซ้อน ไตรภาค (ternary complex) ทั้งยังมีบทบาทควบคุมให้เอนไซม์มีขนาดและรูปทรงอันเข้ากันได้ดีที่สุดกับซับสเตรต นอกจากนี้แมกนีเซียมไอออนยังช่วยควบคุมสภาพกรดด่างในเซลล์ให้พอเหมาะอยู่เสมอ พืชจึงต้องการธาตุนี้ค่อนข้างมาก (Clarkson and Hanson, 1980)

2.2.1 สารประกอบแมกนีเซียมและการกระจายในพืช

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญยิ่งในพืชสีเขียวเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ สัดส่วนของธาตุแมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ เช่น พืชตระกูลถั่วชื่อว่าซับเทอราเนียนโคลเวอร์ (*Trifolium subterraneum* L.) ที่มีแมกนีเซียมเพียงพอในระดับร้อยละ 6 ของธาตุนี้ในใบอยู่กับคลอโรฟิลล์ แต่ถ้าพืชขาดแมกนีเซียมจะต้องใช้ถึงร้อยละ 35 ของที่มีอยู่ในใบ ปกติใบพืชจะแบ่งสัดส่วนการใช้แมกนีเซียมที่มีอยู่ ดังนี้ ร้อยละ 6-25 เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ร้อยละ 5-10 เป็นองค์ประกอบของสารเพกเทต (pectate) ในผนังเซลล์และตกตะกอนเป็นเกลือที่ละลายยากในแวคิวโอล ที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 60-90 จะสามารถละลายน้ำง่ายจึงสกัดได้ด้วยน้ำ หากแมกนีเซียมในใบมีอยู่มากเกินกว่าร้อยละ 20-25 ที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ พืชจะชะงักการเจริญเติบโตและแสดงอาการขาดแมกนีเซียม (Scott and Robson, 1990b)

2.2.2 หน้าที่ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

บทบาทสำคัญของแมกนีเซียมที่ทราบกันดีแล้วคือเป็นอะตอมที่อยู่กึ่งกลางของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ สารตั้งต้นที่ใช้สังเคราะห์คลอโรฟิลล์ คือ กรดอะมิโนไนไกลซีน และ succinyl CoA ซึ่งได้มาจากวัฏจักรเครบส์ สารทั้งสองนี้ทำปฏิกิริยาและผ่านกระบวนการทางชีวเคมีหลาย

ขั้นตอนจนได้ protoporphyrin IX ซึ่งทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมไอออน ได้ Mg protoporphyrin IX กระบวนการสังเคราะห์ดำเนินต่อไปจนได้คลอโรฟิลล์เอ ต่อจากนั้นก็สามารถสังเคราะห์คลอโรฟิลล์บีได้ด้วย ซึ่งจะสังเกตได้ว่าตรงกึ่งกลางของโมเลกุลมีไนโตรเจน 4 อะตอม และแมกนีเซียมหนึ่งอะตอม กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์มีเอนไซม์บางชนิดต้องการเหล็กเป็นโคแฟกเตอร์ ดังนั้นจึงถือว่าเหล็กก็มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ด้วย (Devlin and Witham, 1983)

2.2.3 หน้าที่ในการสังเคราะห์โปรตีน

แมกนีเซียมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ 1) ช่วยเชื่อมหน่วยย่อยของไรโบโซม (ribosome) ให้เกาะกลุ่มกันซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญของการสังเคราะห์โปรตีน หากพืชขาดแมกนีเซียมไอออน หรือถ้ามีไอออนของโพแทสเซียม มากเกินไปหน่วยย่อยของไรโบโซมก็กระจัดกระจายทำให้การสังเคราะห์โปรตีนเกิดการหยุดชงัก 2) สร้าง RNA polymerases ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสร้าง RNA ในนิวเคลียส พืชต้องการแมกนีเซียมไอออนสำหรับเป็นโคแฟกเตอร์ ดังนั้นเมื่อพืชขาดแมกนีเซียมการสังเคราะห์อาร์เอ็นเอจะหยุดลงและจะเริ่มต้นใหม่เมื่อได้รับธาตุนี้อย่างพอเพียง และ 3) เป็นสะพานเชื่อมสายเชื้อดีเอ็นเอ (DNA strain) และทำให้โปรตีนกรด (acid protein) ในแมทริกซ์ (matrix) ของนิวเคลียสเป็นกลาง (Marcus, 1976)

เมื่อพืชขาดแมกนีเซียมการสังเคราะห์อาร์เอ็นเอสุทธิจะหยุดโดยทันที แต่เริ่มได้ใหม่อย่างรวดเร็วเมื่อมีธาตุนี้อย่างเพียงพอ ส่วนการสังเคราะห์โปรตีนมิได้รับความกระทบกระเทือนในช่วง 5 ชั่วโมงหลังการขาดธาตุนี้ แต่หลังจากนั้นก็ลดลงอย่างรวดเร็วมาก แมกนีเซียมช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนใน คลอโรพลาสต์ กล่าวคือต้องมีธาตุนี้ในไซโทซอล (cytosol) อย่างน้อย 0.25-0.4 มิลลิโมลาร์ ซึ่งจะช่วยป้องกันการเคลื่อนย้ายแมกนีเซียมไอออนออกจากคลอโรพลาสต์ จึงจะทำให้เกิดมีการสังเคราะห์โปรตีนขึ้น (นิพนธ์, 2549)

ใบพืชมีโปรตีนอยู่ถึงร้อยละ 25 ของโปรตีนที่พืชมีทั้งหมด ด้วยเหตุนี้เมื่อพืชขาดแมกนีเซียมใบจึงเล็ก หน้าที่คลอโรพลาสต์ และการถ่ายโอนอิเล็กตรอนใน Photosystem II ลดลง การขาดแมกนีเซียมเป็นภาวะที่กระตุ้นการสลายตัวของโปรตีนในใบแก่ รวมทั้งโปรตีนที่เป็นโครงสร้างของไทลาคอยด์ (thylakoid) ด้วย แล้วเคลื่อนย้ายสิ่งที่ได้จากการสลายไปเลี้ยงใบอ่อน

อาการขาดธาตุแสดงชัดเจนที่ใบแก่เมื่อคลอโรฟิลล์และรงควัตถุพลาสทิด (plastid pigments) ลดลงมาก อย่างไรก็ตามในช่วงของการขาดธาตุนี้มีการสะสมคาร์โบไฮเดรตในใบจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไม่ได้นำไปใช้ จึงทำให้น้ำหนักแห้งของใบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Scott and Robson, 1990a)

2.2.4 หน้าที่ในการปลุกฤทธิ์เอ็นไซม์และถ่ายโอนพลังงาน

การปลุกฤทธิ์ (activation) หมายถึง การเพิ่มขึ้นของอัตราของปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์(enzymatic reaction) สำหรับสารปลุกฤทธิ์ ซึ่งก็คือไอออนของโลหะซึ่งทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) สำหรับเอนไซม์ พืชมีเอนไซม์มากมายหลายชนิดที่ใช้แมกนีเซียมไอออนเป็นโคแฟกเตอร์ เอนไซม์เหล่านี้ส่วนมากมีบทบาทในการถ่ายโอนฟอสเฟตหรือหมู่คาร์บอกซิล

2.2.5 หน้าที่อื่น ๆ

แมกนีเซียมที่อยู่ในคลอโรพลาสต์และไซโทพลาสซึมเป็นเพียงส่วนน้อยเมื่อคิดเทียบกับปริมาณที่มีทั้งหมดในเซลล์ แมกนีเซียมที่เหลือมีหน้าที่ดังนี้

1) มีอยู่มากในแวคิวโอล ซึ่งเป็นแคตไอออนที่ทำหน้าที่ประกบคู่กับแอนไอออนของกรดอินทรีย์และแอนไอออนอนินทรีย์ภายในแวคิวโอล ช่วยให้เกิดสมดุลแอนไอออน-แคตไอออน

2) ทำปฏิกิริยากับกรดเพกติก (pectic acid) ได้แมกนีเซียมแพกเทตเป็นผนังเชื่อมระหว่างเซลล์ (middle lamella) ของผนังเซลล์ แต่มีปริมาณน้อยกว่าแคลเซียมแพกเทต กรดแพกทิกเป็นโพลิแซคคาไรด์ของกรดกาแลกทูรอนิก (galacturonic acid) (Mengel and Kirkby, 1987)

2.2.6 การจัดแบ่งส่วนคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate partitioning)

ใบแก่ซึ่งเป็นแหล่งจ่าย (source leaves) ของพืชที่ขาดแมกนีเซียมมักสะสมแป้งและน้ำตาลอันเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มิได้เป็นโครงสร้าง (nonstructural carbohydrates) ทำให้ใบพืชเหล่านี้มีน้ำหนักแห้งสูง ซึ่งแสดงว่า กระบวนการสังเคราะห์แสงได้รับผลกระทบไม่รุนแรงเท่า 1) การสลายตัวของแป้งในคลอโรพลาสต์ และ 2) เมแทบอลิซึมของน้ำตาลในเซลล์ และ/หรือการ

เคลื่อนย้ายน้ำตาลเข้าไปสู่ท่อลำเลียงอาหาร (phloem loading) พืชที่ขาดฟอสฟอรัสก็สะสมแป้งเช่นเดียวกันแต่ปริมาณคลอโรฟิลล์ยังสูง การสะสมคาร์โบไฮเดรตในใบถั่วที่ขาดแมกนีเซียมย่อมทำให้ที่รับ (sink) คือ ฝักอ่อนและรากได้รับคาร์โบไฮเดรตน้อยลง เมื่อรากได้รับอาหารไปหล่อเลี้ยงน้อยย่อมชะงักการเจริญเติบโตเป็นเหตุให้อัตราส่วนของส่วนเหนือดินกับราก (shoot root ratio) สูงขึ้น ซึ่งแตกต่างจากกรณีของพืชเดียวกันที่ขาดฟอสฟอรัส (Scott and Robson, 1990a)

การที่ซูโครสในใบพืชซึ่งขาดแมกนีเซียมเคลื่อนย้ายเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหารน้อยลง เนื่องจาก ATPase ซึ่งทำหน้าที่นี้ในเยื่อท่อลำเลียงอาหารจะมีกิจกรรมสูงก่อให้เกิดการขนส่งน้ำตาลเข้าไปในแบบร่วมโดยสารของโปรตอนกับซูโครส (proto-sucrose co-transport) ก็ต่อเมื่อมีแมกนีเซียมประมาณ 2 มิลลิโมลาร์ แต่ในใบพืชที่ขาดธาตุอาหารชนิดนี้ ปริมาณแมกนีเซียมที่มีในเมแทบอลิกพูลและบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์หลอดตะแกรง (sieve tube cells) จะต่ำกว่านี้มาก หากเพิ่มแมกนีเซียมให้แก่พืชอย่างเพียงพอจะช่วยให้กระบวนการขนถ่ายซูโครสเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหารคืนสภาพเดิมภายในเวลาหนึ่งวัน ในบางกรณีการขาดแมกนีเซียมทำให้ท่อลำเลียงอาหารชำรุด และนี่ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การขนส่งซูโครสหยุดลง (Fink, 1992)

3. อันตรกิริยา (interactions) และอัตราส่วน (ratio) ระหว่างธาตุอาหาร

อันตรกิริยาระหว่างธาตุอาหารมี 2 แบบคือ 1) สภาวะปฏิปักษ์ หมายถึงปรากฏการณ์ที่เมื่อธาตุหนึ่งสูงจะส่งผลให้ลดบทบาทของอีกธาตุหนึ่ง โดยยับยั้งการดูด แทรกแซงการทำหน้าที่ หรือทำให้อีกธาตุหนึ่งกลายเป็นสารประกอบที่ไม่ละลาย หรือมีปรากฏการความเจือจาง (dilution effect) จนพืชขาดแคลนธาตุนั้น และ 2) ภาวะเสริม (synergism) หมายถึงปรากฏการณ์ที่เมื่อมีธาตุหนึ่งสูงจะก่อให้เกิดผลดีต่ออีกธาตุหนึ่ง เช่น ส่งเสริมการดูดและการทำหน้าที่ระดับเซลล์ (Bergmann, 1992)

อันตรกิริยายังแบ่งได้เป็นอีก 2 แบบ คือ

3.1 อันตรกิริยาไม่เจาะจง (non specific interaction) เกิดขึ้นกับธาตุอาหารคู่ใดก็ได้หากส่วนประกอบของทั้งคู่อยู่ใกล้พิสัยขาดแคลน (deficiency range) การเพิ่มธาตุใดธาตุหนึ่งเพียงธาตุเดียวจะกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตขึ้นและเพิ่มชีวมวล จึงส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ความเจือจางจนส่วนประกอบของอีกธาตุหนึ่งลดลงไปอยู่ในพิสัยขาดแคลน ในขณะที่การเพิ่มส่วนประกอบของ

ธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่งขึ้นไปจนถึงระดับที่เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชแล้ว การเพิ่มเติมต่อไปอีกนี้จะแทบไม่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตเลย (Sumner and Farina, 1986)

3.2 อันตรกิริยาเจาะจง (specific interaction) เกิดกับธาตุอาหารบางคู่เป็นการเฉพาะ ตัวอย่างที่ชัดเจนมากของอันตรกิริยาเจาะจงได้แก่ การแข่งขันระหว่างโพแทสเซียมกับแมกนีเซียมในระดับเซลล์ของการเพิ่มส่วนประกอบของโพแทสเซียมกระตุ้นให้มีการขาดแคลนแมกนีเซียมได้ง่าย

เนื่องจากธาตุอาหารพืชมีอันตรกิริยาต่อกัน ดังนั้นการพิจารณาผลการวิเคราะห์พืช นอกจากจะดูว่าแต่ละธาตุมีส่วนประกอบอยู่ในเกณฑ์ที่ถือว่าต่ำ เพียงพอ หรือสูงเกินไปแล้ว ยังต้องพิจารณาอัตราส่วนของธาตุอาหารบางคู่ด้วย หากทุกธาตุอยู่ในเกณฑ์เพียงพอก็แสดงว่าอัตราส่วนระหว่างธาตุก็พอเหมาะเช่นเดียวกัน แต่ถ้าธาตุหนึ่งอยู่ในเกณฑ์ต่ำ อีกธาตุหนึ่งอยู่ในเกณฑ์สูงมาก หากธาตุคู่นี้มีอันตรกิริยาในเชิงสภาวะปฏิปักษ์แล้ว อาจมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น 1) พืชที่ได้รับไนโตรเจนรูปไนเทรตมากจะสะสมไอออนนี้จนมีระดับสูงเกินไปหากขาดโมลิบดินัม 2) พืชที่ได้รับโพแทสเซียมมากเกินไปอาจมีผลกนะทบต่อเมแทบอลิซึมของแคลเซียม และ 3) เมื่อให้ปุ๋ยฟอสเฟตอัตราสูงอาจทำให้พืชขาดสังกะสี

ประเด็นที่ต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษก็คือ เมื่อพืชมีธาตุต่าง ๆ อยู่ในพิสัยพอเหมาะ แล้วอัตราส่วนของธาตุต่าง ๆ ต้องมีค่าเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตตามปกติของพืชด้วย นอกจากนี้ความแปรปรวนด้านสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความชื้นดินมีอิทธิพลต่อส่วนประกอบของธาตุอาหารในใบพืชอย่างมาก ปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อ 1) การละลายและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร 2) อัตราการดูดธาตุอาหาร และ 3) อัตราการเจริญเติบโตของทั้งรากและส่วนเหนือดิน ผลของปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมต่อพืชล้มลุกประเภทรากตื้นจะชัดเจนมากกว่าพืชยืนต้นซึ่งมีรากลึก เนื่องจากพืชยืนต้นมีความจุบัฟเฟอร์ของธาตุอาหาร (nutrient buffer capacity) ในส่วนเหนือดินมากกว่าพืชล้มลุก ดังนั้นในการแปรความหมายผลการวิเคราะห์ทั้งด้านส่วนประกอบขาดแคลนขั้นวิกฤตหรือขั้นเป็นพิษ จึงต้องคำนึงถึงข้อเท็จจริงข้างต้นด้วย

4. ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ

4.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่

สถานที่ตั้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ อยู่ที่บ้านแม่แฮ หมู่ที่ 3 ตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ พิกัดแผนที่ E 451900 เมตร N 2077700 เมตร ชุด L7017 ระวาง 4746 IV มีพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมด 33 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในพื้นที่ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแม่วาง อำเภอแม่แจ่ม และอำเภอสะเมิง การเดินทางจากตัวเมืองเชียงใหม่สู่พื้นที่ใช้เส้นทางหลวงหมายเลข 108 สายเชียงใหม่-ฮอด ถึงอำเภอสันป่าตองเลี้ยวขวาบริเวณแยกบ้านกาดเข้าทางหลวงหมายเลข 1013 ถนนสันป่าตอง-แม่วาง ผ่านศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวงถึงศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ รวมระยะทางจากตัวเมืองเชียงใหม่ถึงศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮประมาณ 110 กิโลเมตร

หมู่บ้านแม่แฮและหมู่บ้านบริเวณใกล้เคียง ในเขตตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง และตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่บนพื้นที่สูงจากระดับทะเล 1,300 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเนินเขาและภูเขาสลับซับซ้อน มีที่ราบแคบ ๆ ตามแนวเหนือ-ใต้ของห้วยแม่แฮและห้วยแม่เตียน พื้นที่ส่วนใหญ่มีความลาดชันประมาณร้อยละ 30 ประกอบด้วยลุ่มน้ำขนาดเล็ก 2 แห่ง คือ ลุ่มน้ำแม่แฮและลุ่มน้ำแม่เตียน ราษฎรที่อาศัยอยู่ส่วนใหญ่เป็นชาวไทยภูเขาเผ่ากะเหรี่ยง ม้ง และจีนฮ่อ ประกอบอาชีพทำนาและทำไร่เลื่อนลอย โดยปลูกข้าวไร่ ข้าวโพด และเลี้ยงสัตว์ตามธรรมชาติ แต่เดิมจะมีการอพยพเคลื่อนย้ายหาที่เพาะปลูกใหม่ เมื่อดินเริ่มเสื่อมความอุดมสมบูรณ์ โดยการบุกรุกเผาถางป่าไม้ทุกปี ชาวบ้านมีสภาพความเป็นอยู่ค่อนข้างยากจน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมูลนิธิโครงการหลวงได้เข้าไปดูแล จัดการให้มีพื้นที่ทำกินที่ถาวร และมีการเปลี่ยนระบบการปลูกพืช รวมไปถึงชนิดของพืชที่ปลูกด้วย

4.2 สภาพภูมิอากาศ

4.2.1 ปริมาณและการกระจายของน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในปี 2551 มีค่าเท่ากับ 1,369.5 มิลลิเมตร เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุด คือเดือนตุลาคม เท่ากับ 319 มิลลิเมตร ส่วนเดือนธันวาคม และเดือนมีนาคมไม่มีฝนตก

4.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 2551 อยู่ที่ 20.6 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประมาณ 25.4 และ15.7 องศาเซลเซียสตามลำดับ เดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 29.4 องศาเซลเซียส และเดือนมกราคมมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 9.6 องศาเซลเซียส

4.3 พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ดำเนินการส่งเสริมพัฒนาอาชีพด้านการเกษตร ด้วยการสนับสนุนพันธุ์พืชที่มีศักยภาพเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ และสนับสนุนปัจจัยการผลิตแก่กลุ่มเกษตรกร แบ่งเป็นพืชผักเมืองหนาว เช่น กะหล่ำปลีแดง ผักกาดหอมห่อ ซูกินี กระเทียมต้น หอมญี่ปุ่น พลาสเลย์ และผักกาดขาวปลี ไม้ผลเมืองหนาว เช่น สาลี่ พลับ พลัม และบ๊วย ไม้ดอกไม้ประดับ เช่น จิบโซฟิลลาและเฟิร์นลี เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดผักกาดหอมห่อพันธุ์ Fame

2. กระบะเพาะและวัสดุเพาะต้นกล้า (ขี้เถ้าแกลบ:ขุยมะพร้าว:ปุ๋ยคอก อัตราส่วน 1:1:1)

3. ปุ๋ยเคมี

   3.1 ปุ๋ยยูเรีย (Urea; $CO(NH_2)_2$) สูตร 46-0-0

   3.2 ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (Triple superphosphate; TSP) สูตร 0-46-0

   3.3 ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride; KCl) สูตร 0-0-60

   3.4 ปุ๋ยแคลเซียมไนเทรต (Calcium nitrate; $Ca(NO_3)_2$)

   3.5 ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulfate; $MgSO_4$)

4. อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับเตรียมแปลงปลูก ได้แก่ ไม้ปักแปลงปลูก เชือก เทปวัดระยะ

5. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช

6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช

7. อุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

วิธีการ

1. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

1.1 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนการปลูก และหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยเก็บตัวอย่างดินในแปลงทดลองในพื้นที่โรงเรือนทดลองของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จำนวน 2 แปลงที่สอง ระดับชั้นความลึก ได้แก่ 0-20 และ 20-40 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เลือกเศษซากพืชและก้อนหินออก จากนั้นนำตัวอย่างดินมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

1) ปฏิกิริยาดิน (soil reaction, pH) วัดโดยใช้เครื่องวัดพีเอช (pH meter) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (Thomas, 1996; National Soil Survey Center, 1996)

2) อินทรียวัตถุ (organic matter) วิเคราะห์หาคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934) แล้วมาคำนวณหาปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter content) จากสูตร

$$\text{Organic matter (g kg}^{-1}\text{)} = \text{Organic carbon (g kg}^{-1}\text{)} \times 1.724$$

3) ไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) ย่อยสลายโดย โดย H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture และวัดปริมาณโดยการกลั่นด้วยวิธี Micro-Kjeldahl method (Jackson, 1965)

4) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) สกัดด้วยวิธี Bray II แล้ววิเคราะห์โดยวิธี colorimetric และนำมาหาปริมาณโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Bray and Kurtz, 1945)

5) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available potassium) สกัดโดยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) แล้ววิเคราะห์ปริมาณโดย Atomic absorption spectrophotometer (Pratt, 1965)

6) ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (Extractable K, Ca, Mg and Na) โดยสกัดด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Peech, 1945)

2. การปลูกผักกาดหอมห่อในแปลงทดลอง

2.1 การวางแผนการทดลอง

เลือกพื้นที่ศึกษาเป็นโรงเรือน ที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อที่มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างอยู่สูงจำนวน 2 บริเวณ ตั้งอยู่ภายในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ โดยแต่ละบริเวณมีลักษณะดังนี้

บริเวณที่ 1 เป็นโรงเรือนเปิดที่มีปริมาณตกค้างของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยเท่ากับ 190.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินบน และ 25.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินล่าง ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่าเท่ากับ 195.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินบน และ 259.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินล่าง

บริเวณที่ 2 เป็นโรงเรือนปิดที่มีปริมาณตกค้างของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยเท่ากับ 559.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินบน และ 40.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินล่าง ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่าเท่ากับ 1782.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินบน และ 243.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินล่าง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มีตำรับการทดลองทั้งสิ้น 11 ตำรับ จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดของแต่ละตำรับการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

ตำรับ	อัตราปุ๋ยที่ใช้ (กิโลกรัม/ไร่)				
การทดลอง	Urea[1/]	TSP[2/]	KCl[3/]	$Ca(NO_3)_2$[4/]	$MgSO_4$[5/]
ตำรับที่ 1	102.3	102.3	100.8	0	0
ตำรับที่ 2	102.3	0	0	0	0
ตำรับที่ 3	85.2	0	0	66	0
ตำรับที่ 4	68.2	0	0	132	0
ตำรับที่ 5	51.2	0	0	198	0
ตำรับที่ 6	102.3	0	0	0	55.2
ตำรับที่ 7	102.3	0	0	0	110.4
ตำรับที่ 8	102.3	0	0	0	165.6
ตำรับที่ 9	85.2	0	0	66	55.2
ตำรับที่ 10	68.2	0	0	132	110.4
ตำรับที่ 11	51.2	0	0	198	165.6

[1/] Urea (46-0-0)

[2/] Triple superphosphate (0-46-0)

[3/] Potassium chloride (0-0-60)

[4/] Calcium nitrate

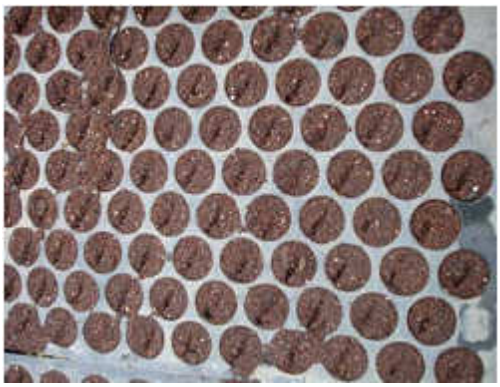
[5/] Magnesium sulfate

2.2 การปลูก

เตรียมแปลงปลูกในโรงเรือน 2 แห่งที่มีการคลุมหลังคาด้วยพลาสติก ในสภาพโรงเรือนเปิดและโรงเรือนปิดโดย โรงเรือนเปิดจะประกอบด้วยแปลงย่อยจำนวน 44 แปลง มีขนาดกว้าง 105 เมตร ยาว 175 เมตร และใช้ประชากรผักกาดหอมห่อจำนวน 12 ต้นต่อแปลงย่อย ขณะที่ในโรงเรือนปิดจะประกอบด้วยแปลงย่อยจำนวน 44 แปลงเช่นกัน มีขนาดกว้าง 105 เมตร ยาว 210 เมตร และใช้ประชากรผักกาดหอมห่อจำนวน 15 ต้นต่อแปลงย่อย (ภาพที่ 1)

(ก)

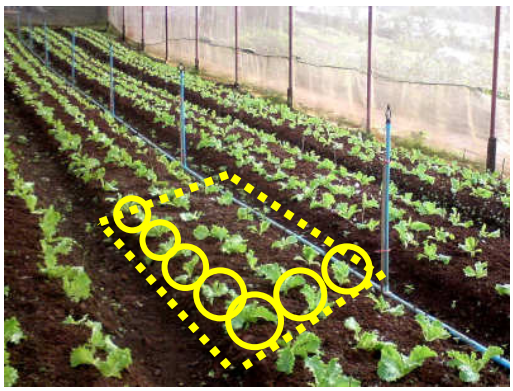
(ข)



(ค)

(ง)

(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 1 การเตรียมแปลงปลูกในแปลงที่ 1 (ก) และแปลงที่ 2 (ข) การเตรียมกล้าพืช (ค) ต้นกล้าอายุ 25 วันหลังเพาะเมล็ดพร้อมย้ายลงแปลงปลูก (ง) ประชากรผักกาดหอมห่อ ในแปลงที่ 1 (จ) และแปลงที่ 2 (ฉ)

การปลูก ทำโดยการขุดหลุมปลูกให้มีระยะห่างระหว่างต้นและระหว่างแถว เท่ากับ 35 x 35 เซนติเมตร ปลูกโดยการเพาะกล้าในกระบะเพาะก่อน เมื่อต้นกล้ามีอายุได้ 25-30 วันหรือมีใบจริง 3-4 ใบ จึงทำการย้ายกล้าลงปลูกในแปลงปลูก โดยเลือกเฉพาะต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์ไปปลูกในหลุมปลูกที่เตรียมไว้

2.3 การดูแลรักษา

ให้น้ำด้วยระบบสปริงเกอร์ เนื่องจากผักกาดหอมห่อเป็นพืชที่มีระบบรากตื้น จึงต้องให้น้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ โดยเฉพาะระยะแรกหลังย้ายปลูก มีการให้น้ำทุกวัน แต่ไม่แฉะเกินไป ส่วนระยะที่เริ่มห่อหัว ให้น้ำโดยรดรอบ ๆ โคนต้น เพราะน้ำจะเป็นสาเหตุให้เกิดโรคเน่าเละ (bacterial soft rot) ได้ การให้น้ำในระยะหลังนี้จะพิจารณาจากสภาพความชื้นของดินเป็นหลัก

การใส่ปุ๋ย มีการแบ่งใส่จำนวน 2 ครั้งในอัตราที่กำหนดตามตำรับการทดลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1: ใส่หลังจากการย้ายกล้าปลูกได้ 1 สัปดาห์

ตำรับที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่สูตร 15-15-15 อัตรา 168 กิโลกรัมต่อไร่ โดยผสมจากปุ๋ยยูเรีย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์

ตำรับที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีเท่ากับอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในตำรับที่ 1 แต่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

ตำรับที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแคลเซียม 11.2 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแคลเซียม 22.4 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแคลเซียม 33.6 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแมกนีเซียม 5.6 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับที่ 7 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแมกนีซียม 11.2 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับที่ 8 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแมกนีซียม 16.8 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับที่ 9 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแคลเซียมกับแมกนีเซียม 11.2 และ 5.6 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

ตำรับที่ 10 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแคลเซียมกับแมกนีเซียม 22.4 และ 11.2 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

ตำรับที่ 11 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราเช่นเดียวกับตำรับที่ 2 และเพิ่มปุ๋ยแคลเซียมกับแมกนีเซียม 33.6 และ 16.8 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2: หลังจากที่ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ประมาณ 1 สัปดาห์

ตำรับที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรสูตร 13-13-21 อัตรา 168 กิโลกรัมต่อไร่ โดยผสมจากปุ๋ยยูเรีย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์

ตำรับที่ 2-11 ใส่ปุ๋ยเคมีเท่ากับอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในตำรับที่ 1 แต่ไม่มีการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส

2.4. การเก็บเกี่ยว

เก็บเกี่ยวผักกาดหอมห่อที่อายุประมาณ 45-50 วันหลังย้ายกล้าไปปลูกในแปลง โดยพิจารณาจากการเจริญเติบโต การห่อหัว และความแน่นของปลี (ภาพที่ 2)

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

(ฉ)

ภาพที่ 2 ผักกาดหอมห่อหลังการย้ายกล้าปลูกได้ 1 สัปดาห์ ที่มีการใส่ปุ๋ยครั้งแรกของแปลงที่ 1 (ก) และแปลงที่ 2 (ข) ผักกาดหอมอายุปลูกหลังการย้ายกล้าปลูกได้ 2 สัปดาห์ ที่มีการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองของแปลงที่ 1 (ค) และแปลงที่ 2 (ง) และผักกาดหอมห่อที่ระยะเก็บเกี่ยว อายุ 6 สัปดาห์ในแปลงที่ 1 (จ) และแปลงที่ 2 (ฉ)

3. การเก็บตัวอย่างพืช

สุ่มเก็บผักกาดหอมห่อจากแปลงทดลองตามตำรับทดลองทั้ง 2 โรงเรือนทดลอง นำตัวอย่างพืชที่ได้ไปชั่งแล้วบันทึกน้ำหนักสดเพื่อเปรียบเทียบผลผลิตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกด้วยอัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันในแต่ละแปลง และนำตัวอย่างพืชไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 7 วัน ชั่งน้ำหนักสดก่อนอบ และน้ำหนักแห้งหลังอบของตัวอย่างพืชเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก และหาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มเติมธาตุอาหารแคลเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก

4. การวิเคราะห์พืช

การเตรียมตัวอย่างพืชสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสม และปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช โดยการนำตัวอย่างออกจากตู้อบปล่อยไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วบดจนละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช เก็บตัวอย่างพืชไว้ในถุงกระดาษขนาดเล็กเพื่อสะดวกในการนำตัวอย่างไปอบอีกครั้ง และนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในห้องปฏิบัติการ โดยบดตัวอย่างพืชที่อบแห้งแล้วด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชอีกครั้งหนึ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดังนี้

1) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) ย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วย H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture นำไปกลั่น แล้ววัดด้วยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965)

2) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) ย่อยสลายโดย H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture และวัดโดยวิธี vanado-molybdate yellow color (Jackson, 1958)

3) โพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium) ย่อยสลายโดย H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture แล้ววัดโดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Mill and Jones, 1996)

4) แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมด (Total calcium and magnesium) ย่อยสลายโดย HNO_3-H_2SO_4-$HClO_4$ acid mixture แล้ววัดโดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Mill and Jones, 1996)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์การตอบสนองของผลผลิตผักกาดหอมห่อต่อปริมาณปุ๋ยแคลเซียมและ/หรือแมกนีเซียมที่ใส่ลงไปโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเนื่องจากมีปริมาณตกค้างในดินอยู่สูง โดยเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเต็มสูตรที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้ และการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว

5.2 ประเมิน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองขึ้นไปสะสมยังต้นผักกาดหอมห่อที่ได้รับอิทธิพลจากการใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ปริมาณธาตุอาหารระดับที่เพียงพอในต้นพืชที่ได้มีการศึกษามาแล้ว

5.3 เปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเมื่อปลูกผักกาดหอมห่อภายใต้การใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน

สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

1. สถานที่ทำการทดลอง

1.1 งานทดลองในภาคสนาม ใช้โรงเรือนทดลองจำนวน 2 โรงเรือนของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

1.2 การวิเคราะห์ดินและพืชใช้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืชของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร วิทยาเขตบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

2. ระยะเวลาในการทำวิจัย

ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2551 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552

สภาพทั่วไปของบริเวณที่ทำการศึกษา

1. ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่

สถานที่ตั้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ อยู่ที่บ้านแม่แฮ หมู่ที่ 3 ตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ พิกัดแผนที่ E 451900 เมตร N 2077700 เมตร ชุด L7017 ระวาง 4746 IV มีพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมด 33 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในพื้นที่ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแม่วาง อำเภอแม่แจ่ม และอำเภอสะเมิง การเดินทางจากตัวเมืองเชียงใหม่สู่พื้นที่ใช้เส้นทางหลวงหมายเลข 108 สายเชียงใหม่-ฮอด ถึงอำเภอสันป่าตองเลี้ยวขวาบริเวณแยกบ้านกาดเข้าทางหลวงหมายเลข 1013 ถนนสันป่าตอง-แม่วาง ผ่านศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวงถึงศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ รวมระยะทางจากตัวเมืองเชียงใหม่ถึงศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮประมาณ 110 กิโลเมตร

หมู่บ้านแม่แฮและหมู่บ้านบริเวณใกล้เคียง ในเขตตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง และตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่บนพื้นที่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,200 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเนินเขาและภูเขาสลับซับซ้อน มีที่ราบแคบ ๆ ตามแนวเหนือ-ใต้ของห้วยแม่แฮและห้วยแม่เตียน พื้นที่ส่วนใหญ่มีความลาดชันประมาณร้อยละ 30 ประกอบด้วยลุ่มน้ำขนาดเล็ก 2 แห่ง คือ ลุ่มน้ำแม่แฮและลุ่มน้ำแม่เตียน ราษฎรที่อาศัยอยู่ส่วนใหญ่เป็นชาวไทยภูเขาเผ่ากะเหรี่ยง ม้ง และจีนฮ่อ ประกอบอาชีพทำนาและทำไร่เลื่อนลอย โดยปลูกข้าวไร่ ข้าวโพด และเลี้ยงสัตว์ตามธรรมชาติ แต่เดิมจะมีการอพยพเคลื่อนย้ายหาที่เพาะปลูกใหม่ เมื่อดินเริ่มเสื่อมความอุดมสมบูรณ์ โดยการบุกรุกเผาถางป่าไม้ทุกปี ชาวบ้านมีสภาพความเป็นอยู่ค่อนข้างยากจน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมูลนิธิโครงการหลวงได้เข้าไปดูแล จัดการให้มีพื้นที่ทำกินที่ถาวร และมีการเปลี่ยนระบบการปลูกพืช รวมไปถึงชนิดของพืชที่ปลูกด้วย ดังภาพที่ 3

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 3 สภาพทั่วไปของบริเวณที่ทำการศึกษา ที่ตั้งอยู่ภายในบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ (ก) แปลงทดลองที่ 1 ภายใต้สภาพโรงเรือนเปิด (ข) และแปลงทดลองที่ 2 ภายใต้สภาพโรงเรือนปิด (ค)

2. สภาพภูมิอากาศ

2.1 ปริมาณและการกระจายของน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในปี 2551 มีค่าเท่ากับ 1,370 มิลลิเมตร เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุด คือเดือนตุลาคม เท่ากับ 319 มิลลิเมตร ส่วนเดือนธันวาคม และเดือนมีนาคมไม่มีฝนตก

2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 2551 อยู่ที่ 20.6 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประมาณ 25.4 และ15.7 องศาเซลเซียสตามลำดับ เดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 29.4 องศาเซลเซียส และเดือนมกราคมมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 9.6 องศาเซลเซียส

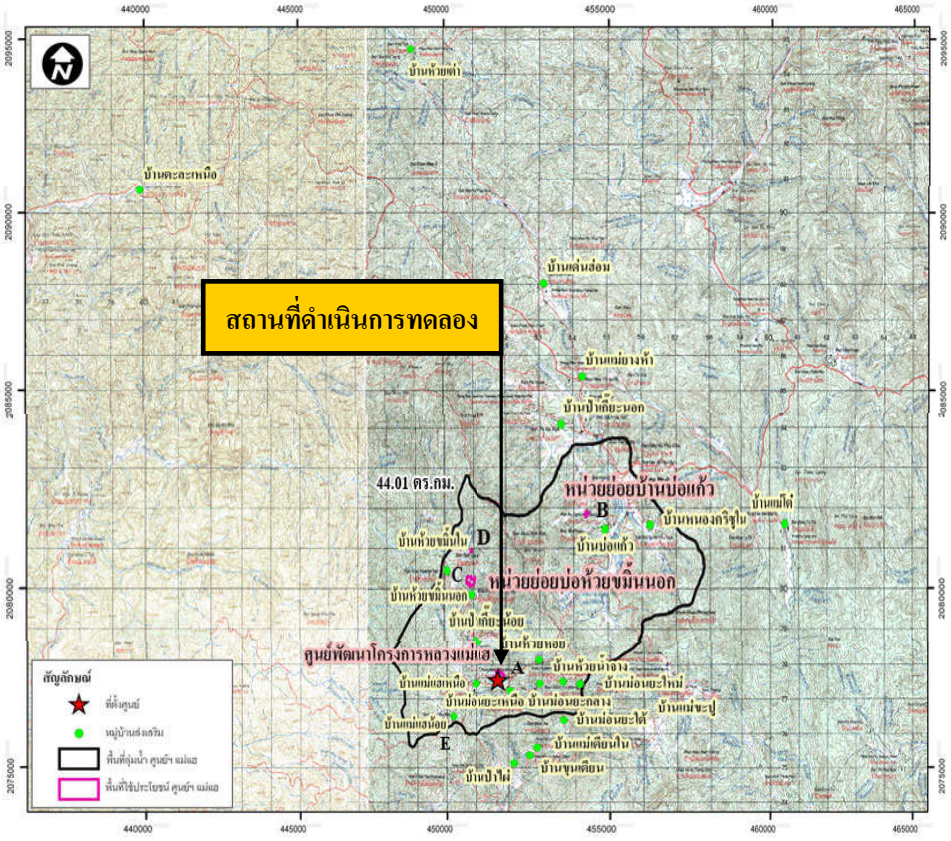
3. พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ดำเนินการส่งเสริมพัฒนาอาชีพด้านการเกษตร ด้วยการสนับสนุนพันธุ์พืชที่มีศักยภาพเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ และสนับสนุนปัจจัยการผลิตแก่กลุ่มเกษตรกร แบ่งเป็นพืชผักเมืองหนาว เช่น กะหล่ำปลีแดง ผักกาดหอมห่อ ซูกินี กระเทียมต้น หอมญี่ปุ่น พลาสเลย์ และผักกาดขาวปลี ไม้ผลเมืองหนาว เช่น สาลี่ พลับ พลัม และบ๊วย ไม้ดอกไม้ประดับ เช่น จิบโซฟิลลา เธอร์ลิฟ และเฟิร์นสี เป็นต้น (ภาพที่ 4)

ภาพที่ 4 พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดินของบริเวณที่ทำการศึกษา ที่ตั้งอยู่ภายในบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวง แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

ผลและวิจารณ์

การจัดการธาตุอาหารแคลเซียมและแมกนีเซียมสำหรับผักกาดหอมห่อที่ปลูกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่แม่แฮ จังหวัด เชียงใหม่ (ภาพที่ 5) เพื่อศึกษาชนิดและอัตราของธาตุอาหารรองที่เหมาะสมและหาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มเติมธาตุอาหารทั้งสองต่อการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น ๆ ได้ทำการทดลองจำนวน 2 แปลงทดลอง โดยตั้งอยู่ภายในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ โดยเริ่มปลูกในเวลาเดียวกัน ภายใต้สภาพโรงเรือนที่แตกต่างกันคือโรงเรือนเปิดและโรงเรือนปิดซึ่งมีการตกค้างของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในปริมาณที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการประกอบด้วย สภาพแวดล้อมและลักษณะทั่วไปของดิน สมบัติทางเคมีของดิน และการจัดการธาตุอาหารสำหรับผักกาดหอมห่อที่ปลูกอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 5 แผนที่แสดงที่ตั้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นสถานที่ดำเนินการทดลอง

1. สัณฐานวิทยาของดิน

สภาพพื้นที่ที่ทำการศึกษา แปลงที่ 1 เป็นโรงเรือนเปิด และแปลงที่ 2 เป็นโรงเรือนปิด ดินมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นวัสดุตกค้างจากหินไนส์ ดินมีสีน้ำตาลปนแดง ดินบริเวณที่ทำการศึกษาเป็นดินมีพัฒนาการดี มีการแสดงการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคขนาดเล็ก และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviation)ไปสะสมในดินชั้นล่าง ทำให้ดินตอนบนมีอนุภาคขนาดทรายเหลืออยู่มาก ส่วนชั้นดินล่างจะมีอนุภาคขนาดเล็กโดยเฉพาะดินเหนียวเพิ่มขึ้น เข้าเกณฑ์ของชั้นดินล่างวินิจฉัยอาร์จิลลิก (Buol *et al*., 2003; Soil Survey Staff, 1999)

ภาพที่ 6 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศของแปลงปลูกผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ภาพที่ 7 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศของแปลงปลูกผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

2. สมบัติทางเคมีของดิน

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยพิจารณาตามเกณฑ์การประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินตามตารางผนวกที่ 6 (เอิบ, 2548; Land Classification Division and FAO Protect Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993) ผลการศึกษามีดังนี้

2.1 ปฏิกิริยาดิน

ค่าพีเอชดินวัดโดยใช้ดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:1 พบว่า ชั้นดินบนมีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อยและเป็นกรดเพิ่มขึ้นในดินล่างเช่นเดียวกันทั้งสองแปลง โดยในแปลงที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัยสูงกว่าแปลงที่ 1 เล็กน้อย คือ แปลงที่ 1 ที่เป็นโรงเรือนเปิดมีค่า 6.3 และ 5.8 ในชั้นดินบนและชั้นดินล่างตามลำดับ ส่วนในแปลงที่ 2 ที่เป็นโรงเรือนปิดมีค่า 6.2 และ 5.7 ในชั้นดินบนและชั้นดินล่างตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงค่าวิเคราะห์ดินบริเวณที่ศึกษาก่อนปลูก

Depth (cm)	pH 1:1 H_2O	OM	Total N	Avail. P	Avail. K	Extractable bases			
						Ca	Mg	K	Na
		(------g kg^{-1}-----)		(------mg kg^{-1} ----)		(----------cmol (+) kg^{-1} ----------)			
แปลงที่ 1									
0-20	6.3	40.6	1.53	190.6	259.7	5.69	1.93	0.66	0.46
20-40	5.8	31.9	1.14	25.9	195.7	2.21	0.74	0.50	0.40
แปลงที่ 2									
0-20	6.2	38.7	2.21	559.4	1,782.9	8.90	2.55	4.56	0.45
20-40	5.7	28.7	1.23	40.4	243.4	2.97	0.72	0.62	0.52

การปรับปรุงธาตุอาหารพืชในดินโดยวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดอย่างต่อเนื่องยาวนานทำให้เกิดการตกค้างสะสมในพื้นที่ ส่งผลให้ค่าพีเอชดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง และการที่ค่าพีเอชดินในโรงเรือนปิด (แปลงที่ 2) มีแนวโน้มสูงกว่าในโรงเรือนเปิด เนื่องจาก โรงเรือนปิดได้ผ่านการใช้มานานกว่า ได้รับผลตกค้างจากการปรับปรุงบำรุงดิน รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีมากกว่า จึงทำให้ค่าวิเคราะห์ทางเคมีส่วนใหญ่สูงกว่าดินในแปลงที่ 1 ซึ่งเป็นโรงเรือนเปิดที่พึ่งก่อสร้างโรงเรือนที่มีหลังคาเป็นพลาสติกได้ไม่นาน (ประมาณ 5ปี)

2.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ทำการศึกษา พบว่า ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูงทั้งสองแปลง โดยแปลงที่ 1 มีค่าเท่ากับ 41 กรัมต่อกิโลกรัม และ 39 กรัมต่อกิโลกรัมในแปลงที่ 2 สำหรับชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงทั้งในในแปลงที่ 1 และ 2 โดยมีปริมาณเท่ากับ 32 และ 29 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยดินทั้งสองบริเวณมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินบนสูงกว่าในดินล่าง ทั้งนี้เนื่องจาก ชั้นดินบนเป็นชั้นที่ทับถมของเศษพืช ใบ ลำต้น ที่ปกคลุมอยู่บนผิวดินและรากพืช เมื่อสลายตัวจึงทำให้มีการสะสมอินทรียวัตถุในดินบน อีกทั้งการเตรียมแปลงปลูกแต่ละครั้งที่ผ่านมายังมีการใส่ปุ๋ยคอก เมื่อไถกลบจะสลายตัวตามธรรมชาติ ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุสะสมอยู่ในชั้นดินบนมากกว่าชั้นดินล่าง (Thompson and Troeh, 1978)

2.3 ปริมาณไนโตรเจนรวม

ปริมาณไนโตรเจนรวมของดินที่ทำการศึกษาทั้งสองแปลง จากผลการวิเคราะห์พบว่าในแปลงที่ 1 ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ มีปริมาณเท่ากับ 1.53 กรัมต่อกิโลกรัม และในโรงเรือนปิดซึ่งเป็นแปลงที่ 2 ชั้นดินบนพบอยู่ในระดับปานกลางคือเท่ากับ 2.21 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำเท่ากับ 1.14 กรัมต่อกิโลกรัมในโรงเรือนเปิดและ 1.23กรัมต่อกิโลกรัมในโรงเรือนปิด โดยชั้นดินบนของทั้ง 2 พื้นที่ที่ทำการศึกษามีปริมาณไนโตรเจนรวมสูงกว่าชั้นดินล่างและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก และปริมาณไนโตรเจนในโรงเรือนปิดมีค่าสูงกว่าโรงเรือนเปิด ซึ่งน่าจะเกิดจากสาเหตุเดียวกันกับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เนื่องจากอินทรียวัตถุเป็นแหล่งสำคัญแหล่งหนึ่งของไนโตรเจนในดิน (ไพบูลย์, 2528; Brady and Weil, 2008)

2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า ในชั้นดินบน (0-20 เซนติเมตร) ของแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่าเท่ากับ 190.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่าง (20-40 เซนติเมตร) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมีค่าเท่ากับ 25.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแปลงที่ 2 ที่เป็นโรงเรือนปิดก็พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงถึงสูงมากเช่นเดียวกัน สูงกว่าแปลงที่ 1 ที่เป็นโรงเรือนเปิดทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง โดยชั้นดินบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมากมีค่าเท่ากับ 559.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมีค่าเท่ากับ 40.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ทำการศึกษามีอยู่ในระดับที่สูงมากเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูงและต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นโรงเรือนที่มีการปลูกผักต่อเนื่องตลอดทั้งปี โดยปริมาณที่ใส่พืชปลูกไม่สามารถใช้ได้หมดจึงเหลือตกค้างอยู่ในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินทั้งสองแปลงเป็นดินสีแดงซึ่งมีเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์อยู่มาก (Soil Survey Division Staff, 1993) ทำให้ปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปถูกตรึงได้ง่าย โดยเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเหล็กและอะลูมีเนียมฟอสเฟต (Hsu, 1964; Tisdale and Nelson, 1975) แม้ว่าปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปในดินจะเปลี่ยนรูปหรือถูกตรึงอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ยาก แต่เป็นเพียงการสูญเสียความสามารถในการละลาย (solubility) เท่านั้น ซึ่งฟอสฟอรัสที่ถูกเปลี่ยนรูปหรือถูกตรึงนี้จึงอาจ

ถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ภายหลัง (Russell, 1973) ต่อมาเมื่อมีการจัดการปรับปรุงบำรุงดินโดยการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้กับดินอย่างสม่ำเสมอ โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยพืชสด โดยทั่วไปการใส่อินทรียวัตถุในดินไร่ช่วยลดการตรึงฟอสฟอรัสได้โดยไปเคลือบ Fe/Al oxide ป้องกันมิให้เกิดการตรึงฟอสฟอรัสได้โดยไปเคลือบ Fe/Al oxide (Havlin *et al*., 2005) หรือการใส่ปูนก็จะทำให้ค่าพีเอชของดินสูงขึ้น ทำให้ฟอสฟอรัสถูกเปลี่ยนรูปอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ในปริมาณสูง ประกอบกับการสร้างโรงเรือนครอบพื้นที่ทำให้อิทธิพลของการชะละลายเกิดได้น้อยมาก เช่นเดียวกับปัญหาการกร่อนดินจึงไม่ทำให้ฟอสฟอรัสสูญหายไปไหน เพราะโดยปกติแล้ว ดินในสภาพธรรมชาติมักมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สะสมอยู่ในระดับต่ำและลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากฟอสฟอรัสไม่ใช่ธาตุที่มีอยู่ในปริมาณมากในองค์ประกอบของหินต้นกำเนิด สำหรับการที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงในชั้นดินล่าง เพราะว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีความสัมพันธ์กันในทางตรงกันข้ามกับปริมาณดินเหนียวที่เพิ่มมากขึ้นตามความลึก ซึ่งจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง (Brady and Weil, 2008)

2.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ พบว่า ในชั้นดินบนและชั้นดินล่างของแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่าเท่ากับ 259.7 และ 195.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ส่วนแปลงที่ 2 ที่เป็นโรงเรือนปิดก็พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงมากเช่นเดียวกัน และสูงกว่าแปลงที่ 1 ที่เป็นโรงเรือนเปิดทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง โดยชั้นดินบนมีมีค่าเท่ากับ 1,782.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีปริมาณเท่ากับ 243.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การที่ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่มีค่าสูงในชั้นดินบน แล้วลดลงตามความลึกในชั้นดินล่างตอนบนอาจเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยและอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งโดยทั่วไปมีการสะสมอยู่ในดินบนมากกว่าดินล่าง เมื่อมีการย่อยสลายอินทรียสารจะมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์บางส่วนแก่ดิน (Brady and Weil, 2008)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินที่ทำการศึกษามีอยู่ในระดับที่สูงมาก เนื่องมาจากการจัดการดินและปุ๋ยในการเพาะปลูกที่ทำให้มีผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรใน

พื้นที่ และผลจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินไนส์ ซึ่งมีแร่ไมกาและโพแทชเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบสำคัญ เมื่อสลายตัว แร่เหล่านี้จะให้โพแทเซียมแก่ดิน (Sanchez *et al*., 1983) ประกอบกับการปลูกภายใต้สภาพโรงเรือนจึงทำให้มีการชะละลายต่ำและเกิดกระบวนการกร่อนดินได้น้อย ทำให้มีการสูญเสียธาตุโพแทสเซียมออกไปจากดินน้อยกว่าสภาพการทำการเกษตรนอกโรงเรือนโดยทั่วไป

2.6 ปริมาณเบสที่สกัดได้

ปริมาณเบสที่สกัดได้ประกอบด้วยโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ซึ่งปริมาณที่พบมีดังนี้

2.6.1 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ สอดคล้องกับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ซึ่งในชั้นดินบนของแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในระดับสูง (0.66 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในแปลงที่ 2 ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก (4.56 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) สำหรับในชั้นดินล่างมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเท่ากับ 0.50 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในแปลงที่ 1 และ อยู่ในระดับสูง 0.62 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในแปลงที่ 2 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในชั้นดินบนจะมีปริมาณสูงกว่าในชั้นดินล่างและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้เป็นเพียงส่วนหนึ่ง ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่เหลือส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Brady and Weil, 2008)

2.6.2 ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ของดินในแปลงที่ 1 ในชั้นดินบนอยู่ในระดับปานกลาง 5.69 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในระดับต่ำ 2.21 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในแปลงที่ 2 ชั้นดินบนมีปริมาณอยู่ในระดับปานกลาง 8.90 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำ 2.97 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ของดินในชั้นดินบนจะมีปริมาณสูงกว่าในชั้นดินล่าง เนื่องจากพื้นที่อยู่ในเขตร้อนชื้น จึงมี

กระบวนการชะละลายทำให้สูญเสียแคตไอออนเบสไปจากหน้าตัดดิน ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของดินที่มีพัฒนาการ (Thompson and Troeh, 1978; Sanchez *et al*., 1983)

โดยปกติแล้วดินที่มีวัสดุต้นกำเนิดดินที่เกิดจากหินไนส์มักมีธาตุแคลเซียมต่ำ เนื่องจากแร่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกลุ่มควอร์ตซ์กับเฟลด์สปาร์พวกออร์โทเคลสที่มีธาตุแคลเซียมต่ำ แต่อาจมีแพลจิโอเคลสซึ่งเป็นแร่ประเภทที่มีส่วนประกอบเป็นอนุกรมต่อเนื่องกันระหว่างโซเดียมและแคลเซียมอยู่ในโครงสร้างปะปนอยู่บ้าง (Allen *et al*., 1989; Buol *et al*., 2003)

การจัดการพื้นที่ทำการเกษตรโดยการใส่ปุ๋ยเคมีหรือเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน เมื่ออินทรียสารนี้เน่าเปื่อยลง จะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้นด้วย กรดเหล่านี้เมื่อเกิดขึ้นในดินก็จะมีผลทำให้ดินเป็นกรดด้วย ซึ่ง H^+ จากกรดเหล่านี้จะไปไล่ที่แคตไอออนที่เป็นด่าง และในที่สุดก็จะถูกชะละลายสูญหายไป (Thompson and Troeh, 1978) อีกทั้งภายใต้ภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จึงเป็นปัจจัยเร่งที่สำคัญที่ทำให้เกิดการชะละลายและนำพาเบสิกแคตไอออนออกไปจากพื้นที่ได้ง่าย ดังนั้นในกรณีนี้ที่พื้นที่มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่ในพิสัยปานกลางถึงต่ำ น่าจะเกิดจากการใส่ปูนขาวหรือวัสดุปรับปรุงดินเพื่อการปรับปรุงสมบัติบางประการของดิน จึงทำให้มีแคลเซียมเหลือตกค้างในระดับหนึ่ง (Tisdale and Nelson, 1975)

2.6.3 ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ของดินในแปลงที่ 1 ในชั้นดินบนอยู่ในระดับปานกลาง 1.93 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในระดับต่ำ 0.74 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในแปลงที่ 2 ชั้นดินบนมีปริมาณอยู่ในระดับปานกลาง 2.55 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำ 0.72 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ของดินในชั้นดินบนจะมีปริมาณสูงกว่าในชั้นดินล่างเช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้

เช่นเดียวกันกับธาตุแคลเซียม วัสดุต้นกำเนิดดินที่เกิดจากหินไนส์มักมีธาตุแมกนีเซียมต่ำ เนื่องจากแร่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกลุ่มควอตซ์กับเฟลด์สปาร์ที่มีธาตุแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบต่ำ (Buol *et al*., 2003) โดยธาตุแมกนีเซียมที่พบได้ตามธรรมชาติมักอยู่ในรูปของสารประกอบหินและแร่ซิลิเกตจำพวกออไจต์ ไบโอไทต์ ฮอร์นเบลนด์ คลอไรต์ โอลิ

วีน ทัลก์ และเซอร์เพนทีน แร่พวกคาร์บอเนตได้แก่ แมกนีไซต์และโดโลไมต์ (Allen *et al*., 1989) โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่มีเนื้อละเอียด ได้แก่แร่ดินเหนียวกลุ่มสเมกไทต์จำพวกมอนต์มอริลโอไนต์ ซึ่งพบได้น้อยในวัสดุต้นกำเนิดดินจากแปลงทดลองที่ทำการศึกษา

แต่จากผลการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ของดิน พบว่าอยู่ในพิสัยปานกลางถึงต่ำ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่พบอยู่นั้น รูปหนึ่งได้จากวัสดุปรับปรุงดินจำพวกโดโลไมต์ที่เกษตรกรนิยมใช้ และอาจเกิดจากการตกค้างและปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักที่สลายตัว (Havlin *et al*., 2005)

2.6.4 ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ ในชั้นดินบนและชั้นดินล่างของแปลงที่ 1 พบว่าอยู่ในระดับปานกลาง คือ 0.46 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในชั้นดินบน ซึ่งใกล้เคียงกับชั้นดินล่างที่มีค่าเท่ากับ 0.40 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ของแปลงที่ 2 โดยภาพรวมจะเห็นได้ว่าปริมาณโซเดียมที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน ในชั้นดินบนและชั้นดินล่างพบอยู่ในระดับปานกลาง คือ 0.45 และ 0.52 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ถึงแม้ว่าธาตุโซเดียมจะถูกดูดยึดกับอนุภาคดินเหนียวได้ แต่เป็นธาตุที่ถูกไล่ที่ได้ง่ายที่สุด เนื่องจากดูดยึดกับผิวของอนุภาคดินเหนียวด้วยแรงที่บางเบากว่าแคตไอออนชนิดอื่น ๆ (Jackson, 1958) และจากการที่ไอออนของธาตุมีขนาดเล็ก วาเลนซ์ต่ำ จึงมีอำนาจในการไล่ที่ต่ำกว่าแคตไอออนชนิดอื่น ๆ ประกอบกับเมื่อ Na^+ จับตัวกันกับ Cl^- ซึ่งพบมากในธรรมชาติ กลายเป็นสารประกอบเกลือคลอไรด์ จะละลายน้ำได้ง่าย เกิดการชะละลายและถูกพัดพาเคลื่อนย้ายออกไปจากพื้นที่ได้ง่าย ดังนั้นในสภาพดินทั่วไปที่ไม่ได้มีวัสดุต้นกำเนิดดินเป็นหินเกลือหรืออยู่แถบชายฝั่งทะเล จึงควรมีปริมาณโซเดียมที่พบได้ในดินอยู่ในพิสัยปานกลางถึงต่ำ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ พบว่าอยู่ในระดับปานกลางค่อนข้างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันในทั้งสองแปลงทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า ปริมาณโซเดียมที่พบอยู่นั้น ส่วนหนึ่งได้จากมูลไก่ที่เกษตรกรนิยมใส่ก่อนการเพาะปลูกเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

โดยปกติแล้วดินที่มีระดับของฟอสฟอรัสเกินกว่า 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีระดับของโพแทสเซียมเกินกว่า 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 6) จัดได้ว่าเป็นดินที่มีธาตุทั้งสองอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ตกค้างอยู่สูงมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในบริเวณแปลงที่ศึกษาอยู่ในระดับที่สูงมากทั้ง 2 แปลง แสดงให้เห็นว่า ดินในโรงเรือนทดลองที่มีการใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง และมีการใช้ปุ๋ยเคมีมาเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการสะสมธาตุทั้งสองในดินอยู่ในปริมาณที่สูงมาก การใส่ปุ๋ยเหล่านี้ในดินที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์อยู่สูงและมีค่าปฏิกิริยาดินค่อนข้างเป็นกรด จึงทำให้เกิดการสะสมของธาตุฟอสฟอรัสในดินอยู่ในปริมาณที่สูงมาก เนื่องจาก พืชที่ปลูกไม่สามารถดูดไปใช้ได้หมด ธาตุฟอสฟอรัสในส่วนที่ถูกตรึงก็จะเริ่มปลดปล่อยออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์เมื่อดินอยู่ในสภาพที่เหมาะสม ซึ่งอาจเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปูน ขณะที่แร่ไมกาที่เป็นองค์ประกอบของหินต้นกำเนิดดิน และ/หรือปุ๋ยโพแทสเซียมที่เกษตรกรใช้ในบริเวณแปลงที่ทำการศึกษาทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เหลือตกค้างมากเช่นกัน (นภาพร, 2551)

3. ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อ

ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับทดลองทั้งหมดของแปลงทดลองที่ 1 และ 2 ประกอบด้วยผลผลิตก่อนการตัดแต่งและหลังตัดแต่งแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยพื้นที่ 1 ไร่คำนวณจำนวนผักกาดหอมห่อได้ 11,200 ต้น

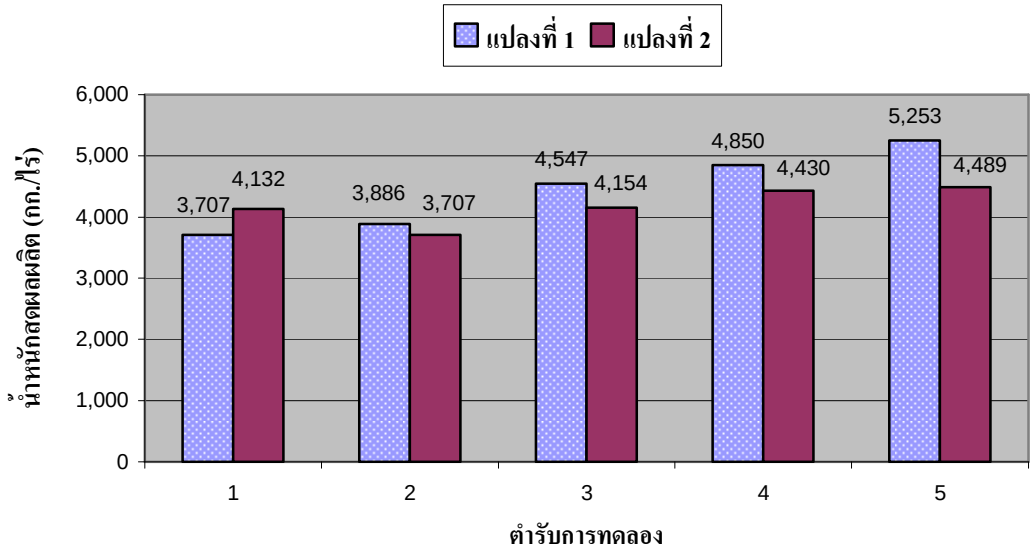
1) ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยไนโตรเจน

การเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อเมื่อมีการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว พบว่า ผลผลิตหลังการตัดแต่งของแปลงที่ 1 ในตำรับที่ 2 ที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวในอัตราเทียบเท่ากับที่ได้รับจากปุ๋ยสูตรที่เกษตรกรในมูลนิธิโครงการหลวงนิยมใช้ (102.3 กิโลกรัมต่อไร่) ให้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อใกล้เคียงกับตำรับที่ 1 ที่มีการใส่ปุ๋ยครบสูตรตามแบบที่เกษตรกรนิยมใช้ (102.3, 102.3 และ100.8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) คือ 3,886 และ 3,707 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ (ภาพที่ 8) เมื่อเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกันผลผลิตในแปลงที่ 2 ให้ผลแตกต่างกันคือในตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรให้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อเท่ากับ 4,132 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรียเพียงอย่างเดียวในตำรับที่ 2 ซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักสดเท่ากับ 3,707 กิโลกรัมต่อไร่ โดยการ

เปรียบระหว่าง 2 ตำรับนี้ทั้งสองแปลงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่ตกค้างอยู่ในดินมีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ

อย่างไรก็ตาม ผลผลิตน้ำหนักสดก่อนตัดแต่งของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวในแปลงที่ 1 มีแนวโน้มต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตรประมาณ 250 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางผนวกที่ 1) แต่เนื่องจากการใส่ปุ๋ยครบสูตรทำให้มีส่วนที่เป็นกาบนอกค่อนข้างมาก จึงทำให้มีการตัดแต่งในส่วนนี้ทิ้งไปมากถึง 809 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้น ผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งของตำรับที่ใส่เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนจึงมีปริมาณสูงกว่า ส่วนอัตราการรอดตาย พบว่า ตำรับที่ใส่แต่ปุ๋ยไนโตรเจนมีอัตราสูงกว่าเท่ากับร้อยละ 89 เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยครบสูตรที่มีอัตรารอดตายเท่ากับร้อยละ 78 แต่ว่าขนาดของหัวผักกาดหอมห่อหลังการตัดแต่งเฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มให้ได้หัวที่มีขนาดเล็กกว่าเท่ากับ 456 กรัมต่อหัว เปรียบเทียบกับ 484 กรัมต่อหัว (ปุ๋ยครบสูตร)

สำหรับแปลงที่ 2 พบว่า น้ำหนักสดผักกาดหอมห่อก่อนการตัดแต่งในตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรมีค่าเท่ากับ 7,259 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งสูงกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (6,307 กิโลกรัมต่อไร่) นอกจากนี้ส่วนของพืชที่ตัดแต่งทิ้งก็สูงมากด้วย โดยในตำรับแรกมีมากถึง 3,128 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับหลังมีเท่ากับ 2,600 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่อัตรารอดตายใกล้เคียงกันเท่ากับร้อยละ 87 และ 83 ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) ส่วนขนาดของหัวหลังการตัดแต่งเฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริง พบว่า การใส่ปุ๋ยครบสูตรได้หัวที่มีขนาดเท่ากับ 423 กรัมต่อต้นซึ่งใหญ่กว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (399 กรัมต่อต้น)



ภาพที่ 8 ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 และ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ตำรับที่ 1 และ 2) และการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 1-3 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 3-5)

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

2) ปุ๋ยแคลเซียม

การเปรียบเทียบผลของการใส่แคลเซียมต่อผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อหลังการตัดแต่งที่อัตรา 1-3 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 3-5 ตามลำดับ) โดยใส่ในรูปของแคลเซียมไนเทรต ($Ca(NO_3)_2$) โดยเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ตำรับที่ 2) กับการใส่ปุ๋ยครบสูตรในตำรับที่ 1 แสดงไว้ในภาพที่ 8 พบว่า ปริมาณปุ๋ยแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งของผักกาดหอมห่อของทั้งสองแปลงทดลองเพิ่มขึ้น โดยในแปลงที่ 1 ผลผลิตน้ำหนักสดเพิ่มจาก 3,886 กิโลกรัมต่อไร่ในตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียวเพิ่มเป็น 4,547, 4,850, และ 5,253 กิโลกรัมต่อไร่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมตามอัตราที่เพิ่มขึ้นข้างต้น ส่วนในแปลงที่ 2 มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน คือ ตำรับที่ 2 (ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว) ให้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อเท่ากับ 3,707 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วม ปรากฏว่าผลผลิตเพิ่มเป็น 4,154, 4,430 และ 4,489 กิโลกรัมต่อไร่ ตามปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 8)

และเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยครบสูตร พบว่า ในแปลงที่ 1 การใส่ปุ๋ยแคลเซียมทุกอัตรามีแนวโน้มผลทำให้ได้รับผลผลิตน้ำหนักสดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตร แต่ในแปลงที่ 2 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน แต่ปริมาณผลผลิตมีมากกว่าในตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าดินในแปลงที่ 2 มีปริมาณแคลเซียมมากกว่าดินในแปลงที่ 1 จึงทำให้การตอบสนองไม่ค่อยชัดเจน หรืออีกกรณีหนึ่ง เนื่องจากดินในแปลงที่ 2 มีผลตกค้างของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในระดับที่สูงกว่าแปลงที่ 1 มาก ซึ่งก็อาจมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลด้านการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น ๆ หรือพืชค่อนข้างที่จะแก่เร็วเนื่องจากอิทธิพลของฟอสฟอรัสจึงทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักสดไม่เพิ่มขึ้นมาก

น้ำหนักสดผักกาดหอมห่อก่อนการตัดแต่งให้ผลทำนองเดียวกับหลังการตัดแต่ง โดยพบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยแคลเซียมที่ใส่เพิ่มถึงแม้ว่าจะไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรและตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว โดยแนวโน้มการให้ผลผลิตก่อนการตัดแต่งมีค่าสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้นให้ผลผลิตเท่ากับ 5,815 กิโลกรัมต่อต้น (ตารางผนวกที่ 1) สำหรับน้ำหนักที่ตัดแต่งทิ้ง พบว่า การใช้ปุ๋ยแคลเซียมมีแนวโน้มทำให้ปริมาณของกาบนอกน้อยกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตร โดยน้ำหนักใบนอกที่ตัดแต่งทิ้งเรียงตามลำดับของปริมาณปุ๋ยแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 436, 626 และ 562 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะเดียวกัน อัตราการรอดตายของผักกาดหอมห่อในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมนี้ก็มีแนวโน้มสูงกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรและตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว โดยพบค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 89-97 เปรียบเทียบกับร้อยละ 78 ในตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตร ส่วนขนาดของหัวเฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริง พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่ตำรับที่ใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตราสูงสุด (3 กรัมต่อต้น) มีแนวโน้มให้หัวขนาดใหญ่ที่สุดหลังการตัดแต่ง เท่ากับ 623 กรัมต่อต้น เปรียบเทียบกับ 484 กรัมต่อต้นในตำรับทีใส่ปุ๋ยครบสูตร และ 456 กรัมต่อต้นในตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว

ผลผลิตน้ำหนักสดก่อนการตัดแต่งในแปลงที่ 2 พบว่า การใส่ปุ๋ยแคลเซียมมีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตก่อนการตัดแต่งใกล้เคียงกัน และต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตร และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณใบกาบที่ถูกตัดแต่ทิ้งต่ำกว่าในสองตำรับที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยแคลเซียมมาก โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 1,323-2,106 กิโลกรัมต่อไร่ จึงมีผลทำให้ผลผลิตหลังการตัดแต่งในตำรับที่ใส่ปุ๋ยแคลเซียมในอัตราต่าง ๆ มีแนวโน้มสูงกว่า (ตารางผนวกที่2) ขณะที่อัตราการรอดตายโดยภาพรวมแล้วก็สูงกว่าเช่นกัน (ร้อยละ 87-98) ส่วนขนาดของต้นผักกาดหอม

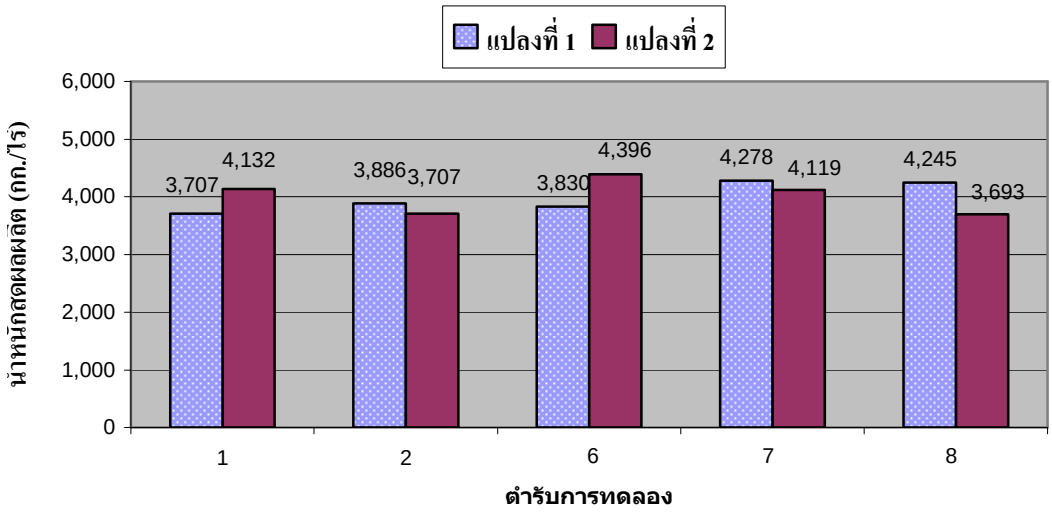
ห่อเฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริง พบว่า ตำรับที่ใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้นมีแนวโน้มให้ต้นที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่ากับ 454 กรัม

อย่างไรก็ตาม การที่ใส่ปุ๋ยแคลเซียมให้ผักกาดหอมห่อแล้วทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดมีแนวโน้มเพิ่มข้น เพราะว่า แคลเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นในกระบวนการแบ่งเซลล์ทั้งส่วนปลายยอดและราก รวมถึงเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ จึงเป็นการช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์ ป้องกันการย่อยสลายของผนังเซลล์และเนื้อเยื่อพืช (Gardiner and Miller, 2004) ถ้าพืชที่ได้รับแคลเซียมอัตราสูงและอยู่บริเวณที่มีความเข้มแสงสูงผนังเซลล์จะมี calcium pectate ในสัดส่วนที่มากเนื้อเยื่อพืชจึงมีความต้านทานต่อการเกิดโรคบางชนิด เช่น โรคปลายใบไหม้ (tip burn) ในผักกาดหอมห่อ (ยงยุทธ, 2546) นอกจากนี้ แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืช และพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ เนื่องจากพืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโทรพลาสซึมในระดับต่ำได้ (Hanson, 1984)

3) ปุ๋ยแมกนีเซียม

ผลของการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมต่อการให้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อหลังการตัดแต่ง พบว่า การใส่ปุ๋ยนี้ในรูปแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ที่อัตรา 0.5-1.5 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 6-8) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ 2 ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว พบว่า ในแปลงที่ 1 และ 2 ผลผลิตที่ได้รับเมื่อมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใส่ปุ๋ยนี้ในอัตราสูงในกรณีของแปลงที่ 1 ขณะที่ในแปลงที่ 2 ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตร การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมมีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงกว่าเล็กน้อย ยกเว้น ที่อัตรา 1.5 กรัมต่อต้นในแปลงที่ 2 ที่ให้ผลผลิตน้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวก็ให้ผลค่อนข้างคล้ายคลึงกัน เหตุผลที่พืชตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมไม่ค่อยชัดเจนนักเมื่อพิจารณาจากผลผลิตน้ำหนักสด น่าจะได้แก่ การที่ดินมีปริมาณแมกนีเซียมสะสมอยู่ในระดับปานกลางในดินบน (1.93 และ 2.55 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในแปลงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) ซึ่งอาจจะค่อนข้างพอเพียงต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ เนื่องจากเมื่อพิจารณาการสะสมธาตุแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในภายหลัง พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นอยู่ในพิกัดล่างของปริมาณที่พอเพียงต่อการเจริญเติบโตตามปกติ (Hochmuth *et al*., 1994)

การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมในอัตราสูงสุดเท่ากับ 1.5 กรัมต่อต้นมีแนวโน้มได้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อก่อนตัดแต่งสูงสุดเท่ากับ 5,377 กิโลกรัมต่อไร่ แต่การให้ปุ๋ยนี้ในอัตราที่น้อยลงปริมาณผลผลิตดังกล่าวจะน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรและตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว เป็นที่น่าสังเกตว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราสูงสุดดังกล่าวทำให้พืชมีกาบใบนอกจำนวนมาก มีผลทำให้น้ำหนักใบที่ตัดแต่งทิ้งสูงถึง 1,132 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางผนวกที่ 1) สำหรับอัตราการรอดตาย พบว่า มีค่าสูงกว่าในตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรทั้งสิ้น โดยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 83-94 อย่างไรก็ตาม ขนาดหัวเฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริงในตำรับที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตรา 1.5 กรัมต่อต้นมีแนวโน้มว่าจะมีขนาดใหญ่กว่าในตำรับอื่น ๆ



ภาพที่ 9 ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 และ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ตำรับที่ 1 และ 2) และการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 0.5-1.5 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 6-8)

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมต่อผลผลิตก่อนการตัดแต่งในแปลงที่ 2 พบว่า การใส่ปุ๋ยนี้ในอัตรา 0.5 กรัมต่อต้นมีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักสดก่อนการตัดแต่งสูงสุดเท่ากับ 7,965 กิโลกรัมต่อต้น ซึ่งก็คือต้นผักกาดหอมห่อเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ แต่ปรากฏว่า ปริมาณใบที่ถูกตัดแต่งทิ้งก็มีแนวโน้มสูงสุดเช่นเดียวกัน (3,569 กิโลกรัมต่อไร่) แสดงให้เห็นว่า พืชนี้ห่อหัวได้ไม่ดีทำให้มีใบกาบจำนวนมาก ดังนั้น ผลผลิตหลังการตัดแต่งจึงไม่สูงเท่าที่ควรจะเป็น ซึ่งยังสามารถสังเกตได้จากขนาดของหัวหลังการตัดแต่งเฉลี่ย

ต่อต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริง ซึ่งการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมโดยเฉพาะเมื่อมีการเพิ่มปริมาณในอัตราที่สูงขึ้น ต้นผักกาดหอมห่อจะมีขนาดเล็กลงโดยลดลงจาก 431, 385 เป็น 358 กรัมตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมมีผลทำให้พืชมีอัตรารอดตายค่อนข้างสูง (ร้อยละ 92-95)

อาจอธิบายได้ว่า เพราะธาตุแมกนีเซียมเป็นธาตุที่ค่อนข้างแปรปรวนและเคลื่อนที่ได้ดีมาก (Mengel and Kirkby, 1987) ทำหน้าที่ในพืชหลายอย่างแต่หน้าที่โดยตรงของธาตุแมกนีเซียมเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุล การดำเนินกิจกรรมและกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ให้เป็นไปอย่างปกติ (Devlin and Witham, 1983; Marcus, 1976) ดังนั้น บทบาทของธาตุอาหารนี้จึงไม่ได้มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักสดผลผลิตอย่างเห็นได้ชัดเจนมากนัก ยกเว้นในกรณีของพืชที่มีการสะสมแป้งและน้ำตาลในหัวหรือราก จะค่อนข้างมีความสัมพันธ์ชัดเจนในเรื่องของน้ำหนักสดผลผลิต เนื่องจากธาตุแมกนีเซียมมีบทบาทในการจัดแบ่งส่วนคาร์โบไฮเดรตในพืช (Fink, 1992) การขาดแมกนีเซียมทำให้ปริมาณแป้งในหัวมันฝรั่งและเมล็ดธัญพืชลดลงเนื่องจาก 1) การเคลื่อนย้ายจากแหล่งจ่ายมายังที่รับน้อยลงดังที่ได้กล่าวแล้ว และ 2) มีการสะสมฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ (Pi) มากขึ้นจึงทำให้การสังเคราะห์แป้งลดลง (Marschner, 1995)

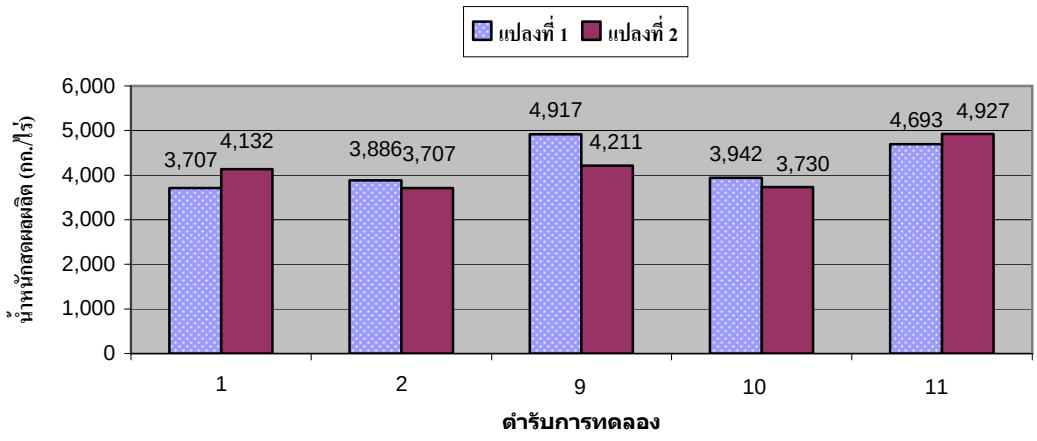
4) ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียม

ผลการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียมต่อผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อหลังการตัดแต่ง (ภาพที่ 10) พบว่า การใส่ปุ๋ยทั้งสองร่วมกันในอัตรา 1:0.5-3:1.5 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 9-11 ตามลำดับ) มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตร (ตำรับที่ 1) และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ตำรับที่ 2) แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราของปุ๋ยร่วมทั้งกลับพบว่าแนวโน้มการให้ผลผลิตน้ำหนักสดของทั้งสองแปลงทดลองค่อนข้างแปรปรวน โดยในแปลงที่การใส่ปุ๋ยทั้งสองในอัตราต่ำสุดมีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุดเท่ากับ 4,917 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่แปลงที่สอง การใส่ปุ๋ยร่วมระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมในอัตราสูงสุดกลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 4,927 กิโลกรัมต่อไร่

สำหรับการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียม ผลผลิตน้ำหนักสดก่อนการตัดแต่งค่อนข้างแปรปรวน แต่การใส่ปุ๋ยทั้งสองในอัตราสูงสุดมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตสูงกว่าในตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรและตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกัน ปริมาณใบที่ตัดแต่งทิ้งก็มี

ปริมาณค่อนข้างมาก (1,001 กิโลกรัมต่อไร่) (ตารางผนวกที่ 1) ส่วนอัตราการรอดตายมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณปุ๋ยทั้งสองที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการใส่ปุ๋ยทั้งสองในอัตรา 1:0.5 กรัมต่อต้น พืชรอดตายทั้งหมด และปรากฏว่า ขนาดของหัวผักกาดหอมห่อเฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริงมีแนวโน้มให้ขนาดใหญ่สุดเท่ากับ 643 กรัมต่อต้น (เปรียบเทียบกับตำรับทดลองทั้งหมด) เมื่อมีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมในอัตรา 1:0.5 กรัมต่อต้น

ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อก่อนการตัดแต่งในแปลงที่ 2 พบว่า มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ใส่เพิ่มขึ้น โดยลดลงจาก 6,268 เป็น 5,633 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งทั้งหมดมีปริมาณต่ำกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตร และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจาก การใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตรา 3:0.5 กรัมต่อต้นมีปริมาณใบกาบที่ตัดแต่งทิ้งน้อยมากเท่ากับ 706 กิโลกรัมต่อไร่ จึงมีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อหลังการตัดแต่งในแปลงนี้สูงสุดเท่ากับ 4,927 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่อัตรารอดตายก็ค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาจากภาพรวม (ร้อยละ 93) ส่วนขนาดของต้นผักกาดหอมห่อ พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 468 กรัมต่อต้นเมื่อใส่ปุ๋ยทั้งสองร่วมกันในอัตรา 3:0.5 กรัมต่อต้น แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตรานี้มีแนวโน้มทำให้ผักกาดหอมห่อมีการห่อหัวที่ดี



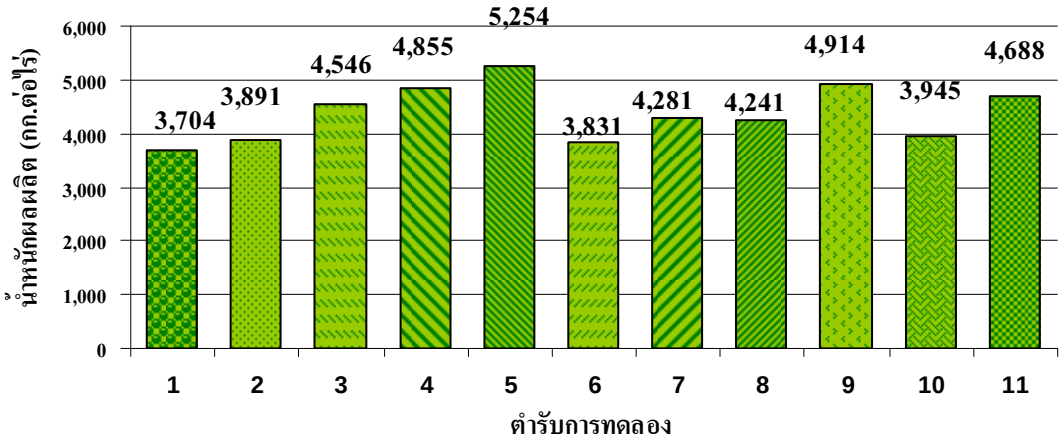
ภาพที่ 10 ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อแปลงที 1 และ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ตำรับที่ 1 และ 2) และการใส่ปุ๋ยครบสูตรกับปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1:0.5-3:1.5 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 9-11)

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

การที่ตำรับการทดลองที่มีการเพิ่มเติมธาตุปุ๋ยทั้งสองนี้ร่วมกันในอัตราที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตพืชที่ได้มีความแปรปรวนสูง อาจเนื่องมาจากธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นแคตไอออนที่มีอันตรกริยาร่วมกันในแง่ของการยับยั้งซึ่งกันและกัน (Mengel and Kirkby, 1987) ดังนั้นหากมุ่งเน้นเฉพาะการใส่ปุ๋ยในปริมาณมากเพียงอย่างเดียวโดยมิได้คำนึงถึงสมดุลของธาตุอาหารแล้ว ธาตุปุ๋ยซึ่งเป็นคู่แข่งขันกันนี้จะส่งผลให้ลดบทบาทของอีกธาตุอีกหนึ่ง โดยยับยั้งการดูด แทรกแซงการทำหน้าที่ หรือทำให้อีกธาตุหนึ่งกลายเป็นสารประกอบที่ไม่ละลาย หรือมีปรากฏการความเจือจางจนพืชขาดแคลนธาตุนั้นได้ (Bergmann, 1992)

ดังนั้นการพิจารณาผลการวิเคราะห์พืช นอกจากจะดูว่าแต่ละธาตุมีส่วนประกอบอยู่ในเกณฑ์ที่ถือว่าต่ำ เพียงพอ หรือสูงเกินไปแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนของธาตุอาหารบางคู่ด้วย หากทุกธาตุอยู่ในเกณฑ์เพียงพอก็แสดงว่าอัตราส่วนระหว่างธาตุก็พอเหมาะเช่นเดียวกัน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชยังพบว่ามีปริมาณธาตุอาหารทั้งสองนี้ต่ำกว่าเกณฑ์ของ Hochmuth (Hochmuth *et al*., 1994) ซึ่งอาจเป็นเพราะสาเหตุนี้เองที่ทำให้ผลผลิตผักกาดหอมห่อที่ได้มีความแปรปรวนสูง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างตำรับทดลองทั้งหมด จะเห็นได้ว่า การให้ผลผลิตของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 ของตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยครบสูตรหรือปุ๋ยที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้มีแนวโน้มให้ผลผลิตต่ำสุด (ภาพที่ 11) เนื่องจากดินมีการตกค้างของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงมาก ดังนั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนโดยไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจึงมีแนวโน้มการให้ผลผลิตสูงกว่า การใส่ปุ๋ยแคลเซียมค่อนข้างให้ผลทางบวกเมื่อพิจารณาจากผลผลิตที่เพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น สำหรับอิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียม และการใส่ปุ๋ยร่วมกันระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมต่อผลผลิตน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อมีความสัมพันธ์ไม่ค่อยชัดเจนเมื่อพิจารณาจากอัตราที่ให้ อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการให้ผลผลิตก็ยังดีกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตร

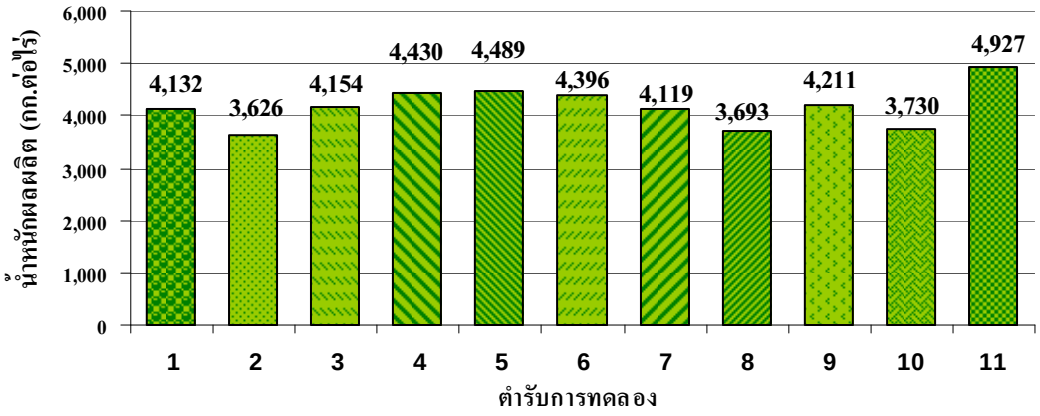


ภาพที่ 11 ผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ตามตำรับการทดลองทั้งหมด

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

สำหรับผลการทดลองในแปลงที่ 2 ความแตกต่างของผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันดังภาพที่ 12 การใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตราต่าง ๆ เช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมในอัตรา 3:0.5 กรัมต่อต้นมีแนวโน้มการให้ผลผลิตดีกว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยครบสูตร ส่วนการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตลดลงตามอัตราที่เพิ่มขึ้น และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวกับมีแนวโน้มการให้ผลผลิตต่ำสุด และเป็นที่น่าสังเกตว่า ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อก่อนการตัดแต่งในแปลงที่ 2 มีปริมาณสูงกว่าในแปลงที่ 1 ค่อนข้างมาก แต่ผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งไม่ได้สูงตามไปด้วย เนื่องจาก มีส่วนของใบกาบที่ถูกตัดแต่งทิ้งเป็นจำนวนมาก แสดงว่าผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 2 มีการห่อหัวไม่ดีถึงแม้ว่าขนาดของต้นจะใหญ่กว่ามาก ทั้งนี้น่าจะเกิดจากสาเหตุ 2 ประการคือ 1) ปริมาณของแสงแดดในแปลงที่ 2 ที่มีน้อยกว่า และ 2) การที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูงกว่าในแปลงที่ 1 ค่อนข้างมาก ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่พืชจะแก่เร็วทำให้การห่อหัวไม่สามารถเกิดขึ้นได้โดยสมบูรณ์ ซึ่งยังสามารถพิจารณาได้จากน้ำหนักหัวผักกาดหอมห่อหลังการตัดแต่งเฉลี่ยต่อต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริงซึ่งมีขนาดเล็กกว่าในแปลงที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบในตำรับการทดลองเดียวกัน ดังนั้น ในกรณีของดินที่ผลตกค้างของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในปริมาณที่มากกว่า การแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มผลผลิต

พืชโดยการจัดการปุ๋ยอาจจะยากกว่า ซึ่งควรที่จะมีการศึกษาต่อไปเพื่อให้ได้ผลที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 12 ผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ตามตำรับการทดลองทั้งหมด

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

4. ปริมาณการสะสมธาตุอาหารในผักกาดหอมห่อ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อที่เก็บเกี่ยวจากตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 โดยปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดจะนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความเข้มข้นของธาตุอาหารของ Hochmuth *et al*. (1994) ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3 และเกณฑ์ของ Reuter *et al*. (1997) ซึ่งทั้งสองเกณฑ์มีความแตกต่างกันพอสมควร โดยในเกณฑ์แรกจะใช้ปริมาณการสะสมต่ำกว่าในเกณฑ์หลังเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในกรณีของโพแทสเซียมที่พบว่า Hochmuth *et al*. (1994) ใช้เกณฑ์การสะสมในระยะพร้อมเก็บเกี่ยวที่มีพิสัยอยู่ระหว่าง 25-50 กรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ Reuter *et al*. (1997) ใช้พิสัย 70-106 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์แรกมาก

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมห่อ (cripshead lettuce) ในระยะต่าง ๆ

ส่วนของพืช	ระยะเวลาใน	ปริมาณธาตุอาหาร (กรัมต่อกิโลกรัม)				
ที่วิเคราะห์	การเก็บตัวอย่าง	N	P	K	Ca	Mg
ใบเจริญเต็มที่	มีใบที่ 8	4.0-5.0	4.0-6.0	50.0-70.0	10.0-20.0	3.0-5.0
ใบเริ่มห่อหัว	เริ่มห่อหัว	25.0-40.0	4.0-6.0	45.0-80.0	14.0-20.0	3.0-7.0
ใบห่อหัว	ห่อหัวสมบูรณ์	20.0-30.0	2.5-5.0	25.0-50.0	14.0-20.0	3.0-7.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hochmuth *et al.*, 1994

4.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ในการทดลองนี้ การใส่ปุ๋ย ปริมาณการสะสมในโตรเจนในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อ ในแปลงที่ 1 และ 2 ในทุกตำรับการทดลอง มีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ของ Hochmuth *et al.* (1994) แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้มีแนวโน้มเพียงพอต่อความต้องการของพืช ทั้งในตำรับที่ใช้ปุ๋ยครบสูตรในอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่คือตำรับที่ 1 (102.3, 102.3 และ100.8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) มีการสะสมธาตุไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 27.9 และ 33.8 กรัมต่อกิโลกรัมในโรงเรือนที่ 1 และโรงเรือนที่ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 5 และ 6) ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบค่าทางสถิติปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับอื่นๆ (ตำรับที่ 2-11) ที่ใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวและ/หรือ ร่วมกับการเพิ่มเติมธาตุอาหารรอง

เมื่อพิจารณาการดูดใช้ไนโตรเจนขึ้นไปสะสมเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และ 2 พบว่าผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 มีการดูดใช้ไนโตรเจนขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินสูงกว่าผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 2 ในทุกตำรับการทดลอง มีค่าสูงกว่าในแปลงที่ 1 ในทุกตำรับการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนรวมที่สะสมอยู่ในดินก่อนปลูกของแปลงที่ 2 ที่มีค่าสูงกว่าในแปลงที่ 1 (ตารางที่ 2) จึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณการสะสมธาตุไนโตรเจนในผักกาดหอมห่อแตกต่างกันทั้ง 2 โรงเรือน อย่างไรก็ตาม ปริมาณการสะสมไนโตรเจนในเนื่อพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลองของทั้งสองแปลง โดยในแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในพิสัย 23.2-29.7 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในแปลงที่ 2 ปริมาณการสะสมของธาตุนี้มีค่าอยู่ในพิสัย 30.9-35.5 กรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4 ระดับความเข้มของธาตุอาหารหลักและรองที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อ

ชนิดของธาตุอาหาร	ระยะการเจริญเติบโต	ระดับความเข้มข้น (กรัมต่อกิโลกรัม)	
		ระดับวิกฤต	ระดับที่พอเพียง
N	อายุ 20 วัน	49.0	52.0
	ระยะเข้าหัว	40.0	41.0-45.0
	ระยะพร้อมเก็บเกี่ยว	33.0-40.0	35.0-45.0
P	อายุ 20 วัน	-	4.4-7.6
	ระยะเข้าหัว	3.0	5.0-6.0
	ระยะพร้อมเก็บเกี่ยว	4.0	5.0-7.0
K	อายุ 20 วัน	-	74.0-105.0
	ระยะเข้าหัว	-	75.0-104.0
	ระยะพร้อมเก็บเกี่ยว	-	70.0-106.0
Ca	อายุ 20 วัน	-	6.8-17.0
	ระยะเข้าหัว	13.0	14.0-15.0
	ระยะพร้อมเก็บเกี่ยว	-	14.9-18.6
Mg	อายุ 20 วัน	-	3.2-3.9
	ระยะเข้าหัว	-	3.0-7.0
	ระยะพร้อมเก็บเกี่ยว	-	3.5-7.1

ที่มา: ดัดแปลงจาก Reuter *et al*., 1997

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อกับผลผลิตที่ได้รับในแต่ละตำรับการทดลองทั้งภายในแปลงเดียวกันและเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน เช่นเดียวกับปุ๋ยที่ใส่เพิ่มเติมก็ไม่มีความสัมพันธ์กับการสะสมไนโตรเจนในเนื้อเยื่อพืช โดยในแปลงที่ 1 ตำรับที่ 1 ที่มีการใส่ปุ๋ยครบสูตร พืชมีแนวโน้มของการสะสมไนโตรเจนสูงเป็นอันดับสามจากตำรับการทดลองทั้งหมด (27.9 กรัมต่อกิโลกรัม) กลับให้ผลผลิตน้ำหนักสดต่ำสุด เท่ากับ 3,704 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ ตำรับที่ 5 ที่ใส่ปุ๋ยแคลเซียมเพิ่มในอัตรา 3 กรัมต่อต้นได้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุด เท่ากับ 5,254 กิโลกรัมต่อไร่ กลับมีปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อเพียง 26.8 กรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับแปลงทดลองที่ 2 ตำรับที่ 5

เช่นเดียวกัน พืชมีแนวโน้มดูดใช้ไนโตรเจนขึ้นไปการสะสมยังส่วนเหนือดินสูงสุดเท่ากับ 35.5 กรัมต่อกิโลกรัม ก็ไม่ได้ให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงที่สุดเช่นกัน ขณะที่ ตำรับที่ 6 ที่ให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูง 4,396 กิโลกรัมต่อไร่ กลับมีปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อต่ำสุดเพียง 30.9 กรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ตัวอย่างพืช	ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในพืช (กรัมต่อกิโลกรัม)[1/]				
	N	P	K	Ca	Mg
ตำรับที่ 1	27.9	3.6	58.5	11.1	2.5
ตำรับที่ 2	28.3	3.0	45.2	8.7	3.1
ตำรับที่ 3	24.9	3.2	47.2	9.0	3.1
ตำรับที่ 4	27.3	3.3	47.9	9.2	2.7
ตำรับที่ 5	26.8	3.2	45.7	8.8	3.0
ตำรับที่ 6	27.5	3.2	42.3	8.1	2.8
ตำรับที่ 7	24.9	2.9	44.4	8.5	3.2
ตำรับที่ 8	25.9	3.0	44.5	8.2	3.2
ตำรับที่ 9	29.7	2.8	47.0	9.0	3.4
ตำรับที่ 10	23.2	2.8	52.3	6.7	3.2
ตำรับที่ 11	25.7	3.0	49.9	9.6	3.2
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	14.8	13.2	13.9	14.9	14.2

ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในพืชในระยะห่อหัวสมบูรณ์ตามเกณฑ์ของ Hochmuth *et al*. (1994) ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 20.0-30.0 กรัมต่อกิโลกรัม จึงจะแสดงว่า ผักกาดหอมห่อมีการเจริญเติบโตได้ตามปกติ ขณะที่เกณฑ์ของ Reuter *et al.* (1997) จะใช้เกณฑ์ที่สูงกว่า โดยมีพิสัยระหว่าง 35.0-45.0 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งเป็นระดับที่พอเพียง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการสะสมไนโตรเจนที่ได้จากการรวบรวมของ Hochmuth *et al*. (1994) ข้างต้น จะพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืชที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 1 ให้ค่าอยู่ในพิสัยที่แสดงว่าพืชสามารถดูดใช้ได้อย่างเพียงพอ และมากกว่าเกณฑ์

ดังกล่าวในกรณีของแปลงที่ 2 แต่เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ของ Reuter *et al.* (1997) จะพบว่า ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในผักกาดหอมห่อของทั้งสองแปลงทดลองมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ดังกล่าว แต่เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อที่ได้รับ อาจกล่าวได้ว่า เกณฑ์ของ Reuter *et al.* (1997) ค่อนข้างสูงเกินไป เนื่องจาก ถึงแม้ว่าผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 2 จะมีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนขึ้นไปสะสมมากกว่าผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 1 เฉลี่ยประมาณ 5 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ผลผลิตที่ได้รับกลับไม่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาจากภาพรวม และเมื่อเลือกตำรับที่มีแนวโน้มการให้ผลผลิตสูงสุดของทั้งสองแปลงซึ่งได้แก่ ตำรับที่ 5 ของแปลงที่ 1 ที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมเพิ่มในอัตรา 3 กรัมต่อต้น ให้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อ 5,254 กิโลกรัมต่อไร่ และในตำรับที่ 11 ของแปลงที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมอัตรา 3:1.5 กรัมต่อต้นให้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อเท่ากับ 4,927 กิโลกรัมต่อไร่ พืชมีการสะสมไนโตรเจนในเนื้อเยื่อเท่ากับ 26.8 และ 33.9 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังนั้น เกณฑ์ปริมาณการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดที่น่าจะพอเพียงสำหรับการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อจึงน่าจะอยู่ในพิสัย 26.8-33.9 กรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

ตัวอย่างพืช	ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในพืช (กรัมต่อกิโลกรัม)[1/]				
	N	P	K	Ca	Mg
ตำรับที่ 1	33.8	6.1	60.6	7.1	2.6
ตำรับที่ 2	34.5	6.6	57.9	8.3	3.1
ตำรับที่ 3	31.9	5.6	59.7	7.6	2.8
ตำรับที่ 4	32.1	5.9	54.8	6.9	2.6
ตำรับที่ 5	35.5	5.3	51.0	9.3	2.9
ตำรับที่ 6	30.9	5.9	61.8	9.7	3.4
ตำรับที่ 7	34.2	5.9	59.1	8.2	3.4
ตำรับที่ 8	34.4	6.1	58.6	9.0	3.6
ตำรับที่ 9	34.7	5.6	45.7	8.2	3.3
ตำรับที่ 10	33.3	6.3	52.1	8.5	3.4
ตำรับที่ 11	33.9	5.3	56.0	8.9	3.3
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	8.5	14.0	23.4	23.9	15.9

อย่างไรก็ตามค่านี้อาจจะผันแปรได้อีกขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสมบัติของดิน เนื่องจาก ผลการศึกษาของนภาพร (2551) ที่เก็บเกี่ยวผักกาดหอมห่อในช่วงปลายฤดูฝน พบว่า ปริมาณการสะสมไนโตรเจนในเนื้อเยื่อพืชอยู่ในพิสัย 35.8-54.1 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งมีค่าสูงกว่าในการศึกษานี้ แต่การให้ผลผลิตน้ำหนักสดกลับต่ำกว่ามาก (1,562-2,118 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งเป็นการยืนยันว่า การสะสมปริมาณไนโตรเจนที่แท้จริงควรอยู่ในช่วงข้างต้น หรือการใช้เกณฑ์ของ Hochmuth *et al.* (1994) อาจจะเหมาะสมกว่า

4.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 (ตารางที่ 5) พบว่า ตำรับที่ 1 ที่มีการใช้ปุ๋ยครบสูตรตามอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ มีแนวโน้มของการสะสมธาตุฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อสูงสุดเท่ากับ 3.6 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนตำรับอื่น ๆ ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเลย ได้แก่ตำรับที่ 2-11 สังเกตได้ว่ามีปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชรองลงมาจากตำรับที่ 1 ที่มีการใส่ปุ๋ยครบสูตร และมีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกันมาก (2.8-3.3 กรัมต่อกิโลกรัม) จนไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง

ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 2 (ตารางที่ 6) พบว่า ตำรับที่ 2 ที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว พืชมีแนวโน้มการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชสูงสุดเท่ากับ 6.6 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตำรับที่ 1 ที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้ และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมในอัตรา 1.5 กรัมต่อต้น ซึ่งมีปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินเท่ากับ 6.1 กรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ปริมาณความเข้มข้นดังกล่าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากตำรับอื่น ๆ ที่มีค่าการสะสมธาตุนี้อยู่ในพิสัย 5.3-6.6 กรัมต่อกิโลกรัมโดยจะสังวงเกตได้ว่า การดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 2 มีค่าสูงกว่าผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 1 ประมาณ 2-3 กรัมต่อกิโลกรัมในทุกตำรับการทดลอง ทั้งนี้น่าจะมีเหตุผลมาจากปริมาณการตกค้างของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในแปลงที่ 2 สูงกว่าในแปลงที่ 1 มาก คือ 559.4 และ 190.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินบนและ 25.9 และ 40.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในดินล่างตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในผักกาดหอมห่อที่ระยะพร้อมเก็บเกี่ยวตามเกณฑ์ของ Hochmuth *et al*. (1994) ควรมีปริมาณอยู่ในพิสัย 2.5-5.0 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3) ส่วนเกณฑ์ของ Reuter *et al*. (1997) ควรมีปริมาณการสะสมอยู่ในพิสัย 5.0-7.0 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งปรากฏว่า ในกรณีของแปลงที่ 1 ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสอยู่ในระดับที่เหมาะสม ขณะที่แปลงที่ 2 พืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมได้มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดย Hochmuth *et al*. (1994) อย่างไรก็ตาม หากใช้เกณฑ์ที่ได้จากการรวบรวมของ Reuter *et al*. (1997) พบว่า ในแปลงที่หนึ่งพืชดูดใช้ฟอสฟอรัสไม่เพียงเนื่องจากปริมาณการสะสมน้อยกว่าเกณฑ์ข้างต้น ขณะที่แปลงที่ 2 ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในทุกตำรับการทดลองแสดงให้เห็นว่าพืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมได้ในระดับที่เพียงพอ

สำหรับอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมตามตำรับการทดลอง พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันกับการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดิน แต่มีแนวโน้มว่า การใส่ปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มเติม (ตำรับที่ 3-11) อาจช่วยลดปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสโดยผักกาดหอมห่อขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินลดลง และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้รับ พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินเช่นกันเช่นกัน โดยพบว่า ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุดเท่ากับ 5,254 กิโลกรัมต่อไร่ที่ได้จากตำรับที่ 5 ในแปลงที่ 1 ที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้น มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในส่วนเหนือดินเท่ากับ 3.2 กรัมต่อกิโลกรัม และในแปลงที่ 2 ตำรับที่ 11 ที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมในอัตรา 3:1.5 กรัมต่อต้นซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุดเท่ากับ 4,927 กิโลกรัมต่อไร่ มีการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อเท่ากับ 5.3 กรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้น การใช้เกณฑ์ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อที่พอเพียงของ Hochmuth *et al*. (1994) น่าจะเหมาะสมกว่า และจากผลการศึกษานี้ ระดับการดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในระยะพร้อมเก็บเกี่ยวน่าจะอยู่ในพิสัย 3.2-5.3 กรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ ดินที่มีการสะสมฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงมากดังเช่นที่พบในทั้งสองแปลงทดลอง เช่นเดียวกับการศึกษาของศศิษา (2550) และนภาพร (2551) ที่ให้ผลในทำนองเดียวกัน ดังนั้น การปลูกผักกาดหอมห่อไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสแต่อย่างใด

อันตรกิริยาระหว่างฟอสฟอรัสกับสังกะสีอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ฟอสฟอรัสเป็นพิษต่อพืชอีกด้วย กล่าวคือ ในขณะพืชมีภาวะขาดสังกะสีหากได้รับปุ๋ยฟอสเฟตอัตราสูง พืชจะดูดฟอสฟอรัสเข้าไปสะสมมากจนเป็นพิษและแสดงอาการผิดปกติ คือ เนื้อเยื่อของใบแก่ตายเป็น

หย่อม ๆ อาการเช่นนี้เนื่องมาจากขณะนั้นสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อสังกะสีกว้างมาก ในพืชทั่วไปหากใบพืชมีฟอสฟอรัสมากกว่าร้อยละ 2 ก็อาจแสดงอาการเป็นพิษได้ (ยงยุทธ, 2546)

4.3 โพแทสเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 (ตารางที่ 5) พบว่า ตำรับที่ 1 ที่มีการใช้ปุ๋ยครบสูตรตามอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (มีแนวโน้มการสะสมธาตุโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อสูงสุดเท่ากับ 58.5 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ ที่ไม่ได้มีการเพิ่มเติมธาตุอาหารโพแทสเซียมลงไปแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด โดยในตำรับการทดลองที่ 6 ที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมในอัตรา 0.5 กรัม มีแนวโน้มทำให้พืชมีการสะสมโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อต่ำที่สุดคือ 42.3 กิโลกรัมต่อไร่

ปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2 (ตารางที่ 6) พบว่า ตำรับที่ 6 ที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มในอัตรา 0.5 กรัมต่อต้น มีการดูดธาตุนี้ขึ้นไปสะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อสูงที่สุดคือ 61.8 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตำรับที่ 1 ที่มีการใช้ปุ๋ยครบสูตร ที่แนวโน้มว่าพืชสามารถดูดโพแทสเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินสูงเป็นอันดับที่สองเท่ากับ 60.6 กรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ค่าสูงสุดทั้งสองค่าไม่ได้แตกต่างทางสถิติกับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชของตำรับอื่น ๆ โดยภาพรวมแล้ว ในแปลงนี้มีปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในเนื้อเยื่ออยู่ในพิสัย 45.7-61.8 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีพิสัยที่สูงกว่าในแปลงที่ 1 (42.3-58.5 กรัมต่อกิโลกรัม) เนื่องจากดินในแปลงที่ 2 มีการตกค้างของธาตุนี้ในปริมาณที่สูงกว่ามาก และเป็นที่น่าสังเกตว่า ในแปลงที่ 1 ซึ่งดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ตกค้างน้อยกว่า (259.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติมดังในตำรับที่ 1 มีแนวโน้มทำให้พืชมีการดูดใช้โพแทสเซียมขึ้นไปสะสมในส่วนเหนือดินมากกว่าตำรับที่เหลือที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติม ขณะที่แปลงที่ 2 ซึ่งดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ตกค้างอยู่ในดินบนมากกว่า (1,782.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งเกิดการที่เกษตรกรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่สูงเกินกว่าที่พืชจะใช้ได้หมด ภายใต้สภาพโรงเรือนที่อัตราการชะละลายต่ำประกอบกับโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยออกจากการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินไนส์ ซึ่งมีแร่ไมกาเป็นองค์ประกอบสำคัญ ที่สลายตัวให้โพแทสเซียมแก่ดิน (Sanchez *et al*., 1983) และอาจรวมไปถึงแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ทำให้มีผลตกค้างของธาตุ

นี้ในดินในปริมาณที่สูงมาก ก็ยังแสดงผลในทำนองเดียวกันแต่ไม่ชัดเจนเท่า เนื่องจากตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเลยก็มีการดูดใช้ธาตุนี้ขึ้นไปสะสมในปริมาณมากขึ้นเช่นกัน

ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อที่ระยะพร้อมเก็บเกี่ยวตามเกณฑ์ของ Hochmuth *et al*. (1994) ควรมีปริมาณอยู่ในพิสัย 25-50 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3) และเกณฑ์ของ Reuter *et al*. (1997) ได้กำหนดพิสัยที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติสูงกว่า คืออยู่ในช่วง 70-106 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งปรากฏว่าปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อที่ระยะห่อหัวสมบูรณ์ในการทดลองนี้ในแปลงที่ 1 พบค่าอยู่ในเกณฑ์แรกทั้งหมด ยกเว้น ตำรับที่ 1 ของแปลงดังกล่าว และทุกตำรับการทดลองในแปลงที่ 2 (ยกเว้นตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมอัตรา 1:0.5 กรัมต่อต้น) ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ แสดงว่า เมื่อดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ตกค้างอยู่ตั้งแต่ 259.7-1,782.9 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์จากการทดลองนี้ ร่วมกับผลการศึกษาของศพิษา (2550) และนภาพร (2551) ที่ศึกษาการปลูกผักกาดหอมห่อบนดินที่มีโพแทสเซียมตกค้างอยู่สูง ซึ่งพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม ผักกาดหอมห่อยังคงดูดใช้โพแทสเซียมจากดินขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินในระดับที่เพียงพอตามเกณฑ์เดียวกัน ดังนั้น การปลูกผักกาดหอมห่อภายใต้สภาพโรงเรือนไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมแต่อย่างใด

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักสดกับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดิน พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้นซึ่งมีแนวโน้มการให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 5,253 กิโลกรัมต่อไร่ในแปลงที่ 1 และตำรับที่ 11 ที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมในอัตรา 3:1.5 กรัมต่อต้นซึ่งให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 4,927 กิโลกรัมต่อไร่ในแปลงที่ 2 มีปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินเท่ากับ 45.7 และ 56.0 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าตำรับอื่น ๆ บางตำรับที่ให้ผลผลิตน้ำหนักสดต่ำกว่า ดังนั้น เกณฑ์ที่รวบรวมโดย Reuter *et al*. (1997) อาจจะสูงไปเมื่อพิจารณาจากผลการศึกษานี้ ดังนั้น เกณฑ์ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดินซึ่งเพียงต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่น่าจะเหมาะสมสำหรับการปลูกพืชนี้ในพื้นที่จึงควรใช้พิสัย 45.7-56.0 กรัมต่อกิโลกรัม

4.4 แคลเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมแคลเซียมในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 (ตารางที่ 5 และ 6) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลอง ความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2 มีพิสัยใกลเคียงกัน คือ 6.7-11.1 และ 6.9-9.7 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งพิสัยดังกล่าวค่อนข้างต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดย Hochmuth *et al*. (1994) (ตารางที่ 3) และ Reuter *et al*. (1997) (ตารางที่ 4) ที่ระบุว่าปริมาณสะสมระยะผักกาดหอมห่อมีการห่อหัวสมบูรณ์ที่แสดงว่าพืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติควรอยู่ในพิสัย 14.0-20.0 และ 14.9-18.6 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่า ในการศึกษานี้ ผักกาดหอมห่อมีการดูดใช้แคลเซียมขึ้นไปสะสมในระดับที่น้อยกว่าเกณฑ์ทั้งสองค่อนข้างมาก ดังนั้น แคลเซียมอาจจะยังคงเป็นข้อจำกัดต่อการให้ผลผลิตผักกาดหอมห่อที่ปลูกในพื้นที่แม่แฮนี้

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างการใส่ปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมต่อปริมาณการสะสมธาตุแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดิน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อกับผลผลิตที่ได้รับในแต่ละตำรับการทดลองทั้งภายในแปลงเดียวกันและเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 พบว่า ตำรับที่มีการเพิ่มเติมธาตุแคลเซียมให้ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อสูงขึ้นกว่าในตำรับที่ไม่มีการเพิ่มเติมธาตุอาหารนี้ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในตำรับที่มีการใส่ธาตุแคลเซียมในอัตราที่สูงขึ้นสอดคล้องกันทั้ง 2 แปลงทดลอง แต่เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชที่วิเคราะห์ได้ พบว่ายังต่ำกว่าเกณฑ์ที่ได้มีการศึกษามาค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นไปได้ว่า อาจเป็นเพราะปริมาณธาตุแคลเซียมที่เพิ่มเติมลงไปยังไม่มากพอที่จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างแต่ละตำรับการทดลองได้ ปริมาณการดูดใช้แคลเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในทั้งสองแปลงในอัตราที่สูงขึ้น และทำให้ผลผลิตค่อนข้างมีความแปรปรวนด้วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งตำรับที่มีการเพิ่มเติมธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมร่วมกัน ทั้งนี้ถึงแม้ว่า ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินบนของทั้งสองแปลงมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง (5.7 และ 8.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) แต่ปริมาณแคลเซียมที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ในรูปของแคตไอออนอาจจะมีน้อยกว่าปริมาณที่สกัดได้ เนื่องจาก ดินทั้งสองแปลงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก และแคลเซียมบางส่วนอาจจับกับฟอสฟอรัสแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งพืชไม่สามารถดูดใช้ได้ก็เป็นได้ ขณะเดียวกันการที่ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ใน

ระดับสูงก็อาจจะทำให้เกิดการบดบังการดูดใช้แคลเซียมของพืชได้เช่นกัน (ยงยุทธ, 2546)

4.5 แมกนีเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมแมกนีเซียในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อ พบว่า ผักกาดหอมห่อที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 1 มีการสะสมอยู่ในพิสัย 2.5-3.2 กรัมต่อกิโลกรัม และการสะสมในแปลงที่ 2 มีค่าอยู่ในพิสัย 2.6-3.6 กรัมต่อกิโลกรัม โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุนี้ในเนื่อส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแต่อย่างใด

ปกติระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในผักกาดหอมห่อที่ระยะพร้อมเก็บเกี่ยวควรมีปริมาณอยู่ในพิสัย 3.0-7.0 กรัมต่อกิโลกรัม(Hochmuth *et al*., 1994) ส่วน Reuter *et al*. (1997) (ตารางที่ 3 และ 4) ระบุว่าควรมีอยู่ในระดับ 3.5-7.1 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปรากฏว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในการทดลองนี้ทั้งในแปลงที่ 1 และ 2 ที่เก็บเกี่ยวจากบางตำรับการทดลองมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์เล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในพิกัดล่างของเกณฑ์ทั้งสอง จึงยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมมีผลต่อการดูดใช้ธาตุนี้ และมีต่อผลผลิตอย่างไร เนื่องจาก ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อทั้งสองแปลงทดลองไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดิน ยกตัวอย่างเช่น ในแปลงที่ 1 ตำรับที่ให้ผลผลิตสูงสุดได้แก่ตำรับที่ใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้นซึ่งได้ผลผลิตน้ำหนักสดเท่ากับ 5,254 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ตำรับที่ ใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมในอัตรา 1:0.5 กรัมต่อต้น ได้ผลผลิต 4,914 กิโลกรัมต่อไร่ และตำรับที่ใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 2 กรัมต่อต้นได้ผลผลิต 4,855 กิโลกรัมต่อไร่ โดยทั้งสามตำรับพืชมีการดูดใช้แมกนีเซียมขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินอยู่ในพิสัย 2.7-3.4 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในแปลงที่ 2 ตำรับที่ได้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุดเท่ากับ 4,927 กิโลกรัมต่อไร่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมในอัตรา 3:1.5 กรัมต่อต้น รองลงมาได้แก่ ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมในอัตรา 3 และ 2 กรัมต่อต้น ได้ผลผลิตเท่ากับ 4,489 และ 4,430 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ โดยทั้งสามตำรับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดินมีค่าอยู่ในพิสัย 2.6-3.3 กรัมต่อกิโลกรัม ขณะเดียวกันการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมทุกอัตราไม่ส่งผลให้พืชมีการสะสมธาตุนี้ในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการดูดใช้แมกนีเซียมโดยพืชอาจจะถูกยับยั้งเนื่องจากการที่ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ใน

ปริมาณที่สูงมาก (ยงยุทธ, 2546) และการเพิ่มเติมธาตุอาหารแมกนีเซียมควบคู่ไปกับการเพิ่มเติมธาตุแคลเซียมในตำรับการทดลองที่ 9-11 ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารทั้งสองต่อพืชลดลง เนื่องจากธาตุอาหารทั้งสองเป็นปฏิปักษ์ซึ่งกันและกัน ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้รับในแต่ละตำรับการทดลองค่อนข้างมีความแปรปรวน และในแปลงทดลองที่ 2 ผลผลิตน้ำหนักสดผักกาดหอมห่อลดลงเมื่อมีการเพิ่มเติมธาตุปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งก็อาจจะเกิดจากสาเหตุการยับยั้งการดูดใช้แคลเซียมก็เป็นไปได้ สำหรับเกณฑ์ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อระยะเก็บเกี่ยว โดยพิจารณาจากแนวโน้มการให้ผลผลิตที่ได้รับจากการทดลองนี้ทั้งสองแปลงทดลอง ควรปรับให้อยู่ในพิสัย 2.6-3.4 กรัมต่อกิโลกรัม

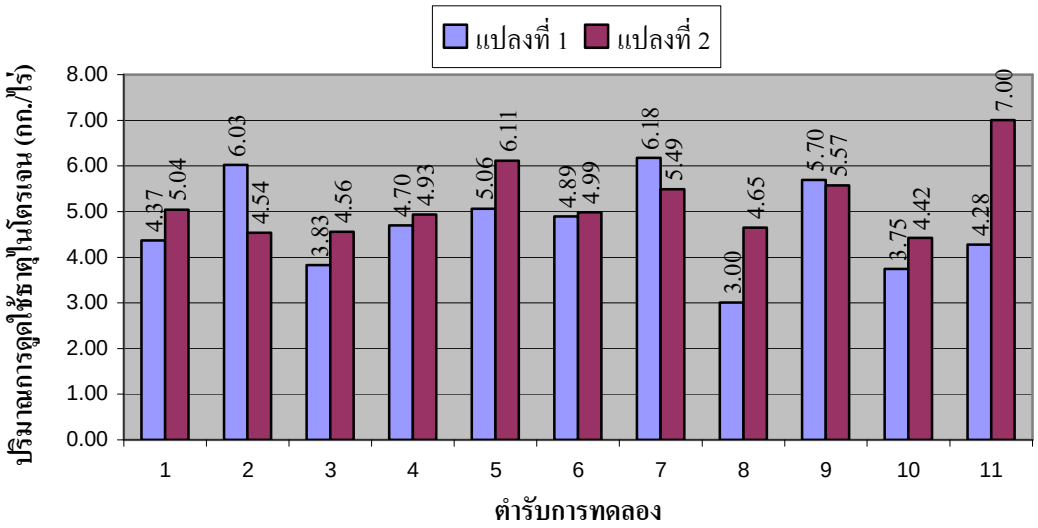
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว พบว่า ธาตุอาหารพืชที่ติดไปกับผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 2 โดยเฉลี่ยมีปริมาณสูงกว่าผักที่ปลูกในแปลงที่ 1 ยกเว้นในกรณีของแคลเซียมและแมกนีเซียมเท่านั้นที่มีปริมาณต่ำกว่า ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าในแปลงที่ 1 ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ดีกว่าในแปลงที่ 2 เนื่องจากการผลค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูก (ตารางที่ 2) ในแปลงทดลองที่ 1 มีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในปริมาณต่ำกว่าแปลงทดลองที่ 2 จึงทำให้เมื่อมีการเพิ่มเติมปุ๋ยทั้งสองชนิดนี้ลงไปจึงเกิดการตอบสนองดีกว่า ในขณะเดียวกัน การตกค้างสะสมของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงมากของแปลงที่ 2 (559 และ 1,783 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ) ก็อาจมีผลทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารรองทั้งสองชนิดถูกจำกัดลงได้

แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมที่พืชดูดใช้ พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างแต่ละตำรับการทดลอง ปริมาณการดูดใช้แคลเซียมอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในทั้งสองแปลงในอัตราที่สูงขึ้น และทำให้ผลผลิตค่อนข้างมีความแปรปรวนด้วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งตำรับที่มีการเพิ่มเติมธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมร่วมกัน แต่ก็ไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกับปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อ

5. ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกาดหอมห่อ

5.1 ไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อผักกาดหอมห่อมาคำนวณหาปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนซึ่งคิดจากน้ำหนักสดก่อนการตัดแต่ง หรืออีกนัยหนึ่ง ปริมาณไนโตรเจนที่ติดไปกับผลผลิตทั้งหมดที่ถูกเก็บเกี่ยวออกจากพื้นที่ (ตารางผนวกที่ 4 และ5) พบว่า ในแปลงที่หนึ่งผักกาดหอมห่อมีการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในพิสัย 3.00-6.18 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่แปลงที่ 2 พบอยู่ในพิสัย 4.42-7.00 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 13) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองของทั้งสองแปลง แสดงให้เห็นว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 2 มีแนวโน้มดูดใช้ธาตุไนโตรเจนโดยเฉลี่ยสูงกว่าในแปลงที่ 1 ทั้ง ๆ ที่ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก พืชมีการสะสมไนโตรเจนในเนื้อเยื่อมากกว่าดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

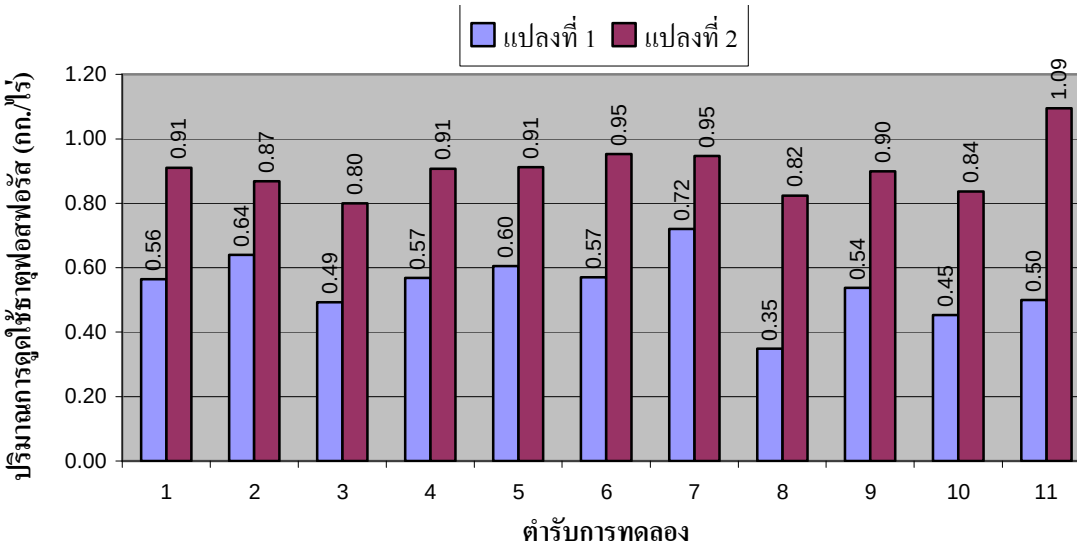


ภาพที่ 13 ปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

5.2 ฟอสฟอรัส

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อผักกาดหอมห่อเมื่อนำค่ามาคำนวณหาปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสซึ่งคิดจากน้ำหนักสดก่อนการตัดแต่ง หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่ติดไปกับผลผลิตทั้งหมดที่ถูกเก็บเกี่ยวออกจากพื้นที่ (ตารางผนวกที่ 4 และ 5) พบว่า ในแปลงที่หนึ่งผักกาดหอมห่อมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในพิสัย 0.35-0.72 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่แปลงที่ 2 พบอยู่ในพิสัย 0.80-1.09 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 14) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองของทั้งสองแปลง แสดงให้เห็นว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 2 มีแนวโน้มดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยสูงกว่าในแปลงที่ 1 ทั้ง ๆ ที่ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่า ในกรณีของการศึกษานี้พืชมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในระดับที่เกินพอ ซึ่งอาจจะมีผลต่อสรีระวิทยาของพืชก็เป็นได้ เช่นทำให้พืชแก่เร็ว ในกรณีของผักกาดหอมห่อก็อาจจะทำให้เกิดการห่อหัวได้ไม่เต็มที่มีใบกาบมากกว่าปลีส่วนใน และจากผลปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส หรือฟอสฟอรัสที่ติดไปกับผลผลิตทั้งหมด จะเห็นได้ว่า การใส่ฟอสฟอรัสในการปลูกผักกาดหอมห่อในดินที่มีฟอสฟอรัสตกค้างอยู่สูงก็จะไปส่งเสริมให้เกิดการสะสมธาตุนี้ในดินมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งมีการนำฟอสฟอรัสออกไปจากพื้นที่ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ในที่นี้มีค่าประมาณ 1 กิโลกรัมต่อไร่ หรือต่ำกว่าเท่านั้น

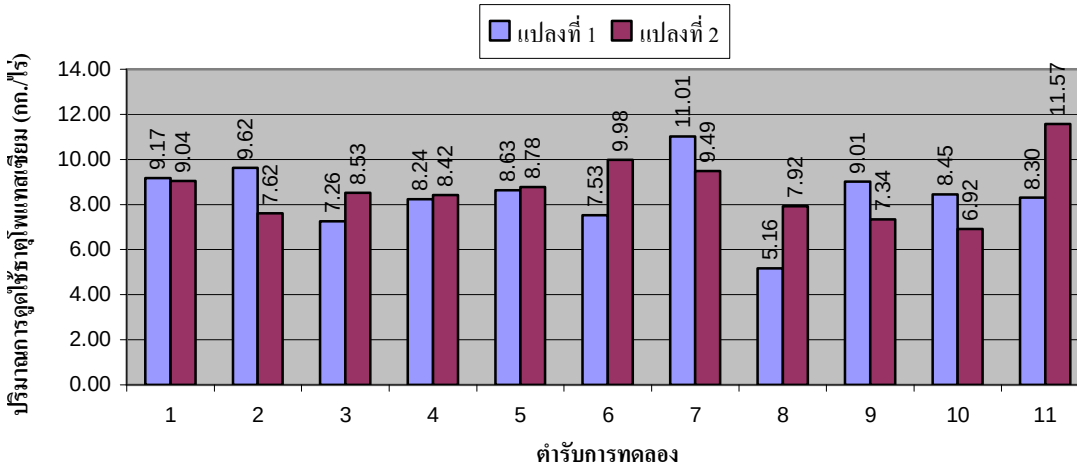


ภาพที่ 14 ปริมาณการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

5.3 โพแทสเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อผักกาดหอมห่อเมื่อนำค่ามาคำนวณหาปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมซึ่งคิดจากน้ำหนักสดก่อนการตัดแต่ง หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่ติดไปกับผลผลิตทั้งหมดที่ถูกเก็บเกี่ยวออกจากพื้นที่ (ตารางผนวกที่ 4 และ 5) พบว่า ในแปลงที่หนึ่งผักกาดหอมห่อมีการดูดใช้โพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในพิสัย 5.16-12.05 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่แปลงที่ 2 พบอยู่ในพิสัย 6.92-11.57 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 15) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองของทั้งสองแปลง แสดงให้เห็นว่าผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 2 มีแนวโน้มดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมโดยเฉลี่ยสูงกว่าในแปลงที่ 1 ทั้ง ๆ ที่ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่า ในกรณีของการศึกษานี้พืชมีการดูดใช้โพแทสเซียมในระดับที่เกินพอ (luxury consumption) ซึ่งอาจจะไม่มีผลต่อสรีรวิทยาของพืชดังเช่นในกรณีของฟอสฟอรัส แต่อาจจะมีผลต่อการขัดขวางการดูดใช้ธาตุอื่น เช่น แมกนีเซียมก็เป็นได้ และจากผลปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียม หรือโพแทสเซียมที่ติดไปกับผลผลิตทั้งหมด จะเห็นได้ว่า การใส่โพแทสเซียมในการปลูกผักกาดหอมห่อในดินที่มีโพแทสเซียมตกค้างอยู่สูงก็จะไปส่งเสริมให้เกิดการสะสมธาตุนี้ในดินมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งมีการนำโพแทสเซียมออกไปจากพื้นที่ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ซึ่งในการศึกษานี้มีการนำโพแทสเซียมออกไปกับผลผลิตเพียง 5.16-12.05 กิโลกรัมต่อไร่ แต่หากใส่ปุ๋ยครบสูตรที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้ซึ่งมีโพแทสเซียมอยู่ถึง 100.8 กิโลกรัมต่อไร่ก็จะทำให้มีโพแทสเซียมส่วนเกินเหลือตกค้างอยู่ในดินเพิ่มเติมในปริมาณมาก

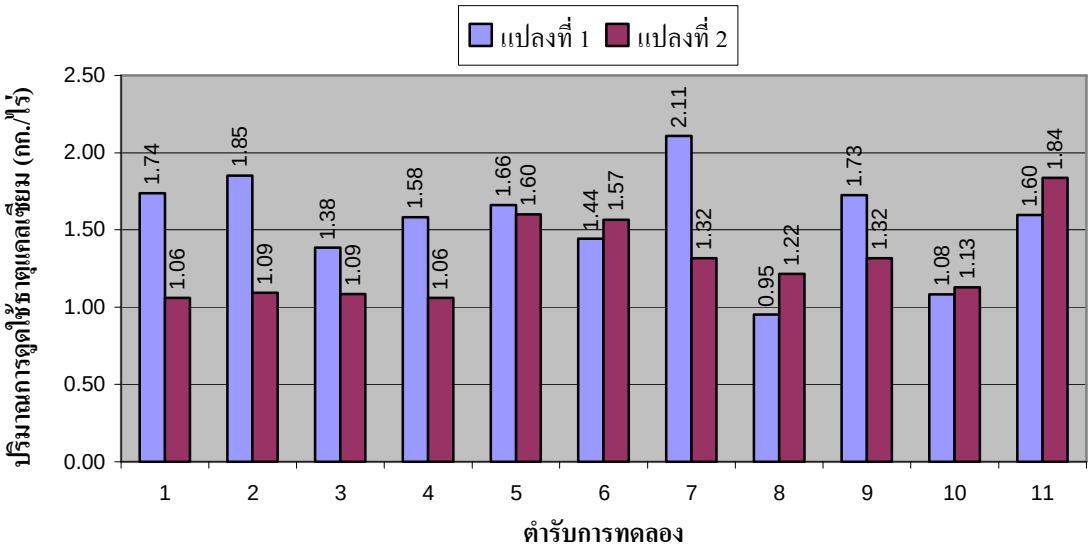


ภาพที่ 15 ปริมาณการดูดใช้โพแทสซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

5.4 แคลเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมแคลเซียมในเนื้อเยื่อผักกาดหอมห่อมาเมื่อนำค่าคำนวณหาปริมาณการดูดใช้แคลเซียมซึ่งคิดจากน้ำหนักสดก่อนการตัดแต่ง หรืออีกนัยหนึ่ง ปริมาณแคลเซียมที่ติดไปกับผลผลิตทั้งหมดที่ถูกเก็บเกี่ยวออกจากพื้นที่ (ตารางผนวกที่ 4 และ 5) พบว่า ในแปลงที่หนึ่งผักกาดหอมห่อมีการดูดใช้แคลเซียมทั้งหมดอยู่ในพิสัย 0.95-2.29 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่แปลงที่ 2 พบอยู่ในพิสัย 1.06-1.84 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 16) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองของทั้งสองแปลง แสดงให้เห็นว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่ 2 มีแนวโน้มดูดใช้ธาตุแคลเซียมโดยเฉลี่ยต่ำกว่าในแปลงที่ 1 ทั้ง ๆ และให้ผลผลิตน้ำหนักสดเฉลี่ยต่ำกว่า เมื่อคำนวณปุ๋ยแคลเซียมที่ใส่ในอัตราสูงสุดเท่ากับ 3 กรัมต่อต้น พบว่า ในพื้นที่ 1 ไร่จะต้องใช้แคลเซียมทั้งหมดเท่ากับ 33.6 กิโลกรัม แต่สูญเสียไปกับผลผลิตเพียงเล็กน้อยตามปริมาณข้างต้น ดังนั้น แคลเซียมส่วนที่เหลือน่าจะตกค้างอยู่ในดินในรูปที่พืชไม่สามารถดูดใช้ได้ หรือในรูปที่เป็นประโยชน์แต่เกิดการขัดขวางโดยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ตกค้างอยู่ในดินสูงมากก็เป็นได้



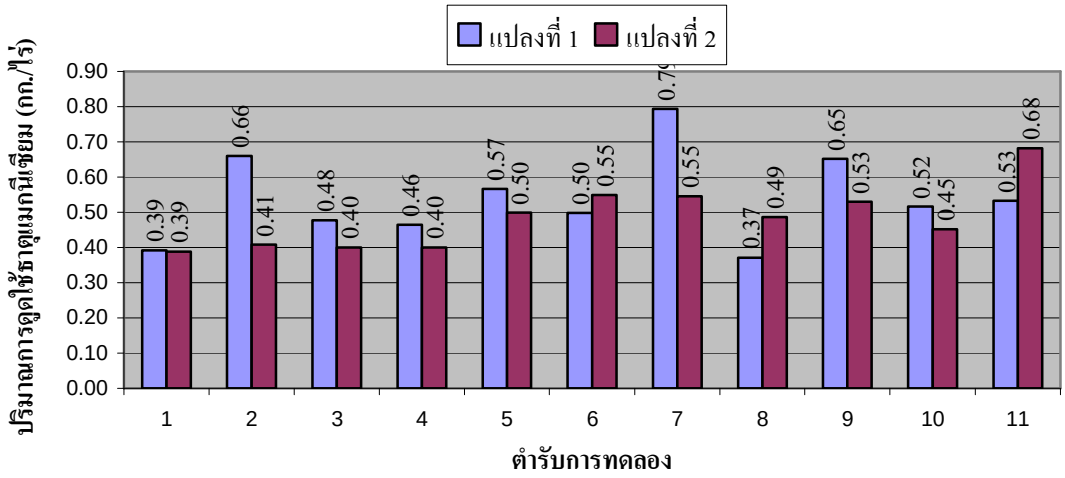
ภาพที่ 16 ปริมาณการดูดใช้ธาตุแคลเซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

ผลการศึกษาโดยพิจารณาจากความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชส่วนเหนือดิน กับแนวโน้มของผลผลิตที่ได้รับ มีโอกาสเป็นไปได้ว่า การใส่ปุ๋ยแคลเซียมในอัตราที่สูงกว่า 3 กรัมต่อต้นอาจให้ผลเชิงบวกด้านผลผลิตน้ำหนักสด เนื่องจากเหตุผลที่ได้จากการศึกษานี้ 2 ประการคือ 1) ผลผลิตน้ำหนักสดของผักกาดหอมห่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นทั้ง 2 แปลงทดลอง และ 2) ความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชยังต่ำกว่าเกณฑ์ที่ได้มีการรายงานไว้

5.5 แมกนีเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อผักกาดหอมห่อมาเมื่อนำค่าคำนวณหาปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียมซึ่งคิดจากน้ำหนักสดก่อนการตัดแต่ง หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณแมกนีเซียมที่ติดไปกับผลผลิตทั้งหมดที่ถูกเก็บเกี่ยวออกจากพื้นที่ (ตารางผนวกที่ 4 และ 5) พบว่า ในแปลงที่หนึ่งผักกาดหอมห่อมีการดูดใช้แมกนีเซียมทั้งหมดอยู่ในพิสัย 0.37-0.66 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่แปลงที่ 2 พบอยู่ในพิสัย 0.39-0.68 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 17) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองของทั้งสองแปลง ซึ่งพบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในทั้ง 2 แปลงมีแนวโน้มดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าดินในแปลงที่ 2 จะมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งไม่น่าจะมีผลทำให้เกิดความแตกต่าง เนื่องจากตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม ผักกาดหอมห่อไม่ได้ดูดใช้ธาตุนี้ขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นตามอัตราที่เพิ่มขึ้น หรือเพิ่มสูงกว่าตำรับที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมแต่อย่างใด เมื่อคำนวณปุ๋ยแมกนีเซียมที่ใส่ในอัตราเท่ากับ 0.5-1.5 กรัมต่อต้น พบว่า ในพื้นที่ 1 ไร่จะต้องใช้แมกนีเซียมทั้งหมดเท่ากับ 5.6-16.8 กิโลกรัม แต่สูญเสียไปกับผลผลิตน้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นแมกนีเซียมส่วนที่เหลือน่าจะตกค้างอยู่ในดินในรูปที่พืชไม่สามารถดูดใช้ได้ หรือในรูปที่เป็นประโยชน์แต่เกิดการขัดขวางโดยธาตุอาหารอื่น ๆ ที่ตกค้างอยู่ในดินสูงมากก็เป็นได้ เมื่อพิจารณาจากปริมาณการดูดใช้และผลผลิตที่ได้รับ การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอาจจะไม่มีความจำเป็นเนื่องจากผลผลิตพืชมีแนวโน้มลดลงเมื่อใส่ในอัตราที่เพิ่มขึ้น หรือหากมีการใส่ปุ๋ยนี้อาจจะต้องคำนึงถึงสัดส่วนระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งอาจจะทำได้เมื่อทดสอบการใส่ปุ๋ยแคลเซียในอัตราที่สูงกว่านี้

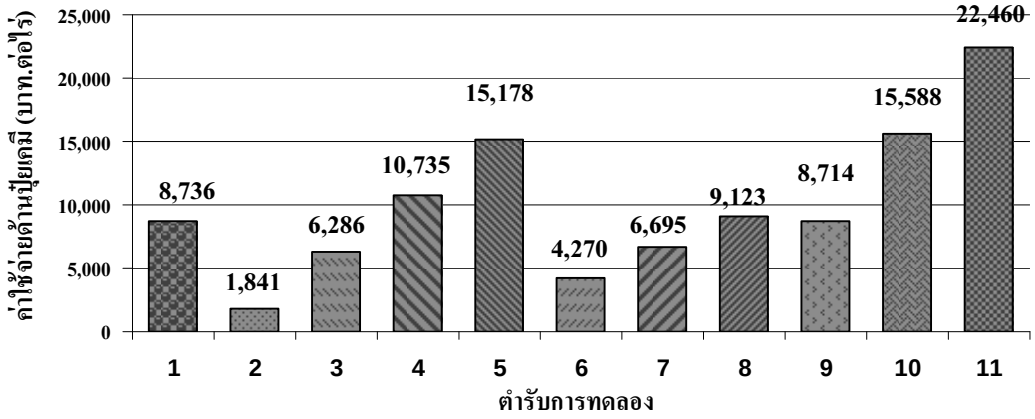


ภาพที่ 17 ปริมาณการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และ 2

หมายเหตุ ผลผลิตต่อไร่ คำนวณจากพื้นที่ปลูก 1,600 ตารางเมตร หรือ 11,200 ต้นต่อไร่

6. ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีและผลตอบแทน

ต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีมีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 18 โดยตำรับที่มีค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีสูงสุดได้แก่ตำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณเท่ากับตำรับที่ 1 และแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมอัตรา 3:1.5 กรัมต่อต้น หรือเทียบเท่ากับปุ๋ยยูเรีย 51.2 กิโลกรัม ปุ๋ยแคลเซียมไนเทรต 198.0 กิโลกรัม และปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต 165.6 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีมูลค่าเท่ากับ 22,460 บาท รองลงมาได้แก่ ตำรับที่ 10 ซึ่งใส่ปุ๋ยเหมือนกับตำรับที่ 11 แต่มีปริมาณปุ๋ยน้อยกว่าเท่ากับสองในสามของปริมาณในตำรับดังกล่าว โดยคิดเป็นมูลค่าปุ๋ยเท่ากับ 15,588 บาทต่อไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยแคลเซียม 3 กรัมต่อต้นร่วมกับไนโตรเจนในตำรับที่ 5 (51.2 กิโลกรัมยูเรียและ 198.0 กิโลกรัมแคลเซียมไนเทรต) มีค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีต่อไร่เท่ากับ 15,178 บาท ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมจะมีค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีค่อนข้างสูง เนื่องจากปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตที่ใช้เป็นปุ๋ยเกล็ดละลายน้ำซึ่งมีราคาค่อนข้างแพงประมาณสามเท่าของราคาปุ๋ยครบสูตร 13-13-21



ภาพที่ 18 ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีในแต่ละตำรับการทดลอง

การเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักสดที่ได้รับกับค่าปุ๋ยเคมีที่ใช้ คำนวณราคาจากผักกาดหอมห่อเกรด U ซึ่งมีน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 250 กรัมขายได้ในราคากิโลกรัมละ 22 บาท

สำหรับปุ๋ยครบสูตรที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ซึ่งปกติจะใช้ปุ๋ยครบสูตรสูตร 15-15-15 ร่วมกับปุ๋ยสูตร 13-13-21 ปริมาณที่ใช้ทั่วไปสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อพื้นที่ 1 ไร่ คิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 8,736 บาท ซึ่งใกล้เคียงกับตำรับที่ใช้ปุ๋ยยูเรียร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟตทั้ง 3 อัตรา ปุ๋ยยูเรียร่วมกับปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 1 และ 2 กรัมต่อต้น (ตำรับที่ 3 และ 4) และตำรับที่ 9 ที่ใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกับปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมในอัตราต่ำสุด สำหรับตำรับที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวในอัตรา 102.3 กิโลกรัมต่อไร่มีต้นทุนปุ๋ยเคมีต่ำสุดเท่ากับ 1,841 บาท

แปลงที่ 1 (ตารางที่ 7) ตำรับที่มีมูลค่าผลผลิตมากที่สุดได้แก่ตำรับที่ 5 ซึ่งใส่ปุ๋ยยูเรีย 51.2 กิโลกรัมร่วมกับปุ๋ยแคลเซียม 198.0 กิโลกรัมต่อไร่ มีมูลค่าผลผลิตเท่ากับ 115,588 บาท รองลงมาได้แก่ตำรับที่ 9 ที่ใส่ปุ๋ยยูเรีย 85.2 กิโลกรัม ปุ๋ยแคลเซียมไนเทรต 66.0 กิโลกรัม และปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต 55.2 กิโลกรัมต่อไร่มีมูลค่าผลผลิตเท่ากับ 108,108 บาท และตำรับที่ 4 ที่ใส่ปุ๋ยปริมาณสองในสามของตำรับที่ 5 ที่ผลผลิตมีมูลค่าเท่ากับ 106,810 บาทต่อไร่ สำหรับมูลค่าผลผลิตต่ำสุดได้จากตำรับที่ใส่ปุ๋ยครบสูตรเท่ากับ 81,488 บาท เมื่อหักเฉพาะค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีแล้ว พบว่า ตำรับที่ 5 ยังคงมีส่วนต่างหลังหักค่าปุ๋ยเคมีแล้วสูงสุดเท่ากับ 100,410 บาท รองลงมาได้แก่ ตำรับที่ 9 และ 4 ตามลำดับ ส่วนตำรับที่ใช้ปุ๋ยครบสูตรมีส่วนต่างหลังหักค่าปุ๋ยเคมีต่ำสุดเท่ากับ 72,752 บาท ซึ่งต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยูเรียเพียงอย่างเดียวประมาณ 1,000 บาท

ตารางที่ 7 แสดงผลต่างระหว่างค่าปุ๋ยกับผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ตำรับ การทดลอง	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	มูลค่าผลผลิต (บาทต่อไร่)	ค่าปุ๋ย (บาทต่อไร่)	ส่วนต่างหลังหักค่าปุ๋ยเคมี (บาท)
ตำรับที่ 1	3,704	81,488	8,736	72,752
ตำรับที่ 2	3,891	85,602	1,841	83,761
ตำรับที่ 3	4,546	100,012	6,286	93,726
ตำรับที่ 4	4,855	106,810	10,735	96,075
ตำรับที่ 5	5,254	115,588	15,178	100,410
ตำรับที่ 6	3,831	84,282	4,270	80,012
ตำรับที่ 7	4,281	94,182	6,695	87,487
ตำรับที่ 8	4,241	93,302	9,123	84,179
ตำรับที่ 9	4,914	108,108	8,714	99,394
ตำรับที่ 10	3,945	86,790	15,588	71,202
ตำรับที่ 11	4,688	103,136	22,460	80,676

หมายเหตุ คิดราคาผลผลิตในเกรด U น้ำหนักตั้งแต่ 250 กรัมขึ้นไป กิโลกรัมละ 22 บาท
ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมี

- ปุ๋ย 15-15-15 ราคา 28 บาทต่อกิโลกรัม
- ปุ๋ย 13-13-21 ราคา 24 บาทต่อกิโลกรัม
- แม่ปุ๋ยยูเรีย ราคา 18 บาทต่อกิโลกรัม
- ปุ๋ย $Ca(NO_3)_2$ ราคา 72 บาทต่อกิโลกรัม
- ปุ๋ย $MgSO_4$ ราคา 44 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 8 แสดงผลต่างระหว่างค่าปุ๋ยกับผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

ตำรับ การทดลอง	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	มูลค่าผลผลิต (บาทต่อไร่)	ค่าปุ๋ย (บาทต่อไร่)	ส่วนต่างหลังหักค่าปุ๋ยเคมี (บาท)
ตำรับที่ 1	4,132	90,904	8,736	82,168
ตำรับที่ 2	3,626	79,772	1,841	77,931
ตำรับที่ 3	4,154	91,388	6,286	85,102
ตำรับที่ 4	4,430	97,460	10,735	86,725
ตำรับที่ 5	4,489	98,758	15,178	83,580
ตำรับที่ 6	4,396	96,712	4,270	92,442
ตำรับที่ 7	4,119	90,618	6,695	83,923
ตำรับที่ 8	3,693	81,246	9,123	72,123
ตำรับที่ 9	4,211	92,642	8,714	83,928
ตำรับที่ 10	3,730	82,060	15,588	66,472
ตำรับที่ 11	4,927	108,394	22,460	85,934

หมายเหตุ คิดราคาผลผลิตในเกรด U น้ำหนัก 250 กรัม คิดราคากิโลกรัมละ 22 บาท
ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมี

- ปุ๋ย 15-15-15 ราคา 28 บาทต่อกิโลกรัม
- ปุ๋ย 13-13-21 ราคา 24 บาทต่อกิโลกรัม
- แม่ปุ๋ยยูเรีย ราคา 18 บาทต่อกิโลกรัม
- ปุ๋ย $Ca(NO_3)_2$ ราคา 72 บาทต่อกิโลกรัม
- ปุ๋ย $MgSO_4$ ราคา 44 บาทต่อกิโลกรัม

สำหรับแปลงที่ 2 (ตารางที่ 8) พบว่า มูลค่าผลผลิตมีความแตกต่างกันอยู่พอสมควร โดยมีมูลค่าสูงสุดเท่ากับ 108,394 บาทต่อการปลูกผักกาดหอมห่อ 1 ไร่ในตำรับที่ 11 ที่ใส่ปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟตอัตราสูงสุด รองลงมาได้แก่ตำรับที่ 5 ซึ่งใส่ปุ๋ยยูเรีย 51.2 กิโลกรัมร่วมกับปุ๋ยแคลเซียม 198.0 กิโลกรัมต่อไร่ มีมูลค่าผลผลิตเท่ากับ 98,758 บาท ส่วนตำรับที่ไมลค่าผลผลิตต่ำที่สุด คือ ตำรับที่ 2 ที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียว มีมูลค่าเท่ากับ 79,772 บาทต่อพื้นที่ปลูก 1 ไร่ อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณส่วนต่างหลังหักค่าปุ๋ยเคมีแล้ว พบว่า การ

ปลูกผักกาดหอมห่อในแปลงนี้มีส่วนต่างค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยที่ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในปริมาณ 55.2 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยยูเรียอัตรา 102.3 กิโลกรัมต่อไร่มีส่วนต่างนี้สูงสุดเท่ากับ 92,442 บาท ขณะที่การใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวในปริมาณ 102.3 กิโลกรัมต่อไร่มีส่วนต่างหลังหักค่าปุ๋ยยูเรียแล้วต่ำสุดเท่ากับ 77,931 บาทต่อไร่

เมื่อพิจารณาจากค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีและผลผลิตที่ได้รับ การใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับไนโตรเจนให้ผลตอบแทนหลังหักค่าปุ๋ยเคมีค่อนข้างเป็นที่น่าพึงพอใจ แต่ในงานทดลองนี้ใช้ปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตซึ่งมีราคาสูงมากจึงดูเหมือนว่าค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีค่อนข้างสูงมาก ดังนั้นจึงควรหาปุ๋ยแคลเซียมในรูปอื่นที่มีราคาต่ำกว่านี้ สำหรับการใส่ปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวน่าจะดีกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตร ถึงแม้ว่าจะให้ผลตอบแทนค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาถึงผลตกค้างระยะยาวของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่มีสะสมอยู่ในดินสูงอยู่แล้ว

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การทดสอบปุ๋ยแคลเซียมและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกผักกาดหอมห่อในดินที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ตกค้างอยู่สูงในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 2 แปลงทดลองที่มีปริมาณตกค้างของธาตุทั้งสองในระดับสูงมาก ผลการศึกษาพบว่า แปลงที่ 1 ที่มีปริมาณการตกค้างของธาตุทั้งสองน้อยกว่า ผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งของผักกาดหอมห่อมีแนวโน้มสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยแคลเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้น ส่วนแปลงที่ 2 ที่มีผลตกค้างของธาตุทั้งสองสูงกว่ามาก การใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียมในอัตรา 3:1.5 กรัมต่อต้นมีแนวโน้มให้ผลผลิตหลังการตัดแต่งสูงสุด โดยทั้ง 2 ตำรับเป็นการใส่ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณเดียวกับที่เกษตรกรในพื้นที่ใช้โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

ผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งของผักกาดหอมห่อทั้งสองแปลง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมไม่ทำให้ผลผลิตหลังการตัดแต่งของผักกาดหอมห่อเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตลดลงหากใส่ปุ๋ยนี้ในอัตราที่สูงขึ้น ขณะที่ปริมาณผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งของผักกาดหอมห่อมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันเมื่อมีการใส่ปุ๋ยแคลเซียมร่วมกับแมกนีเซียม เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยแคลเซียมเพิ่มเติมเพียงอย่างเดียว ส่วนการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรียเพียงอย่างเดียวให้ผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งของผักกาดหอมห่อใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยครบสูตร อย่างไรก็ตาม ผลิตน้ำหนักสดโดยเฉลี่ยของทุกตำรับการทดลองในแปลงที่ 2 มีแนวโน้มต่ำกว่าผลผลิตที่ได้จากแปลงที่ 1 น่าจะเกิดจากอิทธิพลของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ตกค้างอยู่ในดินในปริมาณที่สูงกว่ามาก ซึ่งมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืชอย่างรุนแรง

ปริมาณการสะสมธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีซียมในเนื้อเยื่อส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงทดลอง และส่วนใหญ่พบอยู่ในเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตตามปกติ ยกเว้นความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียม แสดงให้เห็นว่า การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินนี้ไม่ทำให้ปริมาณการดูดใช้ธาตุทั้งสองขึ้นไปสะสมยังเนื้อเยื่อพืชลดลง เนื่องจากดินมีปริมาณการตกค้างของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอยู่ในระดับที่สูงมาก

ผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตน้ำหนักสดหลังการตัดแต่งของผักกาดหอมห่อทั้งสองแปลงทดลองกับปริมาณการสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มการให้ผลผลิตสูงสุดกับความเข้มข้นธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช สามารถปรับเกณฑ์ปริมาณการสะสมธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในพื้นที่แม่แฮได้ดังนี้ ในระยะห่อหัวสมบูรณ์ พืชควรมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดในเนื้อเยื่ออยู่ในพิสัย 26.8-33.9, 3.2-5.3 และ 45.7-56.0 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ สำหรับการสะสมแคลเซียม และแมกนีเซียมยังไม่สามารถกำหนดได้เนื่องจากปริมาณที่พบจากการศึกษาอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่มีการศึกษามาในต่างประเทศ

แนวทางการลดปัญหาการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินที่ใช้ปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ โดยพิจารณาจากผลผลิตที่ได้รับจากการทดลองทั้งสองบริเวณร่วมกับผลตอบแทนหลังหักค่าใช้จ่ายค่าปุ๋ยเคมี พบว่า การปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮนี้ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ก็สามารถได้รับผลตอบแทนที่ดี และน่าจะเป็นการช่วยลดปัญหาการตกค้างของธาตุทั้งสองในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการใช้ปุ๋ยแคลเซียมในอัตราที่สูงกว่า 3 กรัมต่อต้น เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต

2. ควรมีการใช้ปูนขาว หรือหินปูนบดอัตราต่าง ๆ ทดสอบร่วมในการปลูกผักกาดหอมห่อ เนื่องจากราคาต่ำกว่าปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตค่อนข้างมาก

3. การที่ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่แคลเซียมในรูปของแคลเซียมไนเทรต อาจเป็นผลมาจากไนเทรตซึ่งอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที ดังนั้น จึงควรมีการทดสอบเปรียบเทียบรูปของปุ๋ยไนโตรเจนที่มีผลต่อผลผลิตผักกาดหอมห่อเช่นเดียวกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับการปรับปรุงดินรูปแบบต่าง ๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นภาพร ปัญญาชัย. 2551. **ศักยภาพและผลิตภาพของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮจังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิพนธ์ ไชยมงคล. 2549. **ผักกาดหอมห่อ**. สาขาพืชผัก ภาควิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ประสิทธิ์ โนรี. 2549. ผลของเรือนโรงพลาสติกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตผักกาดหอมห่อในฤดูฝน. **โครงการหลวง**. 10 (3): 5-9.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. **เคมีของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศพิษา สังวิเศษ. 2550. **การจัดการปุ๋ยผักกาดหอมห่อในดินที่มีฟอสฟอรัสตกค้างสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2538. **สรีรวิทยาของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2538. **แร่ธาตุอาหารพืชสวน**. โรงพิมพ์ศิริภัณฑ์, ขอนแก่น.

สุนทร เรืองเกษม. 2540. **ผักกินใบ**. ม.ป.ท.

สุรศักดิ์ เสรีพงศ์. 2516. **การศึกษาอิทธิพลร่วมของสังกะสีและฟอสฟอรัสในดินเลยต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุรักษ์ พ่วงผล. 2542. **เกษตรเศรษฐกิจในครัวเรือน ผักสวนครัวเสริมรายได้**. โรงพิมพ์อักษรไทย, กรุงเทพฯ.

Adams, P. and D.J. Hand. 1993. Effects of humidity and Ca level on dry matter and Ca accumulation by leaves of cucumber (*Cucumis sativus L.*). **J. Hort. Sci.** 68: 767-774.

Adams, P. and L.C. Ho. 1990. Effect of salinity on calcium transport in tomato (*Lycopersicon esculentum*), pp. 469-472. *In* **Plant Nutrition-Physiology and Applications,** Kluwer Acad. Publ.

Allen, B.L. and B.F. Hajek. 1989. Mineral occurrence in soil environment, pp. 199-278. *In* J.B. Dixon and S.B. Weed, eds. **Minerals in Soil Environments. 2nd ed.** Soil Sci. Soc. Amer., Inc., Madison, Wisconsin.

Bangerth, F. 1979. Calcium related physiological disorders of plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 17: 97-122.

Barta, D.J. and T.W. Tibbitts. 1991. Calcium localization in lettuce leave with and without tipburn: comparison of controlled-environment and field-grown plant. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 116 (5): 870-875.

Battey, N.H. 1990. Calcium deficiency disorders of fruits and vegetables. **Postharvest News and Information** 1: 23-27.

Bradfield, E.G. and C.G. Guttridge. 1984. Effects of night-time humidity and nutrient solution concentration on the calcium content of tomato fruit, pp. 207-217**.** *In* **Science and. Horticulture.**.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soils.** Pearson Education, New Jersey.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. **Soil Sci**. 59: 39-45.

Buol, S.W., F. D. Hole and R.J. McCracken. 2003. **Soil Genesis and Classification.** The Iowa State Univ. Press, Ames.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black, ed. **Method of Soil Analysis Part II: Chemical and Microbiological Properties.** Agron. No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

Choi, J.H., G.C. Chung. and S.R. Suh. 1997. Effect of night humidity on the vegetative growth and the mineral composition of tomato and strawberry plants. **Sci. Hort.** 70: 293-299.

Clarkson, D.T. 1984. Calcium transport between tissues and its distribution in the plant. **Plant Cell Envir.** 7: 449-456.

Clarkson, D.T. and J.B. Hanson. 1980. The mineral nutrition of higher plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 31: 239-298.

Cline, J.A. and E.J. Hanson. 1992. Relative humidity around apple fruit influences its accumulation of calcium. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 117: 542-546.

Clover, A. 1991. The new theory of calcium transport. **Grower** 116: 8-11.

Collier, G.F. and V.C. Huntington. 1983. The relationship between leaf growth, calcium accumulation and distribution, and tipburn development in field-grown butterhead lettuce. **Sci. Hort**. 21: 123-128.

Cresswell, G.C. 1991. Effect of lowering nutrient solution concentration at night on leaf calcium levels and the incidence of tipburn in lettuce (var. Gloria). **J. Plant Nutr.** 14 (9): 913-924.

Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 546-566. *In* C.A.Black, ed. **Method of Soil Analysis Part** I. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Devlin, R.M. and F.H. Witham. 1983. **Plant Physiol**. Wadsworth Publishing Company, California.

FAO. 1961. **Agriculture and Horticulture Seed: Their Production**. Rome, Italy.

Ferguson, I.B. and D.T. Clarkson. 1975. Ion transport and endodermal suberization in the roots of *Zea mays*. **New Phytologist** 75: 69-79.

Flink, S. 1992. Occerence of calcium oxalate crystals in non–mycorrhizal fine root of *Picea albies* (L) Kartst. **J. Plant Physiol.** 140: 137-140.

Gardiner D.T. and R.W. Miller. 2004. **Soils in Our Environment**. **10th ed.** Pearson Education Inc., NJ.

Guttridge, C.G., E.G. Bradfield and R. Holder. 1981. Dependence of calcium transport into strawberry leaves on positive pressure in the xylem. **Ann. Bot.** 48: 473-480.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.M. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th ed.** Pearson Prentice Hall Inc., New Jersey.

Hasenstein, K.H. and M.L. Evans. 1988. Effect of calcium on hormone transport in primary roots of *Zea may*. **Plant Physiol**. 890-894.

Huett, D.O. 1994. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce inresponse to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. **Aust. J. Agric. Res.** 45: 251-267.

Hsu, P.H. 1964. Adsorption of phosphate by aluminium and iron in soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 28: 474-478.

Ikeda, H. and T. Osawa. 1984. Lettuce growth as influenced by N source and temperature of the nutrient solution, pp. 273-283. *In* **Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture.** Lunteren, 29 April –5 May 1984..

Jackson, M.L. 1958. **Soil Chemical Analysis**. Prentice-Hall, Inc., Madison, Wisconsin.

Jackson, L.E. 1965. **Soil Chemical Analysis Advanced Course**. Dept. Soils, Univ. Winconsin.

_____. 1995. Root architecture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca* spp.). **Plant Cell Env.** 18: 885-897.

Kalloo, K.H. 1981. Differentiation of lettuce cultivars (*L. sativa* var. Capitata). **Hort. Abst**. 51: 31.

Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soil. **Soil Sci**. 68: 15-24.

Kirkby, E.A. and D.J. Pilbeam. 1984. Calcium as a plant nutrient. **Plant Cell Envir.** 7: 397-405.

Knavel, D.E. 1981. The influence of temperature and nutrition on the growth and nutrient composition of lettuce. **Hort. Res.** 21: 11-18.

Knott, J.E. 1950. **Vegetable Growing**. Lea & Febiger, Philadelphia.

Knott, J.E. and R. Deanon. 1970. **Vegetable Production in South East Asia.** Los Bonos: College of Agriculture, Univ. Philippines.

Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development, Ministry of Agri. and Coop., Bangkok.

Loneragan, J.F. and K. Snowball. 1969. Rate of calcium absorption by plant roots and its relation to growth. **Aust. J. Agric. Res.** 20: 479-492.

Marcus, A. 1976. Protein biosynthesis, pp. 507-522. *In* J. Bonner and J.E. Varner, eds. **Plant Biochemistry.** Academic Press New York.

Marschner, H. 1995. **Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed.** London Academic Press Limited, UK.

Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. **Principles of Plant Nutrition**. **4th ed.** International Potash Institute, Switzerland.

Mill, H.A. and J.B. Jones, Jr. 1996. **Plant Analysis Handbook II: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide**. Micro Macro Publing Inc., USA.

Misaghi, I.J. and R.G. Grogan. 1978. Physiological basis for tipburn development in head Lettuce. **Phytopathology** 68: 1744-1753.

National Soil Survey Center . 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual.** Soil Survey Invest. Rept. No 42, Version 3.0. U.S. Dept. of Agric., U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Peech, M. 1945. Determination of exchangeable cation and exchange capacity of soil rapid micromethod utilizing centrifuge and spectrophotometer. **Soil Sci**. 59: 25-28.

Peech, M. 1965. Exchange acidity, pp. 905-913. *In* C.A. Black, ed. **Method of Soil Analysis Part II.** Monograph No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. *In* C.A. Black, ed. **Method of Soil Analysis Part II**. **Chemical and Microbiological Properties**. Agronomy No.9 Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison Wisconsin.

Quebedeaux, B.Jr. and J.L. Ozbun. 1973 Effects of ammonium nutrition on water stress, water uptake, and root pressure in *Lycopersicon esculentum* Mill. **Plant Physiol**. 52: 677-679

Rappaport, L. and S.H. Wittwer. 1956. Flowering in head lettuce as influenced by seed vernalization, temperature and photoperiod. **Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.** 67: 429-437.

Reuter, D.J.and J.B. Robinson. 1997. **Plant Analysis an Interpretation Manual, 2nd ed**. CSIRO Publ., Australia.

Russell, E.W. 1973. **Soil Conditions and Plant Growth. 10th ed**. Longman, London.

Russel, R.S. and D.T. Clarkson. 1976. Ion transport in root systems. **Persp. Ext. Bio.** 2: 401-411.

Ryder, E.J. 1999. **Lettuce Endive and Chicory**. Crop Production Science in Horticulture, CABI Publishing, New York.

Sanchez, P.A., J.H. Villachuca and D.E. Bandy. 1983. Soil fertility dynamic after cleaning a tropical rainforest in Peru. **Soil Sci. Soc. Amer. J**. 47: 1171-1178.

Saure, M.C. 1998. Causes of the tipburn disorder in leavesof vegetables. **Sci. Hort.** 76: 131-147

Scott, B.J. and A.D. Robson. 1990a. Changes in the content and form of magnesium in the first trifoliate leaf of subterranean clover under altered or constant root supply. **Aust. J. Agric. Res.** 41: 511-519.

Scott, B.J. and A.D. Robson. 1990b Distribution of magnesium in subterranean clover in relation to suppy. **Aust. J. Agric. Res.** 41: 499-510.

Shear, C.B. 1975. Calcium nutrition and quality in fruit crops. **Comm. Soil Sci. Plant Analys.** 6: 233-244.

_____. 1980. Interaction of nutrition and environment on mineral composition of fruits, pp. 41-50. *In* **Mineral Nutrition of Fruit Trees**. Butterworth, London.

_____. and M. Faust. 1970. Calcium transport in apple trees. **Plant Physiol.** 45: 670-674.

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual.** U.S. Dep. of Agr. Hand Book No. 18 U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Soil Survey Staff. 1999. **Soil Taxonomy**: **A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 2nd ed. United States Dep. Of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Thompson, L.M. ans F.R. Troeh. 1978. **Soils and Soil Fertility. 4th ed**. McGraw-Hill Inc., New York.

Tibbitts, T.W. 1979. Humidity and plants. **Bioscience**. 29: 358-363.

_____ and G. Bottenberg. 1976. Growth of lettuce under controlled humidity levels. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 101 (1): 70-73

Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. **Soil Fertility and Fertilizers. 3th ed**. Macmillan Publ. Co. Inc., New York.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity, pp. 475-490. *In* D.L. Sparks, ed. **Method of Soil Analysis, Part III: Chemical Methods**. Soil Sci. Soc. Amer. Soc. Agron., Madison.

Van de Geijn, S.C. and C.M. Petit. 1979. Transport of divalent cations. **Plant Physiol.** 64: 954-958.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. **Soil Sci**. 37: 29-38.

Wilcox, G.E., J.E. Hoff and C.M. Jones. 1973. Ammonium reduction of calcium and magnesium content of tomato and sweet corn leaf tissue and influence on incidence of blossom-end rot of tomato fruit. **J. Amer. Soc. H. Sci.** 98: 86-89.

Willumsen, J. 1984. Nutritional requirements of lettuce in water culture, pp. 777-792. *In* **Proceedings of the Fifth International on Soilless Culture.** Wageningen, 18-24 May 1980. The Secretariat of ISOSC, Netherlands.

Yamada, T. 1975. Calcium and its relationship to blossom-end rot in tomato. **Comm. Soil Sci. Plant Analys.** 6: 273-284.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลผลิตน้ำหนักสดก่อนและหลังตัดแต่ง อัตรารอดตาย และน้ำหนักต่อหัวของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตน้ำหนักสด		น้ำหนักที่ตัดแต่งทิ้ง	อัตรารอดตาย	น้ำหนักหัว	
	ก่อนตัดแต่ง	หลังตัดแต่ง			น้ำหนักจริง[1/]	น้ำหนักเฉลี่ย[2/]
	กิโลกรัม/ไร่	กิโลกรัม/ไร่	กิโลกรัม/ไร่	%	กรัม/ต้น	กรัม/ต้น
ตำรับที่ 1	4,516	3,707	809	78	484	331
ตำรับที่ 2	4,252	3,886	365	89	456	347
ตำรับที่ 3	4,983	4,547	436	97	534	406
ตำรับที่ 4	5,476	4,850	626	92	587	433
ตำรับที่ 5	5,815	5,253	562	89	623	469
ตำรับที่ 6	4,072	3,830	242	83	436	342
ตำรับที่ 7	4,542	4,278	264	94	487	382
ตำรับที่ 8	5,377	4,245	1,132	92	576	379
ตำรับที่ 9	5,997	4,917	1,080	100	643	439
ตำรับที่ 10	4,190	3,942	248	94	449	352
ตำรับที่ 11	5,693	4,693	1,001	89	610	419
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	19.6	22.2	23.2	22.1	19.6	22.2

[1/]เฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริง

[2/]เฉลี่ยต่อพื้นที่

ตารางผนวกที่ 2 ผลผลิตน้ำหนักสดก่อนและหลังตัดแต่ง อัตรารอดตาย และน้ำหนักต่อหัวของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตน้ำหนักสด		น้ำหนักที่ตัดแต่งทิ้ง	อัตรารอดตาย	น้ำหนักหัว	
	ก่อนตัดแต่ง	หลังตัดแต่ง			น้ำหนักจริง[1/]	น้ำหนักเฉลี่ย[2/]
	กิโลกรัม/ไร่	กิโลกรัม/ไร่	กิโลกรัม/ไร่	%	กรัม/ต้น	กรัม/ต้น
ตำรับที่ 1	7,259	4,132	3,128	87	423	369
ตำรับที่ 2	6,307	3,707	2,600	83	399	331
ตำรับที่ 3	6,260	4,154	2,106	88	425	371
ตำรับที่ 4	5,753	4,430	1,323	98	402	396
ตำรับที่ 5	6,240	4,489	1,751	87	454	401
ตำรับที่ 6	7,965	4,396	3,569	90	431	393
ตำรับที่ 7	6,552	4,119	2,433	95	385	368
ตำรับที่ 8	6,883	3,693	3,190	92	358	330
ตำรับที่ 9	6,268	4,211	2,057	93	406	376
ตำรับที่ 10	5,947	3,730	2,218	80	411	333
ตำรับที่ 11	5,633	4,927	706	93	468	440
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	21.1	22.6	23.8	22.4	21.1	22.6

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

[1/]เฉลี่ยต่อจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวได้จริง

[2/]เฉลี่ยต่อพื้นที่

ตารางผนวกที่ 3 ผลผลิตน้ำหนักแห้งหลังตัดแต่งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	แปลงที่ 1		แปลงที่ 2	
	กรัม/ต้น	กิโลกรัม/ไร่	กรัม/ต้น	กิโลกรัม/ไร่
ตำรับที่ 1	13	149	13	149
ตำรับที่ 2	16	177	12	132
ตำรับที่ 3	18	202	13	143
ตำรับที่ 4	19	209	14	154
ตำรับที่ 5	18	202	15	172
ตำรับที่ 6	15	165	14	161
ตำรับที่ 7	16	179	14	161
ตำรับที่ 8	19	216	12	135
ตำรับที่ 9	20	221	14	161
ตำรับที่ 10	15	172	12	133
ตำรับที่ 11	17	196	18	207
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	16.6	16.6	27.3	27.3

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณการดูดใช้ ธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ตัวอย่างพืช	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในพืช[1/] (กิโลกรัมต่อไร่)				
	N	P	K	Ca	Mg
ตำรับที่ 1	4.37	0.56	9.17	1.74	0.39
ตำรับที่ 2	6.03	0.64	9.62	1.85	0.66
ตำรับที่ 3	3.83	0.49	7.26	1.38	0.48
ตำรับที่ 4	4.70	0.57	8.24	1.58	0.46
ตำรับที่ 5	5.06	0.60	8.63	1.66	0.57
ตำรับที่ 6	4.89	0.57	7.53	1.44	0.50
ตำรับที่ 7	6.18	0.72	11.01	2.11	0.79
ตำรับที่ 8	3.00	0.35	5.16	0.95	0.37
ตำรับที่ 9	5.70	0.54	9.01	1.73	0.65
ตำรับที่ 10	3.75	0.45	8.45	1.08	0.52
ตำรับที่ 11	4.28	0.50	8.30	1.60	0.53
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.3	19.4	20.5	23.1	22.9

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณการดูดใช้ ธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

ตัวอย่างพืช	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในพืช (กิโลกรัมต่อไร่)[1/]				
	N	P	K	Ca	Mg
ตำรับที่ 1	5.04	0.91	9.04	1.06	0.39
ตำรับที่ 2	4.54	0.87	7.62	1.09	0.41
ตำรับที่ 3	4.56	0.80	8.53	1.09	0.40
ตำรับที่ 4	4.93	0.91	8.42	1.06	0.40
ตำรับที่ 5	6.11	0.91	8.78	1.60	0.50
ตำรับที่ 6	4.99	0.95	9.98	1.57	0.55
ตำรับที่ 7	5.49	0.95	9.49	1.32	0.55
ตำรับที่ 8	4.65	0.82	7.92	1.22	0.49
ตำรับที่ 9	5.57	0.90	7.34	1.32	0.53
ตำรับที่ 10	4.42	0.84	6.92	1.13	0.45
ตำรับที่ 11	7.00	1.09	11.57	1.84	0.68
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	21.3	22.4	22.7	27.1	26.9

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 6 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993)

คำเรียกทั่วไป	ลักษณะเนื้อดิน	ชั้นเนื้อดินต่าง ๆ (texture classes)
ดินทราย (sandy soils)	เนื้อหยาบ (coarse textured)	ได้แก่ ทรายชนิดต่าง ๆ (ทรายหยาบ ทรายละเอียด ทรายละเอียดมาก) ทรายปนดินร่วนชนิดต่าง ๆ (ทรายหยาบปนดินร่วน ทรายปนดินร่วน ทรายละเอียดปนดินร่วน และทรายละเอียดมากปนดินร่วน)
ดินร่วน (loamy soils)	เนื้อดินหยาบปานกลาง (moderately coarse-textured)	ดินร่วนปนทรายหยาบ ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายละเอียด
	เนื้อปานกลาง (moderately fine-textured)	ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง และทรายแป้ง
	เนื้อละเอียดปานกลาง (moderately fine-textured)	ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (clayey soils)	เนื้อละเอียด (fine textured)	ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว

ตารางผนวกที่ 7 ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ, 2548; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

1. ปฏิกิริยาของดิน (Soil reation), pH (ดิน : น้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.4
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	> 9.0

2. อินทรียวัตถุ (Organic matter)

ระดับ (rating)	พิสัย (g kg^{-1})[1/]
ต่ำมาก (VL)	< 5
ต่ำ (L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ (ML)	10-15
ปานกลาง (M)	15-25
ค่อนข้างสูง (MH)	25-35
สูง (H)	35-45
สูงมาก (VH)	> 45

[1/] organic carbon (g kg^{-1}) x 1.724

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) (กองวางแผนการใช้ที่ดิน, 2535)

ระดับ (rating)	พิสัย ($g\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
สูง (H)	5.0-7.5
สูงมาก (VH)	> 7.5

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) (Bray II)

ระดับ (rating)	พิสัย ($mg\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (ML)	6-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-25
สูง (H)	25-45
สูงมาก (VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย ($mg\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 30
ต่ำ (L)	30-60
ปานกลาง (M)	60-90
สูง (H)	90-120
สูงมาก (VH)	> 120

6. เบสที่สกัดได้ (Extractable bases) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol kg^{-1})				
	extr.Ca	extr.Mg	extr.K	extr.Na	extr.bases
ต่ำมาก (VL)	< 2.0	< 0.3	< 0.2	< 0.1	< 2.6
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3	2.6-6.6
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7	6.6-14.3
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0	14.3-31.2
สูงมาก (VH)	> 20	> 8.0	> 1.2	> 2.0	> 31.2

หมายเหตุ

VL = ต่ำมาก (Very Low)

L = ต่ำ (Low)

ML = ค่อนข้างต่ำ (Moderately Low)

M = ค่อนข้างต่ำ (Medium)

MH = ค่อนข้างสูง (Moderate High)

H = สูง (High)

VH = สูงมาก (very Low)

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง non SI unit กับ SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m^{-1}	1 mS/cm = dS m^{-1}
		1 μ/cm = 0.001 dS m^{-1}
Cation exchange capacity	$cmol_{(+)}$ kg^{-1}	1 meq/100g = $cmol_{(+)}$ kg^{-1}
Anion exchange capacity	$cmol_{(-)}$ kg^{-1}	1 meq/100g = $cmol_{(-)}$ kg^{-1}
Exchange cation	$cmol_{(+)}$ kg^{-1}	1 meq/100g = $cmol_{(+)}$ kg^{-1}
Mass ratio	g kg^{-1}	1% = 10 g kg^{-1}
	mg kg^{-1}	1 ppm = 1 mg kg^{-1}
		1 mg/100g = 10 mg kg^{-1}
	μg kg^{-1}	1 ppb = 1 μg kg^{-1}
	mg kg^{-1}	1 ppt = 1 ng kg^{-1}
Mass concentration	g L^{-1}	1% = 10 g L^{-1}
	mg L^{-1}	1 ppm = 1 mg L^{-1}
	μg L^{-1}	1 ppb = 1 μg L^{-1}
Density	Mg m^{-3}	1g/cm^3 = 1 Mg m^{-3}
Specific surface	m^2 kg^{-1}	1 m^2/g = 1000 m^2 kg^{-1}
Pressure	kPa, Mpa	1 bar = 0.1 Mpa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7 x 10^{10}
Rate, Yield	kg ha^{-1}	1 kg/10a = 10 kg ha^{-1}
	Mg ha^{-1}	1t/10a = 10 Mg ha^{-1}

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวเฟื่องลดา ธนะโชติ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการเกษตร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันหม่อนไหมแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติ ฯ
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-