



วิทยานิพนธ์

ศักยภาพและผลิตภาพของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อ ในพื้นที่
แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

POTENTIAL AND PRODUCTIVITY OF SOILS UNDER
LETTUCE PRODUCTION IN MAE HAE AREA, CHIANG
MAI PROVINCE

นางสาวนภาพร ปัญญาชัย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ปฐพีวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง ศักยภาพและผลผลิตของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ จังหวัด
เชียงใหม่

Potential and Productivity of Soils under Lettuce Production in Mae Hae Area, Chiang
Mai Province

นามผู้วิจัย นางสาวนภาพร ปัญญาชัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณโร.

(อาจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณโร.

(ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรัตน์ธรรม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

คณโร. ศ.ดร.ประทีป

(รองศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิประการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

คณโร. ศ.ดร.ประทีป

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 5 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ศักยภาพและผลิตภาพของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

Potential and Productivity of Soils under Lettuce Production in Mae Hae Area, Chiang Mai
Province

โดย

นางสาวนภาพร ปัญญาชัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
พ.ศ. 2551

นภาพร ปัญญาชัย 2551: ศักยภาพและผลผลิตของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D. 86 หน้า

การศึกษาศักยภาพและผลผลิตของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ ดำเนินการภายใต้สภาพโรงเรือนของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ตำบลแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2550 มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพและผลผลิตของดินที่ใช้ปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่ศึกษา วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 9 ดำรับการทดลอง แต่ละดำรับมีการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ

ผลการศึกษา พบว่า แปลงที่ 1 ที่เป็นดินเนื้อละเอียดกว่ามีระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินสูงกว่าแปลงที่ 2 เล็กน้อย โดยดินทั้งสองแปลงมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงมากเกินความต้องการของพืช ส่วนศักยภาพของดินสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อ ดินในแปลงที่ 1 ดีกว่า คือให้ผลผลิตเท่ากับ 1,831 กิโลกรัมต่อไร่เมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี เปรียบเทียบกับผลผลิตเท่ากับ 1476 กิโลกรัมต่อไร่ของแปลงที่ 2 ขณะที่ผลผลิตของดินก็มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อจัดการเหมือนกันแปลงที่ 1 จะให้ผลผลิตสูงกว่าในแปลงที่ 2 ในทุกกรณี สำหรับผลผลิตที่ได้รับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างดำรับการทดลอง โดยแปลงที่ 1 การใส่ปุ๋ยปริมาณ 1.5 เท่าของอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (102.3, 102.3, 100.8 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) มีแนวโน้มการให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุด เท่ากับ 2,118 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยอัตราเดียวกับเกษตรกรแต่ลดปริมาณโพแทสเซียมลงได้ครึ่งหนึ่ง (2,081 กิโลกรัมต่อไร่) และลดฟอสฟอรัสลงได้ครึ่งหนึ่ง (1,904 กิโลกรัมต่อไร่) สำหรับแปลงที่ 2 พบว่า แนวโน้มการให้ผลผลิตน้ำหนักสดสูงสุด (1,882 กิโลกรัมต่อไร่) ได้จากการใส่ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่แต่ไม่มีการใส่โพแทสเซียม ซึ่งใกล้เคียงกับการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (1,867 กิโลกรัมต่อไร่)

การดูใช้ธาตุอาหารพืชขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อ พบว่า ธาตุอาหารหลักไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติถึงสูงกว่าในกรณีของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ส่วนความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างดำรับการทดลอง แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตที่ได้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อตามปกติทั้งสิ้น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลงได้เมื่อปลูกผักกาดหอมห่อในทั้งสองพื้นที่ แต่การลดปริมาณการใช้ปุ๋ยทั้งสองเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่ทำให้ผลผลิตของผักกาดหอมห่อเพิ่มขึ้น ควรมีการศึกษากการใช้ธาตุอาหารรองเพิ่มเติม เนื่องจากมีปริมาณที่พืชดูดขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่ออยู่ในระดับขาดแคลน ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักกาดหอมห่อ

นภาพร

ลายมือชื่อนิติ

ลพ.ร.

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

๙ / ๐๕ / ๕๑

Napaporn Panyachai 2008: Potential and Productivity of Soils under 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. 86 pages.

A study on potential and productivity of soils under lettuce production in Mae Hae area, Chiang Mai Province was conducted in the greenhouse of Mae Hae Royal Project Development Centre in 2007. It was objectively to compare a yield of lettuce grown on different soils under different fertilizer management in order to find out a suitable fertilization for the area. Nine treatments with four replications in Randomized Complete Block Design were applied for the experiments.

Results showed that soil of the first plot, having finer texture than the second plot, had slightly better fertility level. Soils of both plots had extremely high of available P and K in the top 40 cm which were in excess of the uptake by lettuce. The first plot indicated a higher potential than did the second plot as it gave the higher yield of $1,831 \text{ kg rai}^{-1}$ as compared to $1,476 \text{ kg rai}^{-1}$ of plot 2. It is similar in the context of soil productivity that under the same fertilization the better yields were always obtained from the first plot. Application of 153.41 , 153.31 and $170.37 \text{ kg N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O rai}^{-1}$ (1.5 time of fertilizer rate generally used by local farmer) tentatively gave the highest yield of $2,118 \text{ kg rai}^{-1}$ in the first trial while the greatest yield of $1,882 \text{ kg rai}^{-1}$ was obtained from the treatment using farmer rate but without the application of potassium fertilizer in the second trial. Neither trial had any statistical difference among treatments. Lettuce in these experiments contained sufficient major nutrient concentrations in above ground plant tissue for normal growth, which were statistically indifferent. Noticeably, P and K seemed to be higher than adequate concentration. In contrast, calcium and magnesium concentrations in plant, in the other word, taken up by lettuce were highly significant statistically and seemingly insufficient for normal growth of plant. However, the amounts had no correlation with fresh yield in both plots.

It can be pointed out that phosphorus and potassium fertilizers applied for growing lettuce can be reduced in both areas in order to lessen the heavily residual accumulation in soils but could still give an economically satisfactory yield. It, however, rarely increases the yield due to rather low uptake of some other nutrients. Thus, it would be more efficient in terms of fertilizer management for lettuce production, should this type of studies, especially on minor and micro nutrient application, be carried out further.

Napaporn Panyachai

Student's signature

Somchai Anusontpornperm

Thesis Advisor's signature

27 / May / 08

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร. เอิบ เขียวรีนรมณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อัญชลี สุทธิประการ และดร. ธวัชชัย ณ นคร ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ โครงการหลวง ฝ่ายวิจัย มูลนิธิโครงการหลวงที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ ศูนย์ พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ตำบลแม่วัน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการ ทดลอง และอำนวยความสะดวกระหว่างการศึกษาปฏิบัติงาน ขอขอบพระคุณคุณณัฐสิทธิ์ สัมพันธ์ ลินเชื้อ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมฯ ประจำศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ และเกษตรกรที่ร่วมโครงการ ทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือด้านการติดต่อประสานงาน การดำเนินการทดลอง และการ เก็บข้อมูลงานวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่มูลนิธิโครงการหลวงทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการ เดินทางไปพื้นที่ปฏิบัติงาน ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ อุปกรณ์ใน ห้องปฏิบัติการรวมทั้งให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ดินและพืช ขอขอบคุณสำหรับพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ สโมสรนิสิตบัณฑิตปฐพีวิทยาทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจด้วยดี ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อบุญเรือง คุณแม่ทองพูล และพี่ชายที่แสนดี ธวัชชัย ปัญญาชัย คุณยายโสภณ กิตติ รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาและเป็นกำลังใจให้แก่วัยรุ่นเข้ามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วง ประโยชน์อันพึงมีจาก วิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอบอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีความรู้มาจนถึง ปัจจุบัน

นภาพร ปัญญาชัย

เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	15
อุปกรณ์	15
วิธีการ	16
ผลและวิจารณ์	24
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	62
สรุปผลการทดลอง	62
ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ภาคผนวก	74
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงอัตราปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง	19
2	แสดงค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูกบริเวณที่ศึกษาแปลงที่ 1	32
3	แสดงค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูกบริเวณที่ศึกษาแปลงที่ 2	32
4	แสดงการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 1	34
5	แสดงการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 2	35
6	ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและรองที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชของ ผักกาดหอมห่อ	43
7	ปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมห่อในระยะต่าง ๆ	46
8	ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	48
9	ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	49
10	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	56
11	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	57
ตารางผนวกที่		
1	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 1	75
2	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 2	75
3	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 1	76
4	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 2	76
5	แสดงผลต่างระหว่างค่าปุ๋ยเคมีกับผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	77
6	แสดงผลต่างระหว่างค่าปุ๋ยเคมีกับผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	77
7	การแบ่งกลุ่มเนื้อดิน	78
8	ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมีและการประเมินความ อุดมสมบูรณ์ของดิน	79
9	เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณกรดที่สกัดได้	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
10	วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจากผลการวิเคราะห์ดิน	83
11	ผลผลิตน้ำหนักรากและน้ำหนักรากแห้งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	84
12	ผลผลิตน้ำหนักรากและน้ำหนักรากแห้งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	84
13	แสดงการเปลี่ยนแปลง non SI unit เป็น SI unit	85

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงที่ตั้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ และแปลงปลูกผักกาดหอมห่อของเกษตรกรที่ใช้ในการศึกษา	24
2 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศของแปลงปลูกผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	25
3 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศของแปลงปลูกผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	26
4 ผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 หลังการตัดแต่งเมื่อใส่ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ตาม ตำรับการทดลอง	
6 ผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2 หลังการตัดแต่งเมื่อใส่ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ตาม ตำรับการทดลอง	39
7 ผลผลิตน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	40
8 ผลผลิตน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	41
9 ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีในแต่ละตำรับการทดลอง	59
10 แสดงส่วนต่างมูลค่าผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1	60
11 แสดงส่วนต่างมูลค่าผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2	61

ศักยภาพและผลิตภาพของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

Potential and Productivity of Soils under Lettuce Production in Mae Hae Area, Chiang Mai Province

คำนำ

ผักกาดหอมห่อ (lettuce) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. จัดอยู่ในวงศ์ Compositae (นิพนธ์, 2549) มีถิ่นกำเนิดในยุโรปและเอเชีย เป็นพืชที่ปลูกกันมาเป็นเวลานานกว่า 2,500 ปี (Thompson and Kelly, 1978) ปัจจุบัน ผักกาดหอมห่อเป็นพืชที่ได้รับความนิยมแพร่หลายมากในประเทศไทยและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในหมู่ผู้บริโภคจำพวกผักสลัด เนื่องจากมีความกรอบและหวานเหมาะสำหรับการรับประทานสด อีกทั้งยังมีปริมาณวิตามินซีและแคลโรทีนในปริมาณพอสมควร ผักนี้มีปริมาณโฟเลตค่อนข้างสูงซึ่งสามารถช่วยป้องกันโรคโลหิตจางได้ด้วย

ผักกาดหอมห่อในประเทศไทย นิยมปลูกบริเวณพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย เช่น ในพื้นที่ของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และจังหวัดเพชรบูรณ์ (ธีรศักดิ์, 2545) พื้นที่แม่แฮซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่เป็นแหล่งผลิตผักกาดหอมห่อที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย จากข้อมูลสถิติผลผลิตปี 2549 ผักกาดหอมห่อที่ผลิตได้ในพื้นที่นี้มีมากถึง 500 ตันเศษ

ผักกาดหอมห่อเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศเย็น ถ้าสภาพอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ผักกาดหอมห่อมีรสขม เกิดการแทงช่อดอกเร็ว (FAO, 1961; Knott and Deanon, 1970) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการห่อหัวของพืชนี้อยู่ที่ประมาณ 15-20 องศาเซลเซียส (Knott, 1950) ซึ่งพื้นที่แม่แฮมีความเหมาะสมต่อการปลูกผักชนิดนี้เนื่องจากอุณหภูมิในรอบปีส่วนใหญ่อยู่ในพิสัยข้างต้น อย่างไรก็ตาม สภาพพื้นที่ที่ใช้ปลูกผักกาดหอมห่อของแม่แฮมีลักษณะเป็นพื้นที่ภูเขาสูงสลับซับซ้อน มีความแตกต่างกันทั้งตำแหน่งสภาพภูมิประเทศ ความลาดชัน และวัตถุดิบกำเนิดดิน ส่งผลให้ดินมีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกัน ศักยภาพและผลิตภาพของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อในแต่ละแปลงมีความแตกต่างกันด้วย ซึ่งมีผลต่อการจัดการดินและปุ๋ย การศึกษาเรื่องการจัดการดินและปุ๋ยให้ตรงตามลักษณะดินและความต้องการของผักกาดหอมห่อจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

เนื่องจาก จะช่วยให้เกิดการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืน ภายใต้การอนุรักษ์ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เหมาะสม และเพื่อลดปัญหาการตกค้างของธาตุอาหารพืชบางชนิดในดิน ซึ่งพบอย่างแพร่หลายในพื้นที่สูงทางตอนเหนือของประเทศไทย และลดปัญหาการเสื่อมโทรมของดิน ภายใต้ระบบการปลูกพืชแบบเข้มข้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพและผลผลิตของดินที่ใช้ปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่ศึกษา
2. เพื่อทดสอบรูปแบบการจัดการปุ๋ยตามที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่ศึกษา
3. เพื่อหาแนวทางลดปัญหาปุ๋ยตกค้างในดินที่ใช้ปลูกผักกาดหอมห่อภายใต้สภาพโรงเรือนในพื้นที่ศึกษา

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของผักกาดหอมห่อ

ผักกาดหอมห่อมีถิ่นกำเนิดในยุโรปและเอเชีย เป็นพืชที่ปลูกกันมาเป็นเวลานานกว่า 2,500 ปี (Thompson and Kelly, 1978) ผักกาดหอม (lettuce) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) (นิพนธ์, 2549) เป็นวงศ์ค่อนข้างใหญ่ แต่ส่วนใหญ่เป็นสายพันธุ์ป่ามีเพียงไม่กี่ชนิดที่นำมาปลูกเพื่อการค้า โดย Compositae คือ กลุ่มพืชที่มีก้านดอกเดี่ยว มีช่อดอกบนจำนวนมาก ส่วน Asteraceae คือ กลุ่มพืชที่เนื้อเยื่อมีสารคัลลายน้ำนมในลำต้นและส่วนอื่น ๆ lettuce จึงมีความหมายว่า น้ำนมจากพืช พืชอื่นที่อยู่วงศ์นี้ ได้แก่ อาติไซค์ (Cynara) ทานตะวัน (Helianthus) และ เบญจมาศ (Chrysanthemum) นอกจากนี้ยังมีพืชตระกูลหญ้าอยู่หลายสายพันธุ์รวมอยู่ด้วย

ผักกาดหอมสามารถจำแนกตามลักษณะ ขนาดและรูปร่างของใบ ระดับของการห่อหุ้ม และลักษณะอื่น ๆ ออกได้เป็น 5 ประเภท คือ Crisphead, Butterhead, Stem Leaf หรือ Bruching, Cos หรือ Romine พันธุ์ที่ทนร้อนได้ดีที่สุดคือ พันธุ์ใบ (leafy type) Butterhead และ Crisp Head ตามลำดับ *Lactuca* เป็นชื่อของผักกาดหอมมาจากภาษาละติน หมายถึง พืชที่มียางสีขาวเหมือนน้ำนม (Plant's milky) ซึ่งเป็นสารเคมีอินทรีย์ ชื่อ Lactucerin หรือ Lactucons นอกจากนี้ผักกาดหอมยังมีสารประกอบจำพวก Aromatic คือ Lactucopirin ที่ทำให้เกิดรสขมด้วย โดยจะขมมากเมื่อปลูกในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงเกินไป อากาศร้อนและแห้ง (Shoemaker, 1953)

ผักกาดหอมห่อ (Crisphead lettuce) เข้าสู่ประเทศไทยเมื่อใดไม่มีหลักฐานปรากฏที่แน่ชัด แต่ในปัจจุบันนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในหมู่ผู้บริโภคผักสลัดในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผักที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วไป ประเภทที่นิยมปลูกคือ Crisphead ซึ่งมีลักษณะห่อหุ้มแน่น ใบค่อนข้างหนา ทำให้สามารถขนส่งไปยังแหล่งรับซื้อได้ในระยะทางที่ไกลเพราะไม่เกิดการเสียหายง่าย (Thomson, 1979) สำหรับการปลูกในประเทศไทยสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ปลูกได้ผลดีที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม-เมษายน ชนิดของผักกาดหอมห่อที่ปลูกกันบนที่สูงทางภาคเหนือในประเทศไทยมี 3 ชนิด (ประสิทธิ์, 2549) ได้แก่

1. ชนิดหัวห้วนแน่น (Crisphead) ลักษณะใบบาง กรอบ เปราะง่าย เห็นเส้นกลางใบชัดเจน ใบห่อเป็นหัวแน่นแข็งคล้ายกะหล่ำปลี เป็นชนิดที่นิยมกันมากทางการค้าเพราะสามารถขนส่งได้สะดวก มีการสูญเสียย่อย ผักกาดหอมชนิดนี้ ได้แก่ พันธุ์ Great Lake, Ballard Fame, Imperial และ Georgia เป็นต้น

2. ชนิดหัวห้วนไม่แน่น (Butterhead) ลักษณะห่อเป็นหัวหลวม ใบจะอ่อนนุ่มและผิวใบมัน ใบไม่กรอบเหมือนชนิดหัวห้วนแน่น ใบที่ซ้อนอยู่ข้างในจะมีลักษณะเหมือนถูกเคลือบด้วยน้ำมันหรือเนย คืออ่อนนุ่มและเป็นเมือกกลื่น ๆ ใบข้างในซ้อนทับกันแน่นพอประมาณ สีเหลืองอ่อนคล้ายเนย เป็นผักกาดหอมชนิดที่ชอบอากาศหนาวเย็น ไม่ทนทานต่ออากาศร้อน แต่อายุการเก็บเกี่ยวจะเร็วกว่าชนิดหัวห้วนแน่น พันธุ์ที่นิยมได้แก่พันธุ์ Big Boston และ White Boston เป็นต้น

3. ชนิดหัวห้วนหลวมค่อนข้างยาว (Cos) เป็นผักกาดหอมชนิดที่ใบห่อเป็นรูปกลมยาว ใบมีลักษณะยาวและแคบ ใบแข็ง นิยมกันมากในทวีปยุโรป แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ พันธุ์ที่มีหัวขนาดใหญ่ ได้แก่ พันธุ์ Paris White และ White Heart เป็นต้น พันธุ์ที่มีหัวขนาดเล็ก ได้แก่ พันธุ์ Little Gem

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก ผักกาดหอมห่อมีรากแก้วที่แข็งแรง อวบอ้วน และเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ รากแก้วสามารถยังลึกลงไปในดินได้ถึง 60 เซนติเมตร หรือมากกว่าแต่รากแก้วจะเสียหายในขณะที่ย้ายปลูก รากแขนงและรากฝอยจะแผ่กระจายอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 30 เซนติเมตร โดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ไม่ค่อยแผ่กว้างออกไปมากนัก และปริมาณจะลดลงตามระดับความลึกของดิน ทำให้การดูดซับธาตุอาหารพืชส่วนมากเกิดบริเวณดินบนใกล้ชั้นผิวดิน (Jackson, 1995)

ลำต้น ลำต้นของผักกาดหอมห่อมีลักษณะตั้ง ขื่อสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ ลำต้นจะมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก ๆ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ถึง 2 นิ้ว และเห็นได้ชัดเจนในระยะแทงช่อดอก

ใบ ใบแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ สีใบมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีแดงหรือน้ำตาลปนอยู่ ทำให้มีสีแดง บรอนซ์ หรือน้ำตาลปนเขียว พันธุ์ที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนา เนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหุ้มอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลี ใบที่ห่ออยู่ข้างในจะเป็นมัน บางชนิดมีใบม้วนงอเพราะมีเส้นใบเห็นได้ชัด ขอบใบมีลักษณะเป็นหยัก ขนาดและรูปร่างของใบ ผักกาดหอมจะแตกต่างกันตามชนิด

ดอกและช่อดอก ดอกผักกาดหอมห่อมีลักษณะเป็นช่อ (panicle) ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกตรงบนยอด แต่ละกระจุกประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอกหรือมากกว่า ก้านช่อดอกจะยาวประมาณ 60 เซนติเมตร ช่อดอกแรกจะเกิดที่ยอดก่อน จากนั้นจะเกิดช่อดอกข้างตรงมุมใบขึ้นภายหลัง ช่อดอกที่เกิดจากส่วนยอดโดยตรงจะมีอายุมากที่สุด ส่วนช่อดอกอื่น จะมีอายุรองลงมา ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลือง ตรงโคนเชื่อมติดกัน รังไข่มี 1 ห้อง เกสรตัวเมียมี 1 อัน มีลักษณะเป็น 2 แฉก เกสรตัวผู้ 5 อัน รวมกันเป็นยอดยาวห่อหุ้มก้านเกสรตัวเมียและยอดเกสรตัวเมียไว้

เมล็ด เมล็ดผักกาดหอมเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยว (achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่คนเดียว เมล็ดจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดของผักกาดหอมห่อมีลักษณะแบน ยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็ก ๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีม ความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร

ความต้องการธาตุอาหารของผักกาดหอมห่อ

ไนโตรเจน (Nitrogen) ผักกาดหอมห่อต้องการไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 48-68 กิโลกรัมต่อไร่ และต้องให้ในปริมาณมากขึ้นถ้ามีการชะละลายสูง ผักกาดหอมห่อตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกันไป การใส่ในปริมาณมากไปในตอนแรก ๆ จะทำให้เกิดการชะละลายออกไปจนเลยเขตรากพืชได้ วิธีที่ดีที่สุดคือ การใส่เป็นแถบรอบต้นหรือให้โดยการฉีดพ่น จะได้ผลมากกว่าการโรยปุ๋ยลงไปในเรื่อง เนื่องจากรากพืชจะดูดใช้ประโยชน์ได้ก็ต่อเมื่อรากแพร่กระจายไปถึงร่องได้เท่านั้น แต่โดยทั่วไปการใส่เป็นแถบรอบโคนต้นจะได้ผลดี ประมาณร้อยละ 50 ของไนโตรเจนที่ใส่ลงไป ผักกาดหอมห่อจะใช้น้ำในสัปดาห์สุดท้ายของการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงมีไนโตรเจนเหลือสำหรับถูกดูดซับไปได้โดยไม่มีผลเสียจากการใส่เป็นแถบรอบโคนต้น แต่ควรระวังไม่ควรใส่ปุ๋ยชิดกับต้นจนเกินไป เนื่องจากผักกาดหอมห่อไวต่อความเค็ม (San Luis Hills Farm, 2006)

สำหรับปริมาณของปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมซึ่งได้รับการแนะนำให้ใช้ในดินอินทรีย์ (Histosols) คือ 9 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่หลังจากการปลูกผักกาดหอมห่อแล้วในช่วงที่มีความชื้นที่เหมาะสม หรือผ่านช่วงที่เกิดฝนตกหนักผ่านพ้นไปแล้ว และยังพบว่าหากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงเกินไปจะทำให้คุณภาพของหัวผักกาดหอมห่อลดลงได้ รวมถึงการเกิดโรคต่าง ๆ ตามมาอีกด้วย (Guzman and Sanchez, 1986a; Sanchez *et al.*, 1988 a, b) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Sorensen *et al.* (1993) ที่ประเทศเดนมาร์ก พบว่า อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผักกาดหอมห่อเพื่อการค้าอยู่ที่ 24 กิโลกรัมต่อไร่

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสำหรับผักกาดหอมห่อมีความผันแปรมาก ควรมีการปรับใช้ดังนี้ ดินที่มีค่าปฏิกิริยาดินสูงกว่า 8.4 และดินที่มีแคลเซียมสูง ควรใส่ 3.6 กิโลกรัมต่อไร่ หรือมากกว่า ส่วนดินเหนียวควรใส่ 3.6 กิโลกรัมต่อไร่ (San Luis Hills Farm, 2006)

โพแทสเซียม (Potassium) ปริมาณของปุ๋ยโพแทสเซียมที่เหมาะสมสำหรับผักกาดหอมห่อโดยทั่วไปที่แนะนำ คือ ไม่ควรเกิน 36 กิโลกรัมต่อไร่ และควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมโดยวิธีการหว่านลงในแปลงปลูกก่อนทำการปลูก ควรหลีกเลี่ยงการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่สูงเกินไปเนื่องจากเกลือของโพแทสเซียมที่ละลายได้ จะทำความเสียหายให้กับผักกาดหอมห่อได้ (Guzman and Lucas, 1979; Guzman *et al.*, 1989; Diaz *et al.*, 1988)

แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) และกำมะถัน (Sulfur) ปกติแล้วผักกาดหอมห่อต้องการธาตุทั้ง 3 ธาตุในปริมาณที่น้อย ซึ่งการได้รับธาตุอาหารทั้ง 3 ธาตุจากการให้น้ำชลประทาน หรือจากปุ๋ยที่มีธาตุเหล่านี้เจือปน ก็อาจจะเพียงพอกับความต้องการแล้ว โดยเฉพาะแคลเซียมเป็นธาตุที่มักขาดและมีผลต่อคุณภาพของผลผลิต แต่หากขาดธาตุอาหารทั้ง 3 ธาตุนี้แล้วก็อาจจะเกิดความผิดปกติทางด้านสรีรวิทยาของผักกาดหอมห่อได้ เช่น การเกิดใบไหม้ เป็นต้น (Guzman and Lucas, 1979; Diaz *et al.*, 1988; Guzman *et al.*, 1989)

ธาตุอาหารเสริม หรือจุลธาตุอาหาร (Micronutrients) สำหรับผักกาดหอมห่อที่ปลูกในดินอินทรีย์ แมงกานีส (manganese) ในดินที่มีค่าปฏิกิริยาดินต่ำกว่า 5.7 ไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยนี้ (Forsee, 1940, 1952; Forsee, 1954) โบรอน (boron) ควรมีการใส่ในอัตรา 0.18-0.27 กิโลกรัมต่อไร่ (Sanchez, 1990) ทองแดง (copper) ใส่ปุ๋ยเคมีนี้ในอัตรา 2.16 และ 0.72 กิโลกรัมต่อไร่ในพืชที่ปลูก

ต่อเนื่องกันสองครั้งตามลำดับ (Forsee, 1940; Kretchmer and Forsee, 1964) สังกะสี (zinc) เป็นธาตุที่มักพบปัญหาการขาดแคลนได้ และในดินต่างต้องการปริมาณสังกะสีมากกว่าดินโดยทั่ว ๆ ไป (San Luis Hills Farm, 2006) ควรใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 1.44 กิโลกรัมต่อไร่ (Sanchez, 1990) ส่วนเหล็ก (Iron) โดยทั่วไปมักไม่ค่อยพบการขาดธาตุเหล็กจึงไม่จำเป็นที่จะต้องใส่ปุ๋ยนี้แต่อย่างใด

จากผลการศึกษาของ Hoque *et al.* (2004) พบว่า ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม มีความสำคัญต่อการผลิตผักกาดหอมห่อและคุณภาพอย่างมาก การทดลองใส่ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมไนเตรต จำนวน 0, 17.9, 36.0 และ 54.1 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปซูเปอร์ฟอสเฟต จำนวน 0, 17.9 และ 36.0 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์ จำนวน 0 และ 112 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ที่มีผลต่อ ลูกหิน เบตาแคโรทีน คลอโรฟิลล์เอ และ คลอโรฟิลล์บี และพบว่าได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่ออัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม และพบว่าผักกาดหอมห่อมีคุณภาพดีเมื่อใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราปานกลาง การเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยทั่วไปจะเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในผักกาดหอมห่อ แต่โดยทั่วไปจะทำให้อายุบนชั้นวางลดลง (shelf life) นอกจากนี้ยังพบว่า มีความแตกต่างทางสถิติของปริมาณคลอโรฟิลล์ ลูกหิน และเบตาแคโรทีนในผักกาดหอมห่อ 2 ชนิด และไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างระดับการให้ปุ๋ยในดิน และปริมาณโภชนาการของผักกาดหอมห่อ อย่างไรก็ตามอัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี แตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการใช้ปุ๋ย และพบว่ามีผลต่อการสร้างวิตามินซีด้วย

Jiang (2004) พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโบพิกซ์เป็นดัชนีสำคัญซึ่งชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของผักกาดหอม โดยเฉพาะเรื่องคุณค่าทางโภชนาการ ระดับของธาตุอาหารพืชในเนื้อเยื่อของพืชที่ปลูกในแปลงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ดิน ปุ๋ย และสภาพอากาศ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน อยู่ร้อยละ 3, 0.5 และ 5 ตามลำดับ โดยทำการใส่ในขณะเตรียมแปลงและโรยเป็นแถวหลังจากปลูก พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโบและราก โดยพบว่ามีค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบสูงกว่าในราก ในขณะที่ ฟอสฟอรัสในใบมีความเข้มข้นต่ำกว่าในราก ธาตุไนโตรเจนมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันทั้งในรากและใบ ส่วนจุลธาตุอาหารมีความเข้มข้นในใบต่ำและมีความเข้มข้นสูงในราก โดยธาตุโบรอนในใบและรากมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่าในใบมีความเข้มข้นของอะลูมิเนียมและโซเดียมน้อยกว่าในราก และ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของธาตุอาหารระหว่างผักกาดหอมที่ปลูกในแปลงที่ใส่ปุ๋ยกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย

ซึ่งคาดว่าดินในแปลงทดลองอาจมีความอุดมสมบูรณ์เพียงพอต่อการปลูกผักกาดหอม และ/หรือปุ๋ยอินทรีย์นั้นอาจจะปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ ให้แก่ผักกาดหอม

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

อุณหภูมิ ผักกาดหอมห่อเจริญเติบโตได้ดีในดินในสภาพอากาศเย็น ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ผักกาดหอมมีรสขม เกิดการแทงช่อดอกเร็ว (FAO, 1961; Knott and Deanon, 1970) ในสภาพอุณหภูมิสำหรับการเจริญเติบโตของผักกาดหอมจะช้าลงกว่าในช่วงที่อุณหภูมิสูง (Bakker, 1980) ซึ่งนับว่าอุณหภูมิมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่เหมาะสมในการห่อหัวของผักกาดหอมควรเป็นช่วงอุณหภูมิในช่วง 15-20 องศาเซลเซียส (Knott, 1950)

ช่วงแสง แสงมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตมาก พื้นที่ปลูกผักกาดหอมห่อควรได้รับแสงเต็มที่ตลอดวัน ถ้าผักกาดหอมห่อได้รับช่วงแสงต่อวันยาว และมีความเข้มของแสงต่ำ จะทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น (Kalloo, 1981) ระดับแสงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 18-31 จะทำให้ความยาวของลำต้น จำนวนข้อ เพิ่มขึ้น (Krizek and Ormond, 1980) ช่วงแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งที่มีอิทธิพลต่อการออกดอกของผักกาดหอมห่อ การเปลี่ยนแปลงของตาดอก (Iwana and Motai, 1954) เช่นเดียวกัน ในผักกาดหอมพันธุ์ Butterhead ช่วงแสงมีบทบาทต่อการกำเนิดดอก แต่มีผลเล็กน้อยในผักกาดหอมประเภทใบ (Rappaport and Wittwer, 1956a) และยังพบว่าอิทธิพลของช่วงแสงมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นต่อการพัฒนาของก้านดอก (Knott and Deanon, 1970)

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

สมบัติของดิน ผักกาดหอมห่อสามารถเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิดตั้งแต่ดินร่วนทรายจนถึงดินร่วนเหนียวแต่ปลูกได้ดีในดินร่วนทราย ที่มีการระบายน้ำและการระบายอากาศดี ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) ควรอยู่ระหว่าง 6.0-6.8

ศักยภาพของดิน

ศักยภาพ คือ อำนาจหรือคุณสมบัติที่มีแฝงอยู่ในสิ่งต่าง ๆ อาจทำให้พัฒนาหรือให้ปรากฏเป็นสิ่งที่ประจักษ์ได้ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2525) ที่ดินแต่ละพื้นที่มีศักยภาพที่แตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและสมบัติของดินเอง การใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสมกับศักยภาพของดินนั้นจะทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่ดีเท่าที่ควรและอาจจะส่งผลกระทบต่อตัวของดินเองและสิ่งแวดล้อมได้ Lanyon and Hall (1983) ให้ความเห็นว่าการประเมินที่ดินสามารถช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการที่ดิน การใช้ที่ดิน ตลอดจนการจำแนกศักยภาพของที่ดินได้

การประเมินศักยภาพของดิน

การประเมินศักยภาพการใช้ที่ดินเป็นการแปลข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมบัติและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ของดิน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้ ซึ่งอาจประเมินได้จากสมบัติของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ระบบการประเมินศักยภาพของดินมีหลายระบบได้แก่ ระบบการจำแนกสมรรถนะที่ดิน (land capability classification) ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นการจำแนกที่ดินแบบกว้าง ๆ มีลำดับขั้นการเลือกใช้ประโยชน์ได้หลายทาง (FAO, 1976) ระบบการจำแนกความเหมาะสมของที่ดิน (land suitability classification) ซึ่งแนวทางการจำแนกปรับปรุงมาจาก การประเมินที่ดินขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO) ซึ่งเป็นการจำแนกเพื่อการใช้ตามจุดประสงค์เฉพาะอย่าง (FAO, 1976) สำหรับประเทศไทย กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้นำระบบนี้มาประยุกต์ใช้คือ การจำแนก ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ (land suitability classification for economic crops) และระบบที่นิยมอีกระบบหนึ่งคือ การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้ลักษณะทางเคมี ซึ่งประกอบด้วยปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) และอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation) ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินจะได้จากการประเมินค่าวิเคราะห์ดิน สามารถแบ่งระดับของความอุดมสมบูรณ์ออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับต่ำ ปานกลาง และสูง (กองสำรวจดิน, 2544)

การจำแนกสมรรถนะที่ดิน เป็นแนวคิดในการจำแนกชนิดของดินโดยการแปลความหมาย ข้อมูลดินและรวมกลุ่มชนิดของดิน เพื่อให้มองเห็นภาพพจน์อย่างกว้าง ๆ ของความเหมาะสมของหน่วยแผนที่ดินต่อการปลูกพืช และข้อจำกัดชนิดต่าง ๆ และความรุนแรงของข้อจำกัดนั้น ๆ แนวความคิดเกี่ยวกับสมรรถนะของที่ดินนั้น ได้พัฒนามาเป็นเวลาเกือบ 50 ปีแล้วในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเริ่มต้นจากการทบทวนผลของงานวิจัยต่าง ๆ ทางด้านการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการใช้ที่ดิน (Hockensmith and Steele, 1949) และได้มีการกำหนดเป็นระบบที่ค่อนข้างแน่นอน เมื่อปี ค.ศ. 1961 (เอิบ, 2548; Klingebiel and Montgomery, 1961) อย่างไรก็ตามเมื่อมีการนำระบบสมรรถนะที่ดินนี้ไปใช้ในประเทศต่าง ๆ พบว่าต้องมีการปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมกับลักษณะดิน เทคโนโลยี และการจัดการของประเทศต่าง ๆ (Mc Rae and Burnham, 1981)

สำหรับระบบการจำแนกความเหมาะสมของดินที่ใช้ในประเทศไทยนั้น เป็นระบบที่มีวิวัฒนาการต่อเนื่องมาจากระบบการจำแนกสมรรถนะที่ดิน ซึ่งเป็นการแปลความหมายผลการสำรวจดินเพื่อใช้ในการเกษตร (เอิบ, 2530; Scholten and Oughton, 1977; Panichapong, 1978) ในขั้นอันดับของการจำแนกจะใช้ประเภทการเลือกที่ดิน (land use alternatives) เป็นหลัก แบ่งออกเป็น 5 ประเภทด้วยกัน คือ

1. ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับผลิตพืชชอบน้ำท่วม (Land suitability for flooded annual crop farming) ซึ่งหมายถึงความเหมาะสมของที่ดินต่อการใช้เป็นนาข้าว (paddy rice) แบ่งออกเป็น 5 ขั้น คือ P-I ถึง P-V (P = paddy rice)

2. ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชไร่ที่ดอน (Land suitability for upland [non-flooded crop] farming) แบ่งออกเป็น 5 ขั้น คือ N-I ถึง N-V (N = non-flooded crop)

3. ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับไม้ผล หรือพืชยืนต้นเศรษฐกิจ (Land suitability for fruit trees or commercial tree crop production) แบ่งออกเป็น 5 ขั้น คือ T-I ถึง T-V (T = tree crop ถ้าจะงไม้ผลใช้ F แทน)

4. ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ถาวร (Land suitability for permanent pasture and rangeland livestock farming) แบ่งออกเป็น 3 ขั้น คือ L-I ถึง L-III (L = livestock farming)

5. ความเหมาะสมของที่ดินสำหรับเป็นป่าป้องกันแหล่งต้นน้ำลำธาร (Land suitability for watershed protective vegetation establishment and upkeep) ใช้อักษรย่อว่า W และไม่มีการแบ่งออกเป็นชั้นย่อย

ชั้น I ของทุกประเภทการใช้ จะเหมาะสมมากที่สุด และชั้นสุดท้าย V หรือ III จะเป็นชั้นที่แสดงว่าไม่เหมาะสมต่อการใช้ประเภทนั้น ๆ

อย่างไรก็ตามการประเมินศักยภาพที่ดินเพื่อที่จะใช้เปรียบเทียบกับในแต่ละพื้นที่ควรที่จะพิจารณาความเหมาะสมกับพืชชนิดนั้น ๆ จากความต้องการของพืช

ผลผลิตดิน

ผลผลิตดิน (Soil productivity) หมายถึง ความสามารถของดินในการทำให้พืชที่ปลูกมีผลผลิตได้ระดับหนึ่งภายใต้การดูแลรักษาและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (คณาจารย์ภาควิชา ปฐพีวิทยา, 2544) หรือการจัดการระบบหนึ่ง (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา, 2551) ผลผลิตของดินขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินและปัจจัยอื่นหลาย ๆ ประการ เช่น ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ความชื้น อุณหภูมิ แสงแดด ความร่วนซุยของดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อินทรีย์วัตถุของดิน การป้องกันกำจัดโรคแมลง การจัดการดิน ซึ่งเป็นการจัดการเกี่ยวกับระบบการผลิตพืช เช่น การเตรียมดิน การให้น้ำ และการกำจัดวัชพืช เพื่อส่งเสริมผลผลิตของดินให้สูงสุด

ผลผลิตของดินถูกควบคุมด้วยหลายปัจจัย จึงเกิดความแตกต่างในการให้ผลผลิตของดินแต่ละชนิด เพราะมีการตอบสนองต่อปัจจัยการผลิตต่างชนิดกันในแต่ละสภาพพื้นที่ (มุกดา, 2544) อิศริยาภรณ์ (2538) ได้ศึกษาผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตติดต่อกัน 20 ปี ต่อสมบัติและผลผลิตของดิน พบว่าถ้าใช้แปลงปลูกข้าวโพดที่มีใส่ปุ๋ยเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยในอัตรา (28.8-28.8 กิโลกรัม N-P₂O₅ ต่อไร่) ติดต่อกันนาน 20 ปี ดินในแปลงที่ใส่ปุ๋ยสองชนิดนี้ติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะมีความสามารถในการให้ผลผลิตของดินสูงกว่ากรณีที่ไม่ใส่ปุ๋ย

ธัญวรัตน์ (2541) ได้ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและเชื้อจุลินทรีย์ต่อผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกในดินที่มีฟอสฟอรัสสูง พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในดินที่มีฟอสฟอรัสสูงกว่า

มีแนวโน้มที่ผลผลิตน้ำหนักราก น้ำหนักแห้ง และจำนวนใบจะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ผักกาดหอมที่ปลูกในดินที่มีฟอสฟอรัสต่ำกว่า โดยการใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟต นั้นไม่ได้ช่วยทำให้ผลผลิตของผักกาดหอมเพิ่มขึ้น

ปริมาณการตกค้างของธาตุอาหารพืชในดิน

พืชผักเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น เจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีความต้องการธาตุอาหารจากดินในปริมาณมากในระยะเวลาสั้น ๆ ทำให้เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง และเมื่อมีการใช้ปุ๋ยอย่างต่อเนื่องกันเป็นเวลานานหลายปีก็จะทำให้เกิดการสะสมหรือมีการตกค้างของธาตุปุ๋ยบางชนิดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม นิลประไพ และคณะ (2518) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระดับฟอสฟอรัสในดินระหว่างตัวอย่างเดิมที่อยู่ในสภาพดินนา กับแปลงผักปลูกติดต่อกัน 2 ถึง 5 ปี พบว่า มีการสะสมของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คือ จากปริมาณเริ่มแรกเพียง 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อมาเมื่อมีการเปลี่ยนการใช้ดินจากการทำนา มาปลูกผักเป็นเวลานานกว่า 5 ปี ดินมีการสะสมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณถึง 539 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับโพแทสเซียมจากปริมาณเริ่มแรก 243 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อมาเมื่อดินถูกเปลี่ยนสภาพจากการทำนา มาเป็นแปลงปลูกผัก ทำให้เกิดการสะสมโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเป็น 390 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ไพบุญ และทัศนีย์ (2537) ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินบนที่เก็บจากสวนผักและสวนผลไม้ในเขตอำเภอดำเนินสะดวก พบว่า ดินในเขตอำเภอดำเนินสะดวกดินมักจะมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูง โดยเฉพาะดินจากสวนหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงถึง 1,263 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เล็ก (2548) ได้รวบรวมผลการวิเคราะห์ทางเคมีของพื้นที่ปลูกผักใน 9 สถานีวิจัยโครงการหลวง พบว่า การสะสมปริมาณธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสและธาตุโพแทสเซียมมีปริมาณสูงมากเกินความต้องการที่พืชจะใช้หมด ในประเทศไทยการประเมินปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการว่าจะเพียงพอหรือไม่นั้น ไนโตรเจนจะประเมินจากปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งปริมาณการตกค้างของไนโตรเจนในดินจากปุ๋ยมีน้อยมาก ส่วนใหญ่จะสูญเสียโดยการละลายหรือระเหยออกไป ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะประเมินจากค่าวิกฤติ (critical value) ของผลการวิเคราะห์ดิน ค่าวิกฤติที่ใช้สำหรับพืชทั่วไปรวมถึงพืชผัก ฟอสฟอรัสมีค่าระหว่าง 15-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม 40-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในพื้นที่ในโครงการหลวง มีพิสัยอยู่ระหว่าง 85-409 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็น

6-27 เท่าของปริมาณที่พืชต้องการ ส่วนโพแทสเซียมช่วงมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 276-468 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็น 7-12 เท่าของปริมาณที่พืชต้องการ ถ้าประเมินเป็นรายแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่พบสูงสุดมีมากถึง 900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็น 45-60 เท่า ขณะที่โพแทสเซียมมีอยู่ถึง 808 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็น 9-23 เท่าของปริมาณที่พืชต้องการ สาเหตุที่มีการสะสมของธาตุอาหารพืชในดินสูง เนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน

ศพิษา (2550) ได้ศึกษาการจัดการปุ๋ยผักกาดหอมห่อในดินที่มีฟอสฟอรัสตกค้างสูง พบว่าการปลูกครั้งแรก ผลผลิตที่ได้รับจากตำรับที่ใส่ปุ๋ยผักใบสูตรมูลนิธิโครงการหลวง ($N-P_2O_5-K_2O$ เท่ากับ 154.13, 16.70 และ 97.78 กิโลกรัมต่อไร่) แต่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณ 3/4 ของสูตรดังกล่าว ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 3,345 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนในครั้งที่ 2 และ 3 ผลผลิตสูงสุดได้จากการใช้ปุ๋ยชนิดเดียวกันแต่ลดปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสลงมาเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำ โดยให้ผลผลิตเท่ากับ 2,528 และ 2,691 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ขณะที่ตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยที่แนะนำโดยศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง ($N-P_2O_5-K_2O$ เท่ากับ 79.74, 47.81 และ 58.48 กิโลกรัมต่อไร่) ให้ผลผลิตโดยเฉลี่ยต่ำสุดในการปลูกครั้งแรกเท่ากับ 2,209 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการปลูกครั้งที่สอง ตำรับที่มีการลดปริมาณฟอสฟอรัสลงเหลือ 1/4 ของตำรับเปรียบเทียบ ให้ผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 2,135 กิโลกรัมต่อไร่ และการปลูกครั้งสุดท้ายผลผลิตต่ำสุดได้จากปุ๋ยสูตรที่แนะนำโดยมูลนิธิโครงการหลวง (ตำรับเปรียบเทียบ) ซึ่งได้ผลผลิตเท่ากับ 2,168 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม ผลผลิตผักกาดหอมห่อของแต่ละตำรับการทดลองมีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติในการปลูกทั้งสามครั้ง สำหรับปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลองแต่ไม่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ใส่กับการสะสม ขณะที่ไนโตรเจนและโพแทสเซียม พืชสามารถดูดขึ้นไปสะสมในระดับที่เพียงพอแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลองต่าง ๆ ในกรณีของ แคลเซียมและแมกนีเซียมนั้น พืชมีแนวโน้มว่ามีการดูดใช้ไม่ค่อยเพียงพอ จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อปลูกผักกาดหอมห่อในดินที่มีฟอสฟอรัสตกค้างอยู่สูงสามารถลดปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากฟอสฟอรัสมัถุขีตกค้างอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลายาวนาน การเพิ่มผลผลิตผักกาดหอมห่อเมื่อปลูกในดินที่มีฟอสฟอรัสตกค้างสูง ควรมีการพิจารณาถึงการใช้ธาตุอาหารรองเนื่องจากปริมาณที่พืชดูดขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่อค่อนข้างต่ำ ขณะที่จุลธาตุอาหารก็ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจาก ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหารบางตัวอาจถูกบดบังด้วยฟอสฟอรัสที่เหลืตกค้างอยู่ในดินสูงได้ (สุรศักดิ์, 2516; Blair et al., 1990; Olson, 1965; Katyal, 1992; Prasad and Power, 1997)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดผักกาดหอมห่อพันธุ์ Fame
1. กระบะเพาะและวัสดุเพาะต้นกล้า (ขี้เถ้าแกลบ:ขุยมะพร้าว:ปุ๋ยคอก อัตราส่วน 1:1:1)
2. ปุ๋ยเคมี
 - 3.1 ปุ๋ยยูเรีย (Urea; $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) สูตร 46-0-0
 - 3.2 ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple superphosphate; TSP) สูตร 0-46-0
 - 3.3 ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride; KCl) สูตร 0-0-60
4. อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับเตรียมแปลงปลูก ได้แก่ ไม้ปักแปลงปลูก เชือก เทปวัดระยะ
5. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน
6. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างพืช
7. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช
8. pH meter
9. Atomic absorption spectrophotometer
10. Micro Kjeldahl distillation apparatus
11. Digestion apparatus
12. Electric conductivity meter
13. Spectrophotometer
14. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
15. เครื่องชั่ง 2 และ 3 ตำแหน่ง
16. เครื่องบดตัวอย่างดินและตะแกรงร่อนดิน ขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร
17. เครื่องบดตัวอย่างพืช
18. อุปกรณ์ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

วิธีการ

1. การวิเคราะห์ดินและพืชในห้องปฏิบัติการ

1.1 การศึกษาสมบัติของดินก่อนการทดลอง

นำตัวอย่างดินที่เก็บที่ 3 ระดับชั้นความลึก (0-20, 21-40 และ 41-60 เซนติเมตร) จากแปลงผักกาดหอมห่อของเกษตรกรจำนวน 2 แปลง ในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ บริเวณบ้านม่อนยะเหนือ และบ้านป่าเกี๊ยะน้อย มาผึ่งให้แห้งในที่ร่มเลือกเศษซากพืชและก้อนหินออก จากนั้นนำตัวอย่างดินมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติของดิน

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

- 1) ปรากฏิยาดิน (pH) วัดโดยใช้เครื่อง pH meter ในอัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (Thomas, 1996)
- 2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934)
- 3) ปริมาณค่ารวมที่สกัดได้ (extractable K, Ca, Mg and Na) โดยสกัดด้วย NH_4OAc pH 7.0 แล้ววิเคราะห์ด้วย atomic absorption spectrophotometer
- 4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดด้วยวิธี Bray II แล้ววิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (Bray and Kurtz, 1945)
- 5) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) สกัดโดยวิธี NH_4OAc pH 7.0 แล้ววิเคราะห์ปริมาณโดย atomic absorption spectrophotometer (Pratt, 1965)
- 6) ปริมาณไนโตรเจนรวม (total N) โดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965)

7) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) โดยใช้การละลายแคตไอออนบวกด้วย 1M NH_4OAc ที่ pH 7.0 แล้วไล่ที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%) ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณหาความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Chapman, 1965)

8) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation percentage) โดยการคำนวณจากปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ แล้วหารด้วยผลรวมของเบสรวมที่สกัดได้กับปริมาณความเป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ (National Soil Survey Center, 1996) ดังสูตร

$$\% \text{ BS} = \frac{\text{extractable bases}}{\text{extractable bases} + \text{exchangeable acidity}} \times 100$$

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

วิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคดินเพื่อการจัดชั้นเนื้อดิน วิเคราะห์โดยวิธีไปเปต (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) แล้วนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาแจกแจงประเภทเนื้อดินโดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993)

2. การปลูกผักกาดหอมห่อในแปลงทดลอง

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ประกอบด้วย 9 ดำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้

- ดำรับที่ 1 ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี
- ดำรับที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีทั้งสองครั้งในอัตราครึ่งหนึ่งของอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในดำรับที่ 3
- ดำรับที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร ประกอบด้วยปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 15 กรัมต่อต้น (หลังย้ายกล้าปลูกได้ 1 สัปดาห์) และปุ๋ย 13-13-21 ในอัตรา 15 กรัมต่อต้น (20-

25 วันก่อนเก็บเกี่ยว)

- ตำรับที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีทั้งสองครั้งในอัตรา 1.5 เท่าของอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในตำรับที่ 3
- ตำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร แต่ลดปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสลงครึ่งหนึ่ง
- ตำรับที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
- ตำรับที่ 7 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร แต่ลดปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมลงครึ่งหนึ่ง
- ตำรับที่ 8 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม
- ตำรับที่ 9 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

2.2 การปลูก

เตรียมแปลงปลูกในโรงเรือนที่คลุมหลังคาด้วยพลาสติก แปลงย่อยมีขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร ใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ คลุกเคล้าให้เข้ากันและปรับพื้นที่ให้มีความสม่ำเสมอ ขุดหลุมปลูกโดยมีระยะระหว่างต้นและระหว่างแถว เท่ากับ 40 x 40 เซนติเมตร

ปลูกโดยการเพาะกล้าในกระบะเพาะก่อน เมื่อต้นกล้ามีอายุ 25-30 วันหรือมีใบจริง 3-4 ใบ จึงทำการย้ายกล้าลงปลูกในแปลงปลูก โดยเลือกเฉพาะต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์ไปปลูกในหลุมปลูกที่เตรียมไว้

2.3 การดูแลรักษา

การให้น้ำ ผักกาดหอมห่อเป็นพืชที่มีระบบรากตื้น ต้องให้น้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ โดยระยะแรกหลังย้ายปลูก ให้น้ำทุกวัน แต่ไม่ควรและเกินไป ส่วนระยะที่เริ่มห่อหัว ให้น้ำโดยรอบ ๆ โคนต้น เพราะน้ำจะเป็นสาเหตุให้เกิดโรคเน่าและกับหัวได้ และการให้น้ำในระยะหลังนี้พิจารณาจากสภาพความชื้นของดินเป็นหลัก

การใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยมีการแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกใส่เมื่อผักกาดหอมห่อมีอายุได้ 7-10 วัน ในอัตราที่กำหนด ครั้งที่ 2 ใส่เมื่อผักกาดหอมห่อมีอายุได้ 20-25 วัน ในอัตราที่กำหนด (ตารางที่ 1)

2.4. การเก็บเกี่ยว

เก็บเกี่ยวผักกาดหอมห่อที่อายุประมาณ 45-50 วันหลังย้ายกล้าไปปลูกในแปลง โดยพิจารณาจากการเจริญเติบโตและความแน่นของปลี

3. การเก็บตัวอย่างพืช

สุ่มเก็บผักกาดหอมห่อของเกษตรกรทั้งหมด 2 แปลงโดยแต่ละแปลงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 9 ดำรับการทดลอง 4 ซ้ำ นำตัวอย่างพืชที่ได้ไปชั่งแล้วบันทึกน้ำหนักสดเพื่อเปรียบเทียบสภาพของดินในแต่ละแปลง และนำตัวอย่างพืชไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 7 วัน ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างพืช

ตารางที่ 1 แสดงอัตราปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

ดำรับการทดลอง	อัตราปุ๋ยที่ใช้ (กิโลกรัม/ไร่)		
	Urea ^{1/}	TSP ^{2/}	KCl ^{3/}
ดำรับที่ 1	0	0	0
ดำรับที่ 2	51.1	51.1	50.4
ดำรับที่ 3	102.3	102.3	100.8
ดำรับที่ 4	153.4	153.4	151.2
ดำรับที่ 5	102.3	51.1	100.8
ดำรับที่ 6	102.3	0	100.8
ดำรับที่ 7	102.3	102.3	50.4
ดำรับที่ 8	102.3	102.3	0
ดำรับที่ 9	102.3	0	0

^{1/} Urea (46-0-0)

^{2/} Triple superphosphate (0-46-0)

^{3/} Potassium chloride (0-0-60)

4. การวิเคราะห์พืช

การเตรียมตัวอย่างพืชสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสม และปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช โดยการนำตัวอย่างออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วบดจนละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช เก็บตัวอย่างพืชไว้ในถุงกระดาษขนาดเล็ก เพื่อสะดวกในการนำตัวอย่างไปอบอีกครั้ง และนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในห้องปฏิบัติการ โดยบดตัวอย่างพืชที่อบแห้งแล้วด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชอีกครั้งหนึ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ดังนี้

1) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ย่อยสลายโดย H_2SO_4 - Na_2SO_4 - Se mixture และวัดโดยวิธีการกลั่น Kjeldahl method (Jackson, 1965)

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

3) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ย่อยสลายโดย H_2SO_4 - Na_2SO_4 - Se mixture และวัดโดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Mill and Jones, 1996)

4) ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมด (total calcium and magnesium) ย่อยสลายโดย HNO_3 - H_2SO_4 - HClO_4 acid mixture และวัดโดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Mill and Jones, 1996)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดินในบริเวณที่ทำการศึกษา นำมาเปรียบเทียบกับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพื่อหาศักยภาพของดิน ขณะที่ผลผลิตของดิน ได้จากการเปรียบเทียบผลผลิตของผักกาดหอมห่อภายใต้การจัดการแบบเดียวกัน

5.2 วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลของดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารในดิน ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง ผลผลิต และการสะสมธาตุอาหารในต้นพืช เพื่อนำมาใช้เป็น

ข้อมูลสำหรับการปรับใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมต่อการผลิตผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ ให้ได้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและช่วยลดปัญหาการตกค้างของปุ๋ยเคมี

6. สถานที่และระยะเวลาในการทดลอง

6.1. สถานที่ทำการทดลอง

งานทดลองในภาคสนาม ใช้โรงเรือนของเกษตรกรในพื้นที่ที่อยู่ภายใต้การดูแลของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่จำนวน 2 โรงเรือน

การวิเคราะห์ดินและพืชใช้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืชของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

6.2 ระยะเวลาในการทดลอง

ระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2550 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2551

สภาพทั่วไปของบริเวณที่ทำการศึกษ

1. ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่

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

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

2. สภาพภูมิอากาศ

2.1 ปริมาณและการกระจายของน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในปี 2549 มีค่าเท่ากับ 1,477.9 มิลลิเมตร เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุด คือเดือนกันยายน ส่วนช่วงเดือนธันวาคม ถึงเดือนมีนาคมไม่มีฝนตก

2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 22.9 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประมาณ 25.3 และ 18.9 องศาเซลเซียสตามลำดับ เดือนมีนาคมเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 องศาเซลเซียส และเดือนมกราคมมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 8.8 องศาเซลเซียส

3. พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ดำเนินการส่งเสริมพัฒนาอาชีพด้านการเกษตร ด้วยการสนับสนุนพันธุ์พืชที่มีศักยภาพเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ และสนับสนุนปัจจัยการผลิตแก่กลุ่มเกษตรกร แบ่งเป็นพืชผักเมืองหนาว เช่น กะหล่ำปลีแดง ผักกาดหอมห่อ ชูภินี กระเทียมดั้น หอมญี่ปุ่น พาสเลย์ และผักกาดขาวปลี ไม้ผลเมืองหนาว เช่น สาลี่ พลับ พลัม และบ๊วย ไม้ดอกไม้ประดับ เช่น จิบโชฟิลลา เฮอร์ลิฟ และเฟิร์นลี เป็นต้น

1. สันฐานวิทยาของดิน

สภาพพื้นที่ที่ทำการศึกษา แปลงที่ 1 โรงเรือนอยู่ในตำแหน่งสภาพภูมิประเทศที่เป็นตอนบนของดินเขาส่วนต่ำ (upper lower footslope) พื้นที่ที่มีความลาดชันร้อยละ 10 (วัดตามความยาวของเรือนทดลอง) ดินมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นเศษหินเชิงเขาวางตัวอยู่บนวัสดุตกค้างของหินไนส์เนื้อละเอียด (fine-grained gneiss) ดินมีสีน้ำตาลปนแดง



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศของแปลงปลูกผักกาดหอมที่แปลงที่ 1

สภาพพื้นที่ที่ทำการศึกษา แปลงที่ 2 โรงเรือนอยู่ในตำแหน่งสภาพภูมิประเทศที่เป็นตอนบนของดินเขาส่วนต่ำที่มีการปรับระดับ (upper part of graded lower footslope) โดยดินมีเนื้อหยาบกว่าแปลงที่ 1 คาดว่าวัตถุต้นกำเนิดน่าจะเป็นวัสดุตกค้างจากหินไนส์ที่ซึ่งทำให้มีเนื้อหยาบกว่า พื้นที่ที่มีความลาดชันร้อยละ 1 ดินมีสีน้ำตาลปนเหลือง



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศของแปลงปลูกผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

2. สมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางประการ

2.1. สมบัติทางกายภาพ

2.1.1 การกระจายของขนาดอนุภาคและชั้นเนื้อดิน

ผลการศึกษาของการแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 1 พบว่า การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายในชั้นดินบนและชั้นดินล่างของแปลงที่ 1 อยู่ในพิสัย 512-540 กรัมต่อกิโลกรัม โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึก การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายแบ่งอยู่ในพิสัย 131-227 กรัมต่อกิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงตามความลึก สำหรับการแจกกระจายของอนุภาคดินเหนียวพบอยู่ในพิสัย 249-329 กรัมต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ชั้นเนื้อดิน พบว่า ชั้นดินบนและล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีเนื้อละเอียดปานกลาง (ตารางผนวกที่ 7 การแบ่งกลุ่มของชั้นดิน) (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993)

ส่วนผลการศึกษาของการแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ของแปลงที่ 2 แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 1 พบว่า การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายในชั้นดินบนและชั้นดินล่างอยู่ในพิสัย 579-686 กรัมต่อกิโลกรัม โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก การแจกกระจายของ

อนุภาคนาตรหายเป็งอยู่ในพิสัย 149-236 กรัมต่อกิโลกกรัม โดยมีแนวโน้มนลดลงตามความลึก สำหรับการแจกกระจายของอนุภาคดินเหนียวพบอยู่ในพิสัย 165-186 กรัมต่อกิโลกกรัม และมีแนวโน้มนลดลงตามความลึก เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ชั้นเนื้อดิน พบว่า ชั้นดินบนและล่างเป็นดินร่วนปนทราย มีเนื้อหยาบปานกลาง (ตารางผนวกที่ 7) การแบ่งกลุ่มของชั้นดิน) (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993)

2.2. สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา แสดงผลไว้ในตารางผนวกที่ 3 และ 4 โดยพิจารณาตามเกณฑ์การประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินตามตารางผนวกที่ 10 (เอิบ, 2548; Land Classification Division and FAO Protect Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993) ผลการศึกษามีดังนี้

2.2.1 ปฏิกริยาดิน

ค่าปฏิกริยาดินวัดโดยใช้ดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:1 พบว่า ชั้นดินบนเป็นด่างเล็กน้อยและเป็นกรดเพิ่มขึ้นในดินล่าง มีค่าอยู่ในพิสัย 6.1-7.4 สำหรับแปลงที่ 1 ส่วนแปลงที่ 2 เป็นกลางในดินบนและเป็นกรดปานกลางในดินล่าง มีค่าอยู่ในพิสัย 5.7-6.9

2.2.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ทำการศึกษา พบว่า ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูงทั้งสองแปลง โดยแปลงที่ 1 มีค่าเท่ากับ 36 กรัมต่อกิโลกกรัม ขณะที่แปลงที่ 2 ชั้นดินบนมีปริมาณเท่ากับ 39 กรัมต่อกิโลกกรัม สำหรับชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงในแปลงที่ 1 โดยพบอยู่ในพิสัย 23 กรัมต่อกิโลกกรัม และอยู่ในระดับปานกลางในแปลงที่ 2 โดยพบอยู่ในพิสัย 18-19 กรัมต่อกิโลกกรัม โดยจะเห็นได้ว่า ชั้นดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าชั้นดินล่างอย่างชัดเจน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ดินทั้งสองแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึก ทั้งนี้เนื่องจากชั้นดินบนเป็นชั้นที่ทับถมของเศษพืช ใบ ลำต้น ที่ปกคลุมอยู่บนผิวดินและรากพืช เมื่อสลายตัวจึงทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินบน อีกทั้งการเตรียมแปลงปลูกแต่ละครั้งที่ปลูกยังใส่ปุ๋ยคอกเมื่อโลกบจะสลายตัวตามธรรมชาติ ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่ในชั้นดินบนมากกว่าชั้นดินล่าง (Thomson and Troeh, 1978)

2.2.3 ปริมาณไนโตรเจนรวม

ปริมาณไนโตรเจนรวมของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง มีปริมาณเท่ากับ 2.17 และ 2.10 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก อยู่ในพิสัย 0.99-1.58 และ 0.85-1.06 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยชั้นดินบนของทั้ง 2 พื้นที่ที่ทำการศึกษามีปริมาณไนโตรเจนรวมสูงกว่าชั้นดินล่างและมีแนวโน้มลดลงตามความลึกซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนในดิน (ไพบูลย์, 2528; Brady and Weil, 1999)

2.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า ในชั้นดินบนของแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่าเท่ากับ 1,006.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชั้นดินล่างมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมากเช่นกัน โดยพบอยู่ในพิสัย 42.9-109.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณดินเหนียวที่เพิ่มมากขึ้นตามความลึก ซึ่งจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง (Brady and Weil, 1996) ส่วนแปลงที่ 2 ก็พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงมากเช่นเดียวกัน ทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง โดยชั้นดินบนมีค่าเท่ากับ 83.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในช่วงพิสัย 46.94-918.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่าชั้นดินบน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเนื้อดินของแปลงที่ 2 ที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบ โดยมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายทั้งในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง จึงทำให้เกิดการชะละลายฟอสฟอรัสลงไปตามสะดวกในชั้นดินล่าง (California Fertilizer Association, 1995) และอิทธิพลการชะละลายที่ไม่รุนแรงมากพอที่จะชะละลายธาตุดังกล่าวให้ลงไปในระดับลึก (Sanchez *et al.* 1983; Brady, 1990)

การที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ทำการศึกษามีอยู่ในระดับที่สูงมาก เนื่องมาจากการจัดการดินและปุ๋ยในการเพาะปลูกที่ทำให้มีผลแตกต่างจากการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในพื้นที่ ซึ่งโดยปกติแล้วดินในสภาพธรรมชาติมักมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สะสมอยู่ในระดับต่ำ เพราะฟอสฟอรัสไม่ใช่ธาตุที่มีอยู่ในปริมาณมากในองค์ประกอบของหินดินดาน ประกอบกับการปลูกภายใต้สภาพโรงเรือนจึงทำให้มีการชะละลายต่ำ ทำให้มีการสูญเสียธาตุฟอสฟอรัสออกไปจากดินน้อยกว่าสภาพการทำการเกษตรนอกโรงเรือนโดยทั่วไป

2.2.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ พบว่า ในชั้นดินบนของพื้นที่ที่ทำการศึกษาทั้ง 2 บริเวณ มีค่าอยู่ในระดับสูงมากเท่ากับ 328.8 และ 492.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 ตามลำดับ เช่นเดียวกับในชั้นดินล่างที่พบอยู่ในระดับสูงมากเช่นกัน โดยพบอยู่ในพิสัย 111.0-292.1 และ 133.2-158.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยที่ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึก ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่มีค่าสูงมากในชั้นดินบนและชั้นดินล่าง แต่มีแนวโน้มลดลงตามความลึก อาจเป็นผลมาจากอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งโดยทั่วไปมีการสะสมอยู่ในดินบนมากกว่าดินล่าง เมื่อมีการย่อยสลายอินทรีย์สารจะมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์บางส่วนแก่ดิน (Brady and Weil, 1999) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินล่าง มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก ซึ่งอาจเป็นผลจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินไนส์ ซึ่งมีแร่ไมกาเป็นองค์ประกอบสำคัญ เมื่อสลายตัวแร่นี้จะให้โพแทสเซียมแก่ดิน (Sanchez *et al.*, 1983) ทั้งนี้อาจรวมไปถึงแร่โพแทสเซฟอสเฟตสปาร์ด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

โดยปกติแล้วดินที่มีระดับของฟอสฟอรัสเกินกว่า 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมเกินกว่า 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 8) จัดได้ว่าเป็นดินที่มีธาตุทั้งสองอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่สูงมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในบริเวณแปลงที่ศึกษาอยู่ในระดับที่สูงมาก แสดงให้เห็นว่า ดินในโรงเรียนทดลองที่มีการใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง และมีการใช้ปุ๋ยเคมีมาเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการสะสมธาตุทั้งสองในดินอยู่ในปริมาณที่สูงมาก เนื่องจาก พืชที่ปลูกไม่สามารถดูดไปใช้ได้หมด ธาตุฟอสฟอรัสในส่วนที่ถูกตรึงก็จะเริ่มปลดปล่อยออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์เมื่อดินอยู่ในสภาพที่เหมาะสม ขณะที่แร่ไมกาที่เป็นองค์ประกอบของหินต้นกำเนิดดิน และ/หรือปุ๋ยโพแทสเซียมที่เกษตรกรใช้ในบริเวณแปลงที่ทำการศึกษาก็ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เหลือตกค้างมากเช่นกัน (เล็ก, 2548; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

2.2.6 ปริมาณเบสที่สกัดได้

ปริมาณเบสที่สกัดได้ประกอบด้วยโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ซึ่งปริมาณที่พบมีดังนี้

1) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ สอดคล้องกับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ซึ่งในชั้นดินบนของแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในระดับสูง (0.84 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในแปลงที่ 2 ชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก (1.26 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) สำหรับในชั้นดินล่างมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำถึงสูง พบอยู่ในพิสัย 0.28-0.75 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในแปลงที่ 1 และ อยู่ในระดับปานกลาง มีพิสัยตั้งแต่ 0.34-0.41 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในแปลงที่ 2 มีแนวโน้มลดลงตามความลึกในทั้ง 2 พื้นที่ที่ทำการศึกษา ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในชั้นดินบนจะมีปริมาณสูงกว่าในชั้นดินล่างและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้เป็นเพียงร้อยละ 1-2 ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่เหลือส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Brady and Weil, 1999)

2) ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ของดิน ในชั้นดินบนและชั้นดินล่างของแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง โดยอยู่ในพิสัย 5.09-8.49 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในแปลงที่ 2 นั้น ชั้นดินบนมีปริมาณอยู่ในระดับปานกลาง (8.43 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำ (3.96-4.79 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ซึ่งปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ของดินในชั้นดินบนจะมีปริมาณสูงกว่าในชั้นดินล่าง และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก

3) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ ในชั้นดินบนและชั้นดินล่างของแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ พบในพิสัย 0.68-0.82 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนแปลงที่ 2 ค่าวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ ในชั้นดินบนอยู่ในระดับปานกลาง (1.23 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำ โดยพบอยู่ในพิสัย 0.54-0.81 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ของดินในชั้นดินบนจะมีปริมาณสูงกว่าในชั้นดินล่าง และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก

4) ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ ในชั้นดินบนของแปลงที่ 1 มีปริมาณในระดับที่ต่ำมาก (0.09 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ซึ่งใกล้เคียงกับชั้นดินล่างที่มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก (0.08-0.11 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ส่วนปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ของแปลงที่ 2 ในชั้นดินบนพบอยู่ในระดับปานกลาง (0.33 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ส่วนดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก อยู่ในพิสัย 0.54-0.81 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ในดินที่ทำการศึกษาอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก เนื่องจากดินโดยส่วนใหญ่จะมีแรงดูดยึดไอออนของแคลเซียม แมกนีเซียมและโพแทสเซียมได้ดีกว่าโซเดียม ประกอบกับโซเดียมเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้สูง และเคลื่อนย้ายได้ง่ายจึงทำให้โซเดียมสูญหายไปจากดินได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; Brady and Weil, 1999)

2.2.7 ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้

ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ของดินในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 บริเวณ หาได้จากผลรวมของปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ พบว่า ในชั้นดินบนและดินชั้นล่างอยู่ในระดับปานกลาง โดยพบอยู่ในพิสัย 6.14-10.25 และ 5.04-11.25 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ในชั้นดินบนจะมีปริมาณสูงกว่าในชั้นดินล่างและมีแนวโน้มค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดช่วงความลึก อาจเนื่องมาจากการชะละลายที่ไม่รุนแรงมากพอที่จะชะละลายธาตุดังกล่าวให้ลงไปในระดับลึก (Sanchez *et al.*, 1983; Brady, 1990)

2.2.8 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนโดยวิธีชะละลายไอออนบวกด้วย 1M NH_4OAc , pH 7 (Chapman, 1965) ในชั้นดินบนแปลงที่ 1 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง (21.11 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ส่วนแปลงที่ 2 อยู่ในระดับปานกลาง (13.74 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และในชั้นดินล่าง แปลงที่ 1 อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ (11.75-8.75 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ส่วนแปลงที่ 2 อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (7.99-9.12 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินที่ทำการศึกษา มีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน และปริมาณอินทรียวัตถุ (Sanchez, 1976; Young, 1976) ซึ่งในชั้นดินบนค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่สูงกว่าดินล่างเป็นผลมาจากปริมาณอินทรียวัตถุในชั้นดินบนที่มีปริมาณสูงกว่าชั้นดินล่างมาก

ตารางที่ 2 แสดงค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูกบริเวณแปลงที่ 1

Depth	pH 1:1	OM	Avail. P	Avail. K	Extractable base			
					Ca	Mg	K	Na
(cm)	H ₂ O	(g kg ⁻¹)	(-----mg kg ⁻¹ -----)		(-----cmol kg ⁻¹ -----)			
0-20	7.4	36	1006.0	328.8	8.49	0.82	0.84	0.09
21-40	6.1	32	109.0	292.1	7.24	0.80	0.75	0.11
41-60	6.5	23	42.9	111.0	5.09	0.68	0.28	0.08

2.2.9 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส

อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสในดินที่ทำการศึกษาในดินบนและดินล่าง มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง อยู่ในพิสัยร้อยละ 37.22-44.51 ซึ่งดินมีความอิ่มตัวด้วยเบสสูงกว่าร้อยละ 35 อาจเนื่องจากอิทธิพลของการชะละลายเกิดไม่รุนแรงมากนัก เพราะอยู่ภายใต้สภาพโรงเรือน ทำให้เบสที่แตกไอออนยังคงหลงเหลือและสะสมอยู่ในดินได้ (Sanchez *et al.* 1983; Brady, 1990) ประกอบกับดินในพื้นที่ศึกษามีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินไนส์ ซึ่งมีแร่องค์ประกอบเป็นแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และแร่ในกลุ่มแพลซิโอเคลส ได้แก่ แร่แอลไบต์ และอะนอร์ไทต์ เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ธาตุที่เป็นเบสคือ ธาตุโพแทสเซียม แคลเซียมและโซเดียม ตามลำดับ จึงทำให้ดินมีแหล่งสำรองของธาตุดังกล่าวค่อนข้างสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ตารางที่ 3 แสดงค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูกบริเวณแปลงที่ 2

Depth	pH 1:1	OM	Avail. P	Avail. K	Extractable base			
					Ca	Mg	K	Na
(cm)	H ₂ O	(g kg ⁻¹)	(-----mg kg ⁻¹ -----)		(-----cmol kg ⁻¹ -----)			
0-20	6.9	39	83.5	492.8	8.43	1.23	1.26	0.33
21-40	5.7	19	918.5	158.6	3.96	0.54	0.41	0.13
41-60	5.8	18	46.9	133.2	4.79	0.81	0.34	0.08

3. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (ตารางผนวกที่ 8) ตามวิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจากผลการวิเคราะห์ดิน (กองสำรวจดิน, 2523) ซึ่งใช้ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดิน อันได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณ

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และอัตราร้อยละความอิ่มตัวของเบส ซึ่งได้แสดงวิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้ในตารางที่ 4. และ 5 ดินที่ทำการศึกษาเมื่อนำมาประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่า ทั้ง 2 แปลง ดินบนที่มีความลึก 0-20 เซนติเมตร ดินมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับสูง และในระดับความลึกที่ 21-40 เซนติเมตร แปลงที่ 1 ดินมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับสูงเช่นกัน แต่ในระดับความลึกเดียวกันในแปลงที่ 2 ดินมีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลาง และชั้นดินล่างสุด (41-60 เซนติเมตร) ของทั้ง 2 พื้นที่ที่ทำการศึกษาดินมีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลาง

4. การประเมินศักยภาพของดิน

การประเมินศักยภาพของดินโดยใช้วิธีการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นเกณฑ์ในการประเมินศักยภาพของดินนั้น แสดงให้เห็นว่าดินที่ทำการศึกษาทั้ง 2 บริเวณนั้นมีศักยภาพในการผลิตใกล้เคียงกัน โดยแปลงที่ 1 ดินมีศักยภาพสูงกว่าแปลงที่ 2 เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากค่าวิเคราะห์ดินที่นำมาใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินนั้น พบว่า เมื่อรวมคะแนนจากทุกช่วงชั้นความลึกของดินแล้ว แปลงที่ 1 มีระดับความอุดมสมบูรณ์ของชั้นดินบน (0-20 เซนติเมตร) อยู่ในระดับสูง ชั้นถัดลงมาอยู่ในระดับสูง และอยู่ในระดับปานกลางในชั้นดินล่าง ส่วนแปลงที่ 2 นั้นชั้นดินบนมีความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับสูง และอยู่ในระดับปานกลางในชั้นดินล่าง ตัวอย่างเช่น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์วัตถุ เห็นได้ว่า แปลงที่ 1 มีค่าสูงกว่าแปลงที่ 2 ในชั้นดินบน (0-41 เซนติเมตร) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน แปลงที่ 1 มีค่าสูงกว่าแปลงที่ 2 ในทั้งชั้นดินบนและชั้นดินล่าง รวมถึงเนื้อดิน เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ชั้นเนื้อดิน (ตารางผนวกที่ 5 การแบ่งกลุ่มของชั้นดิน) (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993) พบว่า ดินแปลงที่ 1 มีเนื้อเป็นร่วนเหนียวปนทราย มีเนื้อละเอียดปานกลาง ซึ่งละเอียดกว่าแปลงที่ 2 เป็นร่วนร่วนทราย มีเนื้อหยาบปานกลาง การที่เนื้อดินที่ความหยาบและละเอียดต่างกันนั้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเก็บความชื้นรวมถึงการดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินที่ต่างกัน โดยดินที่มีเนื้อละเอียดจะสามารถดูดซับน้ำ และธาตุอาหารพืชได้ดีกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และเมื่อพิจารณาจากผลผลิตของผักกาดหอมห่อในดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (ดำรับที่ 1) พบว่า เมื่อปลูกผักกาดหอมในช่วงระยะเวลาเก็บใกล้เคียงกัน ดินบริเวณแปลงที่ 1 สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เท่ากับ 1,831 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าดินบริเวณแปลงที่ 2 ที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 1,476 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าดินในบริเวณแปลงที่ 1 มีศักยภาพสูงกว่าดินบริเวณแปลงที่ 2 ในกรณีของการปลูกผักกาดหอมห่อ

ตารางที่ 4 แสดงการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 1

ช่วง ความลึก (cm)	ชั้นดิน	ปริมาณ อินทรีย์วัตถุ (g kg ⁻¹)	ปริมาณฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	ปริมาณโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	ความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน (cmol kg ⁻¹)	อัตราร้อยละ ความอิ่มตัวเบส (%)	รวมคะแนน	ระดับความ อุดมสมบูรณ์ ของดิน
0-20	ดินบน	36 (3)	1006.0 (3)	328.8 (3)	21.11 (3)	43.15 (2)	14	สูง
21-40	ดินล่าง	32 (3)	109.0 (3)	292.1 (3)	11.75 (2)	43.64 (2)	13	สูง
41-60	ดินล่าง	23 (3)	42.9 (3)	111.0 (3)	8.75 (1)	41.94 (2)	12	ปานกลาง

หมายเหตุ วิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ใช้วิธีให้คะแนน (ตัวเลขคะแนนอยู่ในวงเล็บในตาราง)

ถ้าคะแนนเท่ากับ 7 หรือน้อยกว่า ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ถ้าคะแนนอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ถ้าคะแนนเท่ากับ 13 หรือมากกว่าถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง (กองสำรวจดิน, 2523)

ตารางที่ 5 แสดงการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 2

ช่วง ความลึก (cm)	ชั้นดิน	ปริมาณ อินทรีย์วัตถุ (g kg ⁻¹)	ปริมาณฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	ปริมาณโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	ความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน (cmol kg ⁻¹)	อัตราร้อยละ ความอิ่มตัวเบส (%)	รวมคะแนน	ระดับความ อุดมสมบูรณ์ ของดิน
0-20	ดินบน	39 (3)	83.5 (3)	492.8 (3)	13.74 (2)	46.39 (2)	13	สูง
21-40	ดินล่าง	19 (2)	918.5 (3)	158.6 (3)	7.99 (1)	37.22 (2)	11	ปานกลาง
41-60	ดินล่าง	18 (2)	46.9 (3)	133.2 (3)	9.12 (1)	44.51 (2)	11	ปานกลาง

หมายเหตุ วิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ใช้วิธีให้คะแนน (ตัวเลขคะแนนอยู่ในวงเล็บในตาราง)

ถ้าคะแนนเท่ากับ 7 หรือน้อยกว่า ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ถ้าคะแนนอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ถ้าคะแนนเท่ากับ 13 หรือมากกว่า ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง (กองสำรวจดิน, 2523)

5. ผลผลิตผักกาดหอมหัว

5.1 น้ำหนักสด

ผลการทดลองในแปลงที่ 1 พบว่า การใส่ปุ๋ยครบสูตรอัตรา 153.4, 153.4 และ 151.2 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่ (1.5 เท่าของปริมาณปุ๋ยที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่) มีแนวโน้มให้ผลผลิตผักกาดหอมหัวเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2,118.0 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ การใส่ปุ๋ยเหมือนกับเกษตรกรแต่ละแปลงปริมาณโพแทสเซียมลงมาครึ่งหนึ่ง (102.3, 102.3 และ 50.4 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) ให้ผลผลิตเฉลี่ย 2,080.9 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่การใส่ในโตรเจนเพียงอย่างเดียวกับการลดปุ๋ยฟอสฟอรัสลงมาครึ่งหนึ่งมีแนวโน้มการให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน (1,912.8 และ 1,904.0 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) ส่วนดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,830.8 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในดำรับที่ใช้โดยเกษตรกรซึ่งให้ผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 1,605.2 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลผลิตของแต่ละดำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 1)

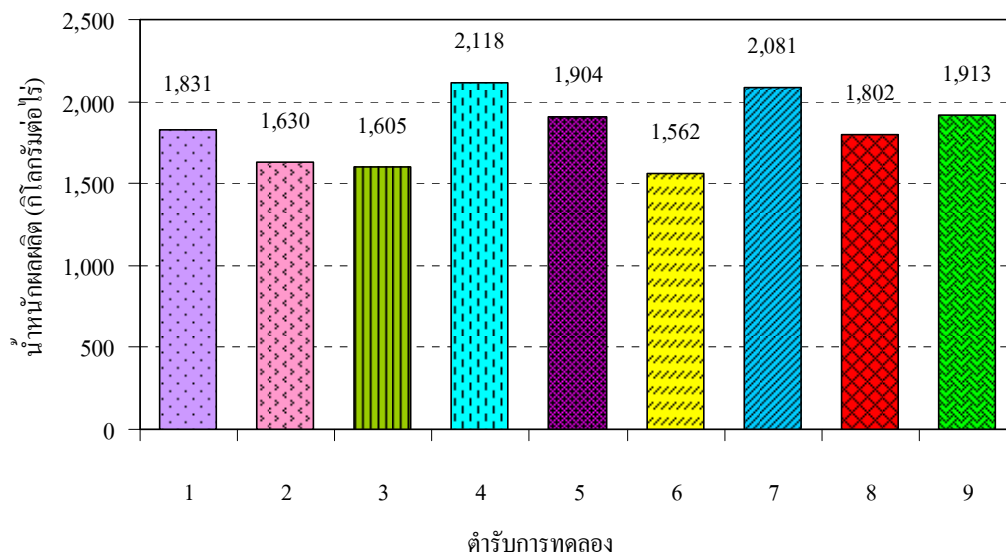
เมื่อพิจารณาจากผลผลิตเฉลี่ยของแต่ละดำรับการทดลอง การใส่ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (ดำรับที่ 3) มีแนวโน้มการให้ผลผลิตในอัตราต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยอัตราอื่นเป็นส่วนใหญ่ ๆ และเมื่อเปรียบเทียบกับดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (ดำรับที่ 1) พบว่า การใส่ปุ๋ยตามที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้ทั่วไปมีแนวโน้มการให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่า ดินในพื้นที่ทดลองมีศักยภาพสูงอยู่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของผักกาดหอมหัว ซึ่งจะพิจารณาได้จากผลผลิตในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ดำรับที่ 9) พืชก็ยังจะมีแนวโน้มในการให้ผลผลิตในระดับที่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตร คือเท่ากับ 1,913 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ ยังอาจพอกกล่าวได้ว่า การใส่ปุ๋ยออกในอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ เพียงอย่างเดียวก็อาจจะเพียงพอต่อการให้ผลผลิตผักกาดหอมหัวเมื่อปลูกในดินนี้ เนื่องจากปุ๋ยคอกซึ่งได้แก่ ปุ๋ยมูลวัวมีปริมาณไนโตรเจนอยู่เฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.8-1.2 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เมื่อรวมกับฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่ในดินนี้ในปริมาณที่สูง

สำหรับดำรับที่มีการลดปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลงนั้น สามารถให้ผลผลิตใกล้เคียงกับดำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 1.5 เท่าของอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (ดำรับที่ 4) ซึ่งเป็นดำรับที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีอยู่ในปริมาณที่สูงมาก โดยเฉพาะในดินบนมีปริมาณเท่ากับ 1006.0 และ 328.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตามลำดับซึ่งมากกว่าปริมาณที่พืชต้องการ อย่างไรก็ตาม คำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (คำรับที่ 6) นั้นกลับให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำสุด (1,562 กิโลกรัมต่อไร่) ถึงแม้ว่าในดินจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปริมาณที่มากเกินความต้องการของพืชก็ตาม แสดงให้เห็นว่า การปลูกผักกาดหอมห่อในดินที่มีฟอสฟอรัสตกค้างอยู่สูงมีความซับซ้อนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการดูแลใช้ธาตุอาหารที่ปรากฏในดินกับการเจริญเติบโตให้ผลผลิตของพืชซึ่งตรงกับการศึกษาของ ศพิษา (2550) ที่ทำการทดลองในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง โดยพบว่า คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยผักใบสูตรมูลนิธิโครงการหลวงแต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ให้ผลผลิตเท่ากับ 2,670 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิตน้อยกว่าคำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยผักใบสูตรมูลนิธิโครงการหลวง (N- P_2O_5 - K_2O เท่ากับ 154.13, 16.70 และ 97.78 กิโลกรัมต่อไร่) แต่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณ 3/4 ของสูตรดังกล่าว ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3,345 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้น จึงทำให้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า สาเหตุที่แนวโน้มของผลผลิตมีความแตกต่างกันนี้เกิดจากสาเหตุอะไร ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่า อิทธิพลของฟอสฟอรัสที่มีมากเกินไปในดินน่าจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการยับยั้งการดูดใช้ของธาตุสังกะสีและเหล็ก (ยงยุทธ, 2546)

ในกรณีของโพแทสเซียม พบว่า เมื่อลดปริมาณการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมดังในคำรับที่ 7 คือคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเหมือนกับเกษตรกรแต่ลดปริมาณโพแทสเซียมลงครึ่งหนึ่ง (102.3, 102.3 และ 50.4 กิโลกรัม N- P_2O_5 - K_2O ต่อไร่) พบว่า ให้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,080.9 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งเป็นคำรับที่ให้ผลผลิตรองจากคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยครบสูตรอัตรา 153.4, 153.31 และ 151.2 กิโลกรัม N- P_2O_5 - K_2O ต่อไร่ (1.5 เท่าของปริมาณปุ๋ยที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่) มีแนวโน้มให้ผลผลิตผักกาดหอมห่อเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2,118.0 กิโลกรัมต่อไร่ และคำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมนั้นให้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 1,802.3 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการดูดใช้แมกนีเซียมอาจจะถูกยับยั้งโดยการที่ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในปริมาณที่สูงมาก (ยงยุทธ, 2546)

อย่างไรก็ตามการลดปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลงบางส่วน มีแนวโน้มที่ให้ผลผลิตในระดับที่น่าพึงพอใจ ซึ่งหากพิจารณาถึงผลเสียในระยะยาวอันเนื่องมาจากการสะสมธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินเหล่านี้ การจัดการปุ๋ยให้เกิดประสิทธิภาพโดยการลดปริมาณปุ๋ยทั้งสองชนิดนี้ในการปลูกผักกาดหอมห่อ น่าจะก่อให้เกิดผลดีในระยะยาว ซึ่งจะต้องมีการทดลองในลักษณะนี้ต่อไปในพื้นที่เดิมเพื่อเป็นการยืนยันผล ซึ่งอาจจะทำให้สามารถสรุปผลได้อย่างมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

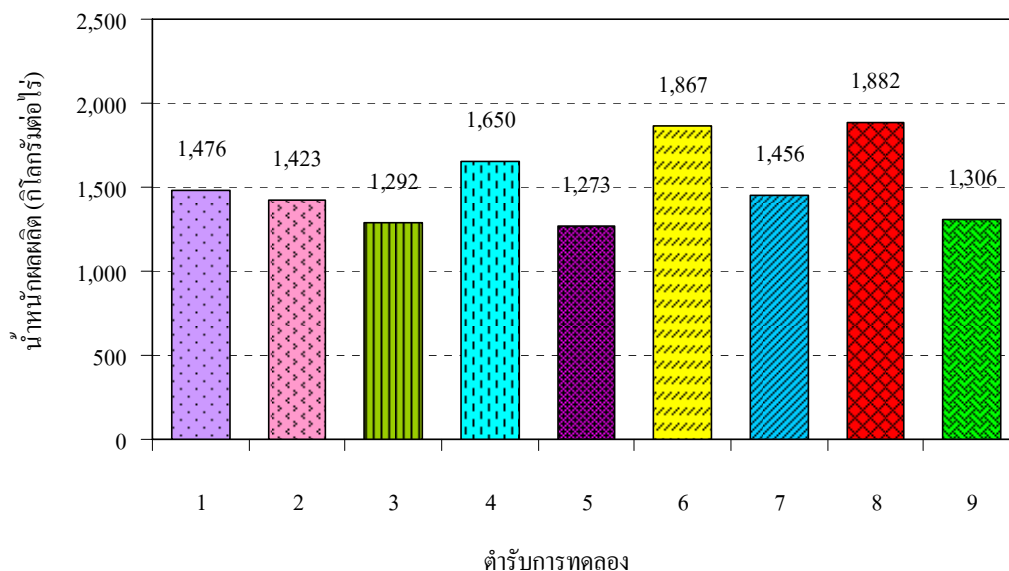


ภาพที่ 4 ผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ตามตำรับการทดลอง

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

ผลการทดลองในแปลงที่ 2 พบว่า ตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรแต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (102.3, 102.3 และ 0 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ตามลำดับ) มีแนวโน้มให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1,881.6 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรแต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (102.3, 0 และ 100.8 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ตามลำดับ) ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,866.7 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย 1.5 เท่าของอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (153.4, 153.31 และ 151.2 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่) ให้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 1,650.1 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยแต่อย่างใดให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,476.3 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าการใส่ปุ๋ยในตำรับที่ใช้โดยเกษตรกรซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 1,292.2 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลผลิตของแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 2)

เมื่อพิจารณาจากผลผลิตเฉลี่ยของแต่ละตำรับการทดลอง การใส่ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (ตำรับที่ 3) มีแนวโน้มในการให้ผลผลิตผักกาดหอมห่อเฉลี่ยต่ำเช่นเดียวกับผลผลิตของแปลงที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (ตำรับที่ 1) ที่มีแนวโน้มการให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่า



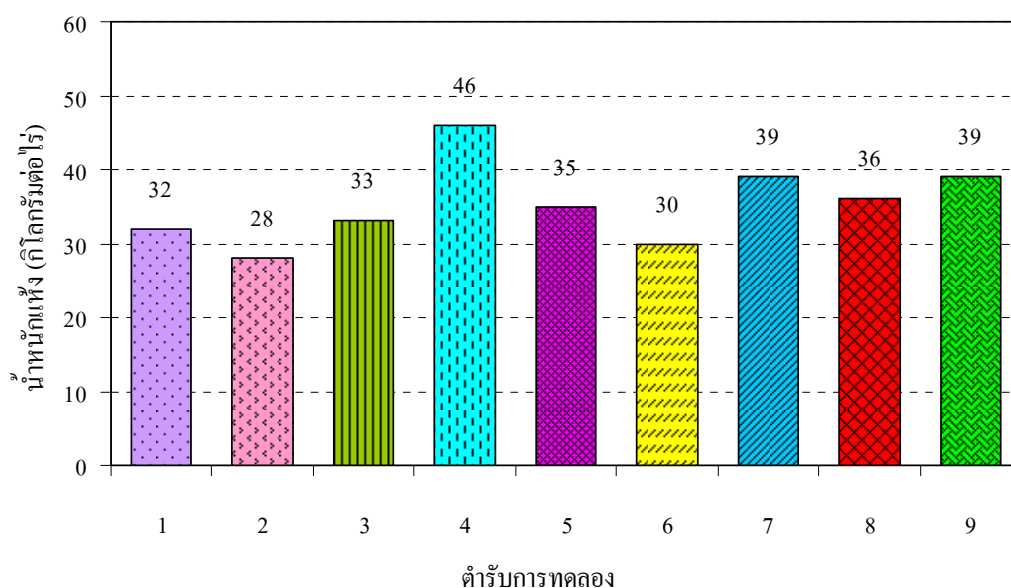
ภาพที่ 5 ผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2 หลังการตัดแต่ง เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยในอัตราต่าง ๆ ตามดำรับการทดลอง

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

ผลผลิตเฉลี่ยที่เก็บเกี่ยวได้จากแปลงที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มการให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด และดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมนั้นให้อัตราผลผลิตเฉลี่ยสูงรองลงมา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากดินในแปลงนี้มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงมากโดยเฉพาะในดินบน (83.5 และ 492.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ) ซึ่งปริมาณดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมากเพียงพอต่อความต้องการของพืช อย่างไรก็ตามจากการศึกษายังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน เนื่องจาก เมื่อไม่มีการใช้ปุ๋ยทั้งสองนี้ดังในดำรับที่ 9 ที่มีการใส่เฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน กลับพบว่า ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ (1,306 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งสูงกว่าผลผลิตที่ได้จากดำรับที่มีการใช้ปุ๋ยตามสูตรของเกษตรกร (1,292 กิโลกรัมต่อไร่) และดำรับที่ใช้สูตรของเกษตรกรแต่ลดปริมาณฟอสฟอรัสลงครึ่งหนึ่งซึ่งให้ผลผลิต 1,273 กิโลกรัมต่อไร่ และแนวโน้มของผลผลิตที่ได้โดยภาพรวมค่อนข้างแตกต่างจากผลที่ได้จากแปลงที่ 1

5.2 น้ำหนักแห้ง

การทดลองใส่ปุ๋ยผักกาดหอมห่อในอัตราต่าง ๆ ในแปลงที่ 1 ไม่ทำให้น้ำหนักแห้งที่ได้มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยครบสูตรอัตรา 153.4, 153.31 และ 151.2 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ (1.5 เท่าของปริมาณปุ๋ยที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่) มีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 45.80 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ ดำรับที่มีการใส่ไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวกับการลดปุ๋ยโพแทสเซียมลงครึ่งหนึ่งมีแนวโน้มการให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกัน (39.36 และ 39.30 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ) ส่วนดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยแต่อย่างใดให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 31.93 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงกว่าดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และดำรับที่ลดปุ๋ยลงครึ่งหนึ่งของดำรับที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ ซึ่งเป็นดำรับที่ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 28.29 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 3) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งที่ได้มีทิศทางไปในทางเดียวกับผลผลิตน้ำหนักสด

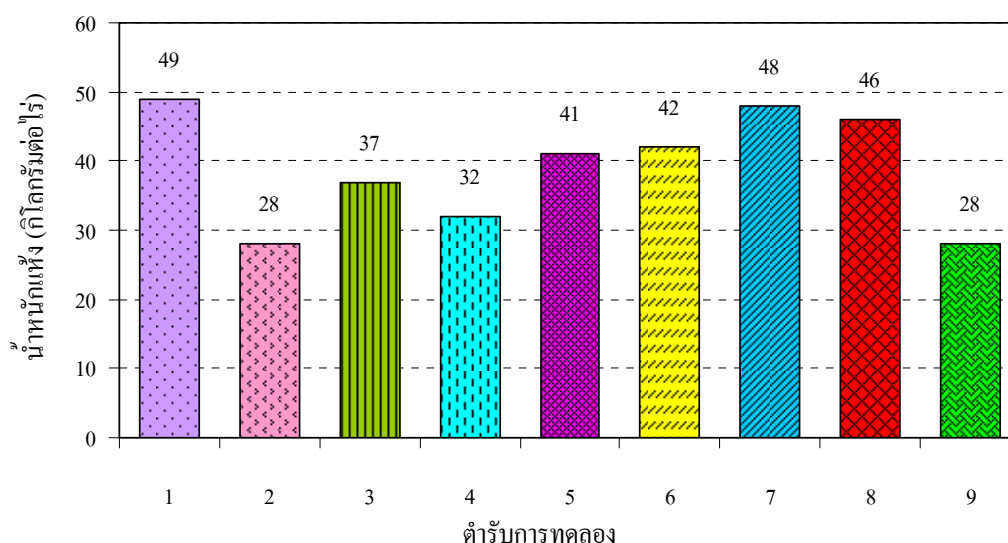


ภาพที่ 6 ผลผลิตน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

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

สำหรับผลผลิตน้ำหนักแห้งในแปลงที่ 2 ผลการทดลองพบว่า ดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 48.84 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ ดำรับที่มีการลดปุ๋ยโพแทสเซียมลงครึ่งหนึ่งของดำรับที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ และดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม

ให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 48.07 และ 45.68 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ส่วนดำรับที่มีการลดปุ๋ยลงครึ่งหนึ่งของดำรับที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งมีแนวโน้มต่ำสุดเท่ากับ 27.66 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งในแต่ละดำรับการทดลองผลผลิตน้ำหนักรากแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 7 ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

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

6. ปริมาณการสะสมธาตุอาหารในผักกาดหอมห่อ

6.1 ไนโตรเจน

ผลวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อเก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 1 (ตารางที่ 8) พบว่า ดำรับที่ใช้ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ซึ่งได้แก่ ดำรับที่ 3 (102.3, 102.3 และ 100.8 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่) มีการสะสมธาตุไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 42.1 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ดำรับที่มีการปุ๋ยครึ่งหนึ่งของอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ มีการสะสมไนโตรเจนเท่ากับ 39.5 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีนั้นก็ยังมีปริมาณการสะสมไนโตรเจนในปริมาณที่สูงเท่ากับ 38.9 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้น 1.5 เท่าของดำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (ดำรับที่ 4) อย่างไรก็ตามปริมาณการสะสมไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณการสะสมไนโตรเจนในเนื้อเยื่อพืชแปลงที่ 2 (ตารางที่ 9) พบว่า ให้ผลคล้ายคลึงกับปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ในผักกาดหอมหัวของแปลงที่ 1 คือปริมาณสูงสุดที่พบได้จากดำรับที่ 3 ที่ใช้ปุ๋ยอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้อยู่ทั่วไป มีค่าเท่ากับ 57.7 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ดำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราเดียวกับที่เกษตรกรใช้อยู่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส มีปริมาณการสะสมไนโตรเจนเท่ากับ 54.1 กรัมต่อกิโลกรัม และดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยกับดำรับที่ลดปุ๋ยลงครึ่งหนึ่งของอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่พืชมีการดูดไนโตรเจนขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินต่ำสุด มีปริมาณเท่ากับ 47.7 และ 47.5 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณการสะสมไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับการทดลอง

จากผลการศึกษาที่รวบรวมโดย Reuter *et al.* (1997) พบว่า ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในผักกาดหอมหัวที่ระยะพร้อมเก็บเกี่ยวควรมีปริมาณอยู่ในพิสัย 41.0-45.0 กรัมต่อกิโลกรัม และ 20.0-30.0 กรัมต่อกิโลกรัม (Hochmuth *et al.*, 1994) ซึ่งปรากฏว่า ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมหัวในการทดลองนี้ทั้งในแปลงที่ 1 และ 2 ในทุกดำรับการทดลองมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ทั้งสองแสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้มีแนวโน้มเพียงพอต่อความต้องการของพืช แม้กระทั่งในดำรับที่ 1 ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี ก็ยังมีการสะสมอยู่ในเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าพืชได้รับไนโตรเจนจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุทั้งที่มีอยู่ในดินเดิม (36 และ 39 กรัมต่อกิโลกรัม สำหรับแปลงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) กับไนโตรเจนที่อยู่ในปุ๋ยคอกที่ใส่ในอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมหัวกับผลผลิตที่ได้รับในแต่ละดำรับการทดลองทั้งภายในแปลงเดียวกันและเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยในแปลงที่ 1 ดำรับที่ 3 ซึ่งพืชมีแนวโน้มของการสะสมไนโตรเจนสูงสุด (42.1 กรัมต่อกิโลกรัม) กลับให้ผลผลิตน้ำหนักสดเก็บต่ำสุด (1,605 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่ ดำรับที่ 4 ที่ใส่ปุ๋ยมากกว่าดำรับที่ 3 จำนวน 1.5 เท่า พืชมีแนวโน้มการดูดใช้ไนโตรเจนขึ้นไปสะสมน้อยที่สุด (35.8 กรัมต่อกิโลกรัม) แต่กลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 2,118 กิโลกรัมต่อไร่

เมื่อพิจารณาการดูดใช้ไนโตรเจนขึ้นไปสะสมเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และ 2 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมหัวในแปลงที่ 2 มีค่าสูงกว่าในแปลงที่ 1 ในทุกดำรับการทดลอง โดยในดำรับที่ 3 ซึ่งใช้ปุ๋ยอัตราที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้ ผักกาดหอมหัวที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 2 มีปริมาณธาตุนี้สะสมมากกว่าแปลงที่ 1 ถึง 15.6 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับดำรับที่ 6 ที่ไม่มีการใส่ฟอสฟอรัส (15.4 กรัมต่อกิโลกรัม) ขณะที่ดำรับที่ใส่ปุ๋ยเพียงครึ่งหนึ่งของดำรับที่ 3 และดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี พบว่า มีความต่างน้อยกว่า คือ 8.1 และ 8.8 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ แต่ผลผลิตโดย

เฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองแปลงนี้ กลับพบว่า ในแปลงที่ 2 ให้ผลผลิตน้อยกว่าในทุกคำรับการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดที่ได้รับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 6 ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและรองที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อ (ดัดแปลงจาก Reuter *et al.*, 1997)

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

6.2 ฟอสฟอรัส

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 (ตารางที่ 8) พบว่า คำรับที่ใช้ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (คำรับที่ 3) มีแนวโน้มของการสะสมธาตุฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินสูงสุดเท่ากับ 9.2 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนคำรับอื่น ๆ สังเกตได้ว่า

มีปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชใกล้เคียงกันมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 8.0-8.7 โดยดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเลย ได้แก่ ดำรับที่ 1 และ 5 พืชยังมีแนวโน้มว่าสามารถดูดฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินในระดับที่ใกล้เคียงกับดำรับอื่น ๆ ที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกัน โดยมีความเท่ากับ 8.4 และ 8.6 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินที่วิเคราะห์ได้นี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับการทดลอง

ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 2 (ตารางที่ 9) พบว่า ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในอัตราครึ่งหนึ่งของที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (51.1, 51.1 และ 50.4 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่) มีการสะสมฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 7.1 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับดำรับที่ 3 ซึ่งเป็นอัตราที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้ มีการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินเท่ากับ 6.9 กรัมต่อกิโลกรัม โดยทั้ง 2 ดำรับที่กล่าวมาข้างต้นมีการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อสูงกว่า ดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรแต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ดำรับที่ 6) ดำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่ใช้โดยเกษตรกรแต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (ดำรับที่ 8) และดำรับที่ใส่ปุ๋ยในโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ดำรับที่ 9) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อที่เก็บเกี่ยวจากทั้งสองแปลงทดลองกับข้อมูลระดับความเข้มข้นของธาตุนี้ในพืชที่ได้จากการรวบรวมของ Reuter *et al.* (1997) ซึ่งรายงานไว้ว่า ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในผักกาดหอมห่อที่ระยะพร้อมเก็บเกี่ยวควรมีปริมาณอยู่ในพิสัย 5.0-7.0 กรัมต่อกิโลกรัม และจาก Hochmuth *et al.* (1994) ควรอยู่ในพิสัยเท่ากับ 2.0-5.0 กรัมต่อกิโลกรัม ปรากฏว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในการทดลองนี้ทั้งในแปลงที่ 1 มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ข้างต้นอยู่พอสมควร แสดงให้เห็นว่าพืชที่ปลูกมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปมากเกินความต้องการสำหรับการเจริญเติบโตในระดับปกติ ไม่ว่าจะเป็นดำรับที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือไม่ใส่ ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินบนในแปลงมีอยู่ในปริมาณที่สูงมาก คือเท่ากับ 1,006.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จึงมีผลทำให้พืชสามารถดูดใช้ธาตุนี้ได้เต็มที่ และไม่ทำให้ดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสพืชแสดงอาการขาดธาตุดังกล่าวแต่อย่างใด

ส่วนในแปลงที่ 2 พบว่า ปริมาณการสะสมธาตุฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของทุกดำรับการทดลองอยู่เกณฑ์ปกติเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่มีรายงานมาข้างต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอันได้แก่ ดำรับที่ 1 และ 6 พืชยังสามารถดูดใช้ธาตุนี้และนำขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินได้ในระดับปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ดินในแปลงที่สองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่

เป็นประโยชน์ในดินบน (0-20 เซนติเมตร) อยู่ในระดับสูงเท่ากับ 83.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชทั่ว ๆ ไป นอกจากนี้เป็นที่น่าสนใจว่า ชั้นดินที่ลึกถัดลงไป (21-40 เซนติเมตร) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงถึง 918.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่า ผักกาดหอมห่อสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสจากส่วนนี้ในดินได้ เพราะโดยปกติพืชชนิดนี้จะมี ความยาวของรากหาอาหารบางส่วนอยู่ในระดับความลึกดังกล่าวด้วย (Jackson, 1995)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อ กับ ผลผลิตที่ได้รับในแต่ละดำรับการทดลองทั้งภายในแปลงเดียวกันและเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด โดยในแปลงที่ 1 ดำรับที่ 3 ซึ่งพืชมีแนวโน้มของการสะสมฟอสฟอรัสสูงสุด (9.2 กรัมต่อกิโลกรัม) กลับให้ผลผลิตน้ำหนักรากสดเก็บต่ำสุด (1,605 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่ ดำรับที่ 2 ที่มีการลดการใส่ปุ๋ยลงครึ่งหนึ่งจากดำรับที่ 3 พืชมีแนวโน้มการดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมน้อยที่สุด (8.0 กรัมต่อกิโลกรัม) กลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตมากกว่าเล็กน้อยคือเท่ากับ 1,630 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับในแปลงที่ 2 ดำรับที่มีการสะสมสูงสุด ซึ่งได้แก่ ดำรับที่ 2 ที่มีการใส่ปุ๋ยในปริมาณครึ่งหนึ่งของอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ และดำรับที่ 3 ที่ใส่ปุ๋ยในอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ ซึ่งมีการดูดใช้ธาตุนี้ขึ้นไปสะสมสูงสุด และสูงกว่าดำรับที่ 6 ที่ไม่ใส่ปุ๋ย ฟอสฟอรัส และดำรับที่ 8 ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลผลิตน้ำหนักรากสดกลับมีแนวโน้มต่ำกว่าพอสมควร ประมาณ 400 ถึง 600 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตน้ำหนักรากสดระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 กับการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดิน จะพบความสัมพันธ์ในลักษณะที่แตกต่างออกไปและไม่เหมือนกันกับการสะสมในโตรเจน กล่าวคือ แปลงที่ 1 ผลผลิตน้ำหนักรากสดโดยภาพรวมจะสูงกว่าแปลงที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างดำรับการทดลองเดียวกัน ขณะที่ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมก็สูงกว่าตามไปด้วย แต่ก็ไม่สามารถสรุปได้ว่า ฟอสฟอรัสที่มีการสะสมในส่วนเหนือดินที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากสดเพิ่มตามไปด้วย เนื่องจาก การเปรียบเทียบระหว่างดำรับการทดลองในแปลงเดียวกันไม่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมหัว (crisphead lettuce) ในระยะต่าง ๆ (ดัดแปลงจาก Hochmuth *et al.*, 1994)

ส่วนของพืช ที่วิเคราะห์	ระยะเวลาใน การเก็บตัวอย่าง	ปริมาณธาตุอาหาร (กรัมต่อกิโลกรัม)				
		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

6.3 โปแทสเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมโปแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมหัวในแปลงที่ 1 (ตารางที่ 8) พบว่า คำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (คำรับที่ 3) มีการสะสมธาตุโปแทสเซียมสูงสุดเท่ากับ 78.3 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคำรับที่ 6 ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีการสะสมโปแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชเท่ากับ 78.2 กรัมต่อกิโลกรัม โดยปริมาณโปแทสเซียมที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชในคำรับที่มีการลดปุ๋ยลงมาครึ่งหนึ่งของคำรับที่ใส่โดยเกษตรกรในพื้นที่ (คำรับที่ 2) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 66.6 กรัมต่อกิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการสะสมโปแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างคำรับการทดลอง

ปริมาณการสะสมโปแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมหัวแปลงที่ 2 (ตารางที่ 9) พบว่า คำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมมีแนวโน้มว่าพืชสามารถดูดโปแทสเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินสูงสุดเท่ากับ 76.6 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ คำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราเดียวกับที่เกษตรกรใช้อยู่แต่มีการลดปุ๋ยฟอสฟอรัสลงมาครึ่งหนึ่ง (คำรับที่ 7) ซึ่งมีปริมาณการสะสมเท่ากับคำรับที่มีการลดปุ๋ยลงมาครึ่งหนึ่งจากอัตราที่ใส่โดยเกษตรกรในพื้นที่ (คำรับที่ 2) โดยทั้งสองคำรับพืชมีปริมาณการสะสมโปแทสเซียมเท่ากัน (73.4 กรัมต่อกิโลกรัม) ขณะที่แนวโน้มการดูดใช้ต่ำสุดพบในคำรับที่มีการลดปุ๋ยฟอสฟอรัสลงมาครึ่งหนึ่งของอัตราที่ใส่โดยเกษตรกร (คำรับที่ 5) กับคำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (คำรับที่ 6) พืชมีแนวโน้มการดูดใช้โปแทสเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินต่ำสุด โดยมีปริมาณเท่ากับ 67.3 และ 67.5 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณการสะสมโปแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างคำรับการทดลองเช่นเดียวกับแปลงที่ 1

Reuter *et al.* (1997) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพบว่า ระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในผักกาดหอมห่อที่ระยะพร้อมเก็บเกี่ยวว่าควรมีปริมาณอยู่ในพิสัย 70.0-106.0 กรัมต่อกิโลกรัม และ/หรือ 25.0-50.0 กรัมต่อกิโลกรัม (Hochmuth *et al.*, 1994) ซึ่งปรากฏว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อในการทดลองนี้ทั้งในแปลงที่ 1 และ 2 ทุกตำรับการทดลอง มีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ของ Hochmuth *et al.* (1994) และใกล้เคียงกับเกณฑ์ของ Reuter *et al.* (1997) แสดงให้เห็นว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกทดลองทั้งสองแปลงสามารถดูดใช้โพแทสเซียมได้อย่างเพียงพอ และแสดงให้เห็นว่า การไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมดังเช่นในตำรับที่ 1, 8 และ 9 ไม่มีผลทำให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเนื้อดินแตกต่างไปจากตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมแต่อย่างใด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของทั้ง 2 แปลงมีอยู่ในปริมาณที่สูงมาก โดยเฉพาะในดินบน (0-20 เซนติเมตร) มีปริมาณสูงถึง 328.8 และ 492.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่พบว่ามีค่าสูงน่าจะมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสูงจนพืชไม่สามารถใช้ได้หมด รวมกับโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยออกจากการสลายตัวของวัตถุดิบกำเนิดดินที่เป็นหินในส ซึ่งมิเร่ไมกาเป็นองค์ประกอบสำคัญ ที่สลายตัวให้โพแทสเซียมแก่ดิน (Sanchez *et al.*, 1983) และอาจรวมไปถึงแร่โพแทสเซิลด์สปาร์ด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อกับผลผลิตน้ำหนัสดินที่ได้รับของแต่ละตำรับการทดลองทั้งภายในแปลงเดียวกันและเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยในแปลงที่ 1 ตำรับที่ 3 ซึ่งพืชมีแนวโน้มของการสะสมโพแทสเซียมสูงสุด (78.3 กรัมต่อกิโลกรัม) กลับให้ผลผลิตเกือบต่ำสุด (1,605 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่ ตำรับที่ 2 ที่ลดการใส่ปุ๋ยลงครึ่งหนึ่งจากตำรับที่ 3 พืชมีแนวโน้มการดูดใช้โพแทสเซียมขึ้นไปสะสมน้อยที่สุด (66.6 กรัมต่อกิโลกรัม) กลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตมากกว่า (1,630 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อกับผลผลิตที่กล่าวมาข้างต้น

เมื่อพิจารณาการดูดใช้โพแทสเซียมขึ้นไปสะสมเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และ 2 พบว่า โดยเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 มีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่ผลผลิตน้ำหนัสดินเปรียบเทียบระหว่างตำรับเดียวกันของแปลงทั้งสองค่อนข้างแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเนื้อดินไม่ใช่ข้อจำกัดที่มีผลต่อการให้ผลผลิตผักกาดหอมห่อที่ปลูกในสองพื้นที่นี้ และการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่อัตราต่าง ๆ ก็ไม่ช่วยทำให้พืชดูดใช้ธาตุนี้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 8 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ตัวอย่างพืช	ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในพืช (กรัมต่อกิโลกรัม) ^{1/}				
	N	P	K	Ca	Mg
ดำรับที่ 1	38.9a	8.4a	73.4a	8.0bcd	2.0ab
ดำรับที่ 2	39.4a	8.0a	66.6a	9.3abc	2.1ab
ดำรับที่ 3	42.1a	9.2a	78.3a	7.7bcd	1.8b
ดำรับที่ 4	35.8a	8.6a	69.3a	9.0a-d	1.9ab
ดำรับที่ 5	38.8a	8.6a	75.5a	7.5cd	1.7b
ดำรับที่ 6	38.7a	8.4a	78.2a	11.2a	2.4a
ดำรับที่ 7	37.2a	8.7a	72.7a	10.0ab	2.3a
ดำรับที่ 8	38.2a	8.6a	70.1a	7.2cd	1.7b
ดำรับที่ 9	37.1a	8.2a	70.8a	6.7d	1.6b
F-test	ns	ns	ns	**	**
C.V. (%)	8.0	11.8	8.7	17.1	16.6

หมายเหตุ ** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

6.4 แคลเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อที่เก็บเกี่ยวจากแปลงที่ 1 (ตารางที่ 8) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างดำรับการทดลอง โดยพบว่า ดำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราเดียวกับที่เกษตรกรใช้อยู่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ดำรับที่ 6) มีปริมาณการสะสมแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชสูงสุดเท่ากับ 11.2 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งสูงกว่าดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเลย (ดำรับที่ 1) ดำรับที่ใส่ปุ๋ยในอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ (ดำรับที่ 3) ดำรับที่ลดปริมาณฟอสฟอรัสลงมาครึ่งหนึ่ง (ดำรับที่ 5) ดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (ดำรับที่ 8) และดำรับที่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพียงอย่างเดียว (ดำรับที่ 9) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 9 ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

ตัวอย่างพืช	ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในพืช (กรัมต่อกิโลกรัม) ^U				
	N	P	K	Ca	Mg
ดำรับที่ 1	47.7a	6.4ab	70.7a	10.5a	2.1a-d
ดำรับที่ 2	47.5a	7.1a	73.4a	6.4c	1.6cd
ดำรับที่ 3	57.7a	6.9a	72.0a	5.9c	1.6d
ดำรับที่ 4	49.5a	6.5ab	71.6a	8.2abc	2.3abc
ดำรับที่ 5	51.9a	5.6ab	67.3a	6.8bc	1.7bcd
ดำรับที่ 6	54.1a	5.1b	67.5a	6.4c	1.6cd
ดำรับที่ 7	51.9a	5.5ab	73.4a	9.8a	2.3ab
ดำรับที่ 8	52.3a	5.1b	76.6a	9.6ab	2.6a
ดำรับที่ 9	49.5a	5.0b	69.5a	6.7bc	1.6d
F-test	ns	*	ns	**	**
C.V. (%)	11.2	17.5	14.5	24.3	22.2

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

^U ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

สำหรับแปลงที่ 2 ปริมาณการสะสมแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อที่วิเคราะห์ (ตารางที่ 9) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน แต่กลับพบว่า ดำรับที่ไม่มี การใส่ปุ๋ยเคมีมีการสะสมแคลเซียมสูงสุดเท่ากับ 10.5 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับดำรับที่ 7 ที่มีการ ลดโพแทสเซียมลงครึ่งหนึ่งของอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกร (9.8 กรัมต่อกิโลกรัม) โดยผักกาดหอมห่อ ที่ปลูกในดำรับทั้งสองมีการดูดใช้แคลเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินมากกว่าในดำรับที่มีการลด ปุ๋ยเคมีลงครึ่งหนึ่งจากอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกร (ดำรับที่ 2) ดำรับที่ใช้ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกร ในพื้นที่ (ดำรับที่ 3) และดำรับที่ลดปุ๋ยฟอสฟอรัส (ดำรับที่ 5) ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ดำรับที่ 6) และ ดำรับที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว (ดำรับที่ 9) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ระดับความเข้มข้นของแคลเซียมในผักกาดหอมห่อที่ระยะพร้อมเก็บเกี่ยวจากการรวบรวมของ Reuter *et al.* (1997) รายงานไว้ว่า ควรมีปริมาณอยู่ในพืช 14.9-18.6 กรัมต่อกิโลกรัม และ/หรือ 14.0-20.0 กรัมต่อกิโลกรัม (Hochmuth *et al.*, 1994) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อในการทดลองนี้ทั้งในแปลงที่ 1 และ 2 ทุกดำนับการทดลอง มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ดังกล่าวทั้งสิ้น แม้กระทั่งปริมาณการสะสมสูงสุดในดำรับที่ 6 ของแปลงที่ 1 (11.2 กรัมต่อกิโลกรัม) และดำรับที่ 1 ของแปลงที่ 2 (10.5 กรัมต่อกิโลกรัม) ก็ยังคงต่ำกว่าเกณฑ์ข้างต้น ซึ่งเป็นไปได้ว่า ปริมาณการดูดใช้แคลเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเนื้อดินอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในทั้งสองแปลง และทำให้ผลผลิตค่อนข้างมีความแปรปรวนด้วย ทั้งนี้ถึงแม้ว่า ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินบนของทั้งสองแปลงมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง (8.49 และ 8.43 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ) แต่ปริมาณแคลเซียมที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ในรูปแบบของแคลไออน อาจจะมีน้อยกว่าปริมาณที่สกัดได้ เนื่องจาก ดินทั้งสองแปลงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก และดินมีค่าปฏิกิริยาดินค่อนข้างเป็นกลางถึงเป็นด่าง ดังนั้น แคลเซียมบางส่วนอาจจับกับฟอสฟอรัสแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งพืชไม่สามารถดูดใช้ได้ก็เป็นได้ ขณะเดียวกันการที่ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงก็อาจจะทำให้เกิดการบดบังการดูดใช้แคลเซียมของพืชได้เช่นกัน (ยงยุทธ, 2546)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อกับผลผลิตที่ได้รับในแต่ละดำรับการทดลองทั้งภายในแปลงเดียวกันและเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยในแปลงที่ 1 ดำรับที่ 6 ซึ่งพืชมีแนวโน้มของการสะสมแคลเซียมสูงสุด (11.2 กรัมต่อกิโลกรัม) แต่มีแนวโน้มการให้ผลผลิตต่ำสุด (1,562 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่ ดำรับที่ 9 ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว พืชมีแนวโน้มการดูดใช้แคลเซียมขึ้นไปสะสมน้อยที่สุด (6.7 กรัมต่อกิโลกรัม) แต่มีแนวโน้มให้ผลผลิตเกือบสูงสุดเท่ากับ 1,913 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่แปลงที่ 2 ก็เช่นกัน ดำรับที่พบว่าพืชสามารถดูดใช้แคลเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเนื้อดินสูงสุด (ดำรับที่ 1) แนวโน้มของปริมาณผลผลิตที่ได้กลับไม่สูงที่สุด (1,476 กิโลกรัมต่อไร่) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้งสองแปลงพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ผลผลิตเมื่อพิจารณาทั้งแปลง ในแปลงที่ 2 มีปริมาณต่ำกว่ามาก ดังนั้น จึงยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า ธาตุนี้เป็นข้อจำกัดหลักในการให้ผลผลิตผักกาดหอมห่อที่ปลูกในพื้นที่ทั้งสอง

6.5 แมกนีเซียม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

(ตารางที่ 8) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า คำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (คำรับที่ 6) มีปริมาณการสะสมแมกนีเซียมสูงสุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคำรับที่มีการลดปุ๋ยโพแทสเซียมลงครึ่งหนึ่งของอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร (คำรับที่ 7) โดยมีค่าเท่ากับ 2.4 และ 2.3 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณการสะสมแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในคำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ (คำรับที่ 3) คำรับที่มีการลดปุ๋ยฟอสฟอรัสลงมาครึ่งหนึ่ง (คำรับที่ 5) คำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (คำรับที่ 8) และคำรับที่ใส่แต่ปุ๋ยไนโตรเจน (คำรับที่ 9) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณการสะสมแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 2 (ตารางที่ 9) พบว่า คำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราเดียวกับที่เกษตรกรนิยมใช้แต่ไม่มีการใส่โพแทสเซียม (คำรับที่ 8) มีการสะสมแมกนีเซียมสูงสุดเท่ากับ 2.6 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าปริมาณการสะสมที่วิเคราะห์ได้จากคำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น ในคำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (คำรับที่ 1) คำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 1.5 เท่าของของอัตราที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้ (คำรับที่ 4) และคำรับที่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพียงครึ่งหนึ่ง (คำรับที่ 7) ที่พืชสามารถดูดใช้แมกนีเซียมขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินในระดับที่ใกล้เคียงกัน

ปกติระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในผักกาดหอมห่อที่ระยะพร้อมเก็บเกี่ยวควรมีปริมาณอยู่ในพิสัย 3.5-7.1 กรัมต่อกิโลกรัม (Reuter *et al.*, 1997) และ/หรือ 3.0-7.0 กรัมต่อกิโลกรัม (Hochmuth *et al.*, 1994) ซึ่งปรากฏว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในการทดลองนี้ทั้งในแปลงที่ 1 และ 2 ที่เก็บเกี่ยวจากทุกคำรับการทดลอง มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ทั้งสองมาก แสดงให้เห็นว่าการดูดใช้ธาตุนี้ไม่ค่อยเพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติของผักกาดหอมห่อ ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจาก 1) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยในดินบนแปลงที่ 1 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ (8.20 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และอยู่ในระดับปานกลาง (8.43 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ในแปลงที่ 2 และ 2) การดูดใช้แมกนีเซียมโดยพืชอาจจะถูกยับยั้งเนื่องจากการที่ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในปริมาณที่สูงมาก (ขงยุทธ, 2546)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อกับผลผลิตที่ได้รับในแต่ละคำรับการทดลองทั้งภายในแปลงเดียวกันและเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด โดยในแปลงที่ 1 คำรับที่ 6 ซึ่งพืชมีการสะสมแมกนีเซียมสูงสุดในส่วนเหนือดิน (2.4 กรัมต่อกิโลกรัม) แต่ให้ผลผลิตต่ำสุด (1,562 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่ คำรับที่ 9 ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว พืชมีแนวโน้มการดูดใช้แมกนีเซียมขึ้นไปสะสมน้อยที่สุด (1.6 กรัมต่อกิโลกรัม) แต่มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่า (1,913 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่ง

ลักษณะความสัมพันธ์มีความคล้ายคลึงกับปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอม ห่อกับผลผลิตที่กล่าวมาข้างต้น

เมื่อพิจารณาการดูดใช้แมกนีเซียมขึ้นไปสะสมเปรียบเทียบกับระหว่างแปลงที่ 1 และ 2 พบว่า มีปริมาณที่ใกล้เคียงกันเมื่อเฉลี่ยจากทุกตำรับการทดลอง อย่างไรก็ตาม ผลผลิตในแปลงที่ 2 ก่อนข้างต่ำกว่าในแปลงที่ 1 ดังนั้น หากพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่า แมกนีเซียมเป็นธาตุที่จำกัดการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อในกรณีศึกษานี้ แต่หากพิจารณาถึงการดูดขึ้นไปสะสมในระดับที่พอเพียง โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากการปลูกในประเทศอบอุ่น (Reuter *et al.*, 1997; Hochmuth *et al.*, 1994) แล้ว การปลูกผักกาดหอมห่อในดินทั้งสองบริเวณจะต้องมีการจัดการปุ๋ยแมกนีเซียมให้เหมาะสมมากขึ้น

7. ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกาดหอมห่อ

7.1 ในโตรเจน

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนในส่วนเนื้อดินของผักกาดหอมห่อ เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนต่อพื้นที่ (ตารางที่ 10) พบว่า แปลงที่ 1 ในตำรับเปรียบเทียบที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มการดูดใช้ในโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 3.65 กิโลกรัมต่อไร่ และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวมีปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนต่ำสุดเท่ากับ 2.87 กิโลกรัมต่อไร่ แต่การดูดใช้ธาตุไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน

สำหรับแปลงที่ 2 (ตารางที่ 11) พบว่า ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสพีชมีแนวโน้มการดูดใช้ในโตรเจน สูงสุดเท่ากับ 11.45 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (ตำรับที่ 3) ที่มีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 10.57 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวมีปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนต่ำสุดเท่ากับ 7.15 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับแปลงที่ 1 และ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนต่อพื้นที่ของทั้งสองแปลงมีความแตกต่างกันพอสมควร โดยแปลงที่ 2 ในทุกคำรับการทดลองมีปริมาณการดูดใช้สูงกว่าในแปลงที่ 1 เฉลี่ยประมาณ 5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ แต่ผลผลิตที่ได้รับกลับต่ำกว่าอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 2 มีค่าสูงกว่าในแปลงที่ 1 มาก

7.2 ฟอสฟอรัส

ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 (ตารางที่ 10) พบว่า การใส่ปุ๋ยอัตราเดียวกับที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้อยู่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม พืชมีแนวโน้มการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 0.89 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนค่าที่มีแนวโน้มต่ำสุดได้แก่ คำรับที่ 2 ที่ลดปริมาณปุ๋ยลงครึ่งหนึ่งของอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกร และคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวนั้นมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำสุดเท่ากับ 0.63 และ 0.64 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ โดยปริมาณการดูดใช้ธาตุนี้ต่อพื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันในแต่ละคำรับการทดลอง

สำหรับปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 2 (ตารางที่ 11) กลับพบว่า คำรับที่มีการลดปุ๋ยลงครึ่งหนึ่งของอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร (คำรับที่ 2) มีแนวโน้มการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุดเท่ากับ 1.31 กิโลกรัมต่อไร่ และคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่อพื้นที่ โดยมีค่าเท่ากับ 0.71 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันในแต่ละคำรับการทดลอง

ผลการศึกษาปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่อพื้นที่ของทั้งสองแปลงมีความแตกต่างกันพอสมควร โดยแปลงที่ 2 ในทุกคำรับการทดลองผักกาดหอมห่อมีแนวโน้มที่การดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าในแปลงที่ 1 แต่ผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าแปลงที่ 2 อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อในระดับที่วิเคราะห์ได้จากแปลงที่ 1 ควรจะเพียงพอ การดูดใช้เพิ่มเติมจึงไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ดังปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จากแปลงที่ 2 ซึ่งทั้งนี้ น่าจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นมากกว่า

7.3 โฟแทสเซียม

ปริมาณการดูดใช้โฟแทสเซียมของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 (ตารางที่ 10) พบว่า คำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีแต่อย่างใดมีการดูดใช้โฟแทสเซียมสูงสุดเท่ากับ 6.98 กิโลกรัมต่อไร่ และการลดปุ๋ยลงครึ่งหนึ่งของอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ในพื้นที่มีแนวโน้มการดูดใช้โฟแทสเซียมต่ำสุดเท่ากับ 5.31 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน

ปริมาณการดูดใช้ธาตุโฟแทสเซียมของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2 (ตารางที่ 11) พบว่า คำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโฟแทสเซียม (คำรับที่ 8) มีแนวโน้มการดูดใช้โฟแทสเซียมสูงสุดเท่ากับ 14.04 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่คำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (คำรับที่ 6) ที่มีแนวโน้มของการดูดใช้โฟแทสเซียมเท่ากับ 13.90 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนเพียงอย่างเดียว (คำรับที่ 9) มีแนวโน้มของการดูดใช้โฟแทสเซียมต่ำสุดเท่ากับ 9.76 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณการดูดใช้โฟแทสเซียมไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณปุ๋ยโฟแทสเซียมที่ใช้ และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคำรับการทดลองต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 กับแปลงที่ 2 ปริมาณการดูดใช้โฟแทสเซียมของผักกาดหอมห่อมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับในกรณีของในโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การดูดใช้โฟแทสเซียมมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก คือเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเหมือนกัน การดูดใช้โฟแทสเซียมของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในแปลงที่สองมีค่าสูงกว่าที่ปลูกในแปลงที่ 1 เกือบหรือมากกว่า 1 เท่าตัว แสดงให้เห็นถึงการดูดใช้โฟแทสเซียมเกินพอ (luxury consumption) เนื่องจาก ผลผลิตของแปลงที่สองมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า

7.4 แคลเซียม

ปริมาณการดูดใช้ธาตุแคลเซียมของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1 (ตารางที่ 10) พบว่า คำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (คำรับที่ 6) มีแนวโน้มการดูดใช้แคลเซียมสูงสุดเท่ากับ 1.71 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนเพียงอย่างเดียว (คำรับที่ 9) ที่มีการดูดใช้แคลเซียมต่ำสุดเท่ากับ 0.91 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตาม การดูดใช้แคลเซียมในทุกคำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

สำหรับปริมาณการดูดใช้แคลเซียมของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 2 (ตารางที่ 11) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า คำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเลย (คำรับที่ 1) มีการดูดใช้แคลเซียมสูงสุดเท่ากับ 2.01 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีปริมาณสูงกว่าคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนเพียงอย่างเดียว (คำรับที่ 9) ซึ่งมีการดูดใช้แคลเซียมต่ำสุดเท่ากับ 0.91 กิโลกรัมต่อไร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณดังกล่าวก็สูงกว่าการดูดใช้แคลเซียมของผักกาดหอมห่อในคำรับที่ 2, 3 และ 5 อย่างเด่นชัดด้วยเช่นกัน โดยการดูดใช้แคลเซียมในแต่ละคำรับการทดลองที่มีความแตกต่างกันนี้มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับผลผลิตน้ำหนักสดที่ได้รับในแต่ละคำรับการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ 1 และแปลงที่ 2 พบว่า ปริมาณการดูดใช้ธาตุนี้มีความแปรผันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณปุ๋ยที่ใช้ของทั้งสองแปลง และโดยเฉลี่ยแล้วปริมาณการดูดใช้แคลเซียมของผักกาดหอมห่อที่ปลูกทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน

7.5 แมกนีเซียม

ปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียมของผักกาดหอมห่อในแปลงที่ 1 (ตารางที่ 10) พบว่า คำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (คำรับที่ 6) มีแนวโน้มการดูดใช้แมกนีเซียมต่อพื้นที่สูงสุดเช่นเดียวกับการดูดใช้แคลเซียมโดยมีค่าเท่ากับ 0.37 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีแนวโน้มแตกต่างจากคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนเพียงอย่างเดียว (คำรับที่ 9) ซึ่งมีการดูดใช้แมกนีเซียมต่ำสุดเท่ากับ 0.22 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียมไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคำรับการทดลองต่าง ๆ

ส่วนปริมาณการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2 (ตารางที่ 11) พบว่า คำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (คำรับที่ 8) มีแนวโน้มการดูดใช้แมกนีเซียมต่อพื้นที่สูงสุดเท่ากับ 0.48 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียมของผักกาดหอมห่อในคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนเพียงอย่างเดียว (คำรับที่ 9) ซึ่งมีการดูดใช้แมกนีเซียมต่ำสุดเท่ากับ 0.22 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคำรับการทดลองทั้งหมด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียมของทั้งสองแปลง พบว่า มีพิสัยค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราปุ๋ยที่ใช้เหมือนกัน โดยเฉพาะในคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนเพียงอย่างเดียว (คำรับที่ 9) พืชมีแนวโน้มของการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมต่อพื้นที่ต่ำสุดเท่ากันคือเท่ากับ 0.22 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 10 ปริมาณการดูดใช้ ธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ตัวอย่างพืช	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในพืช ¹ (กิโลกรัมต่อไร่)				
	N	P	K	Ca	Mg
ดำรับที่ 1	3.65a	0.78a	6.98a	1.27a	0.32a
ดำรับที่ 2	3.18a	0.63a	5.31a	1.59a	0.35a
ดำรับที่ 3	3.15a	0.67a	5.82a	1.05a	0.25a
ดำรับที่ 4	3.28a	0.78a	6.33a	1.30a	0.28a
ดำรับที่ 5	2.97a	0.69a	5.82a	1.20a	0.27a
ดำรับที่ 6	3.18a	0.89a	6.48a	1.71a	0.37a
ดำรับที่ 7	3.37a	0.79a	6.52a	1.51a	0.35a
ดำรับที่ 8	3.12a	0.70a	5.72a	1.22a	0.29a
ดำรับที่ 9	2.87a	0.64a	5.49a	0.91a	0.22a
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	29.2	27.6	29.4	29.8	27.6

หมายเหตุ ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

¹ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ผลการศึกษาการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกาดหอมห่อโดยเฉพาะธาตุอาหารหลัก หรือธาตุปุ๋ยซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ใส่ต่อพื้นที่ในแต่ละดำรับการทดลอง พบว่า ปริมาณที่พืชดูดใช้ขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินมีปริมาณน้อยกว่าปุ๋ยที่ใส่ลงไปให้แก่พืชทั้งสามธาตุ ในกรณีของไนโตรเจนเมื่อพิจารณาจากปริมาณที่เกษตรกรนิยมใช้ จะเห็นได้ว่า ในการปลูกผักกาดหอมห่อ 1 ครั้งจะใช้ปุ๋ยนี้เท่ากับ 102.3 กิโลกรัมต่อไร่ แต่พืชดูดธาตุนี้ขึ้นมาสะสมเพียง 3.15 กิโลกรัมต่อไร่ (แปลงที่ 1) และ 10.57 กิโลกรัมต่อไร่ (แปลงที่ 2) แสดงว่าผักกาดหอมห่อไม่สามารถใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มเติมลงไปได้หมด ส่วนที่ถูกลำออกจากพื้นที่ไปกับผลผลิต (crop removal) มีเพียงประมาณ 1 ใน 30 ส่วนของปริมาณที่ใส่ลงไป ทั้งนี้ยังไม่รวมกับไนโตรเจนที่อยู่ในปุ๋ยมูลวัวที่มีการใส่ในอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ก่อนปลูกด้วย ดังนั้น ไนโตรเจน

ส่วนเกินน่าจะเกิดการสูญหายไปจากระบบดิน และบางส่วนอาจจะหลงเหลืออยู่ได้บ้าง โดยเฉพาะในสภาพการเพาะปลูกภายใต้โรงเรือนที่การชะละลายอาจจะน้อยกว่าในสภาพนอกโรงเรือน ขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์การสะสมธาตุนี้ในเนื้อเยื่อพืชที่พบว่ามิอยู่ในระดับที่พอเพียงถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ปัญหานี้เลยก็ตาม

ตารางที่ 11 ปริมาณการดูดใช้ ธาตุอาหารในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

ตัวอย่างพืช	ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในพืช (กิโลกรัมต่อไร่) ^U				
	N	P	K	Ca	Mg
ตำรับที่ 1	9.12a	1.13a	12.85a	2.01a	0.39a
ตำรับที่ 2	9.54a	1.31a	13.78a	1.13bc	0.29a
ตำรับที่ 3	10.57a	1.24a	12.91a	1.07bc	0.28a
ตำรับที่ 4	8.25a	1.08a	11.91a	1.31bc	0.33a
ตำรับที่ 5	8.83a	0.93a	11.34a	1.15bc	0.29a
ตำรับที่ 6	11.45a	1.04a	13.90a	1.29bc	0.33a
ตำรับที่ 7	8.98a	0.95a	12.70a	1.56abc	0.38a
ตำรับที่ 8	9.58a	0.94a	14.04a	1.73ab	0.48a
ตำรับที่ 9	7.15a	0.71a	9.76a	0.91c	0.22a
F-test	ns	ns	ns	*	ns
C.V. (%)	31.7	25.0	25.4	31.7	31.5

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

^U ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในกรณีของฟอสฟอรัส ซึ่งปรากฏหลักฐานว่า ในพื้นที่โครงการหลวงโดยเฉพาะพื้นที่ที่ใช้สำหรับการปลูกผักก็จะมีธาตุนี้สะสมอยู่ในปริมาณสูงเกินความต้องการของพืชโดยทั่วไป(เล็ก, 2548) จากการศึกษาี้ หากใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่เกษตรกรนิยมใช้ (102.3 กิโลกรัมต่อไร่)

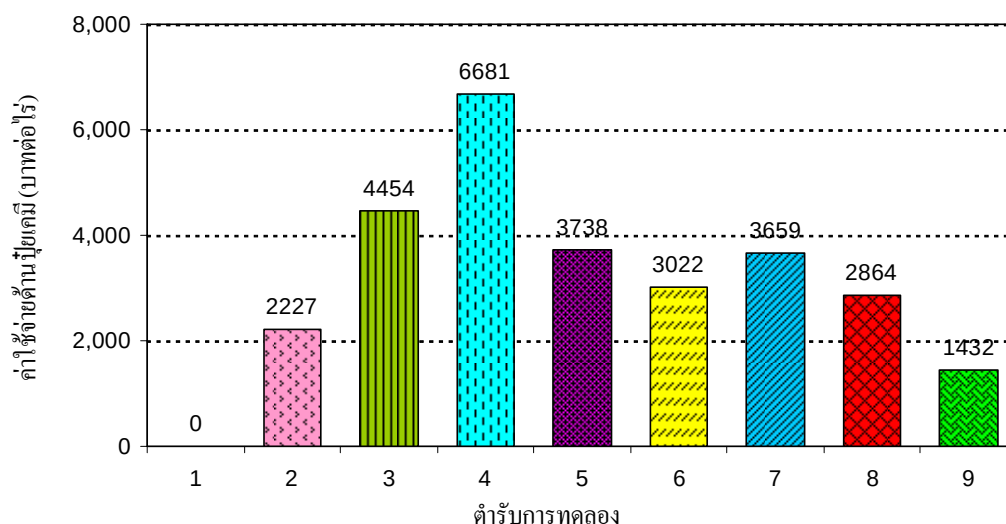
ผักกาดหอมห่อสามารถดูดใช้ธาตุนี้ได้เพียง 1 ในร้อยละส่วนของปริมาณที่ใส่ลงไป เพราะฉะนั้น ส่วนที่เหลือจากการใช้โดยพืชน่าจะเกิดการสะสมในดิน และสูญหายไปกับการชะละลายบางส่วน และอีกส่วนหนึ่งน่าจะเกิดการจับตัวกับธาตุบางตัวแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (ชัยฤกษ์, 2528) เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมก็เริ่มเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์อีกครั้ง (Havlin et al., 2005) แสดงให้เห็นว่า ปัญหาการสะสมธาตุนี้ในดินเกิดเนื่องจากการใช้ปุ๋ยชนิดนี้มากเกินไปเกินความต้องการของพืช ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียมากมายดังที่ได้กล่าวมาแล้ว (เล็ก, 2548) และเมื่อพิจารณาจากปริมาณความเข้มข้นที่สะสมในพืชนี้ พบว่า ผักกาดหอมห่อสามารถดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมมากเพียงพอหรือมากกว่าเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ เพราะฉะนั้น ปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสก็น่าจะสามารถลดลงได้อย่างน้อยครั้งหนึ่งของปริมาณที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต และลดปัญหาการสะสมของธาตุนี้ในดิน ขณะเดียวกัน หากมีการปรับสภาพดินให้เหมาะสมต่อการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ และ/หรือมีการศึกษาถึงธาตุอาหารอื่นที่จำกัดการเจริญเติบโตให้ผลผลิตของผักกาดหอมห่อ ยกตัวอย่างเช่น ธาตุอาหารรอง หรือจุลธาตุอาหาร แล้วมีการใส่เพิ่มเติมเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช ก็อาจจะทำให้สามารถลดปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสลงได้อีก (ศพิษา, 2550) เนื่องจาก ผลวิเคราะห์ดินแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปริมาณที่พบในดินก่อนปลูกมีมากเกินไปพอต่อความต้องการของผักกาดหอมห่อ

สำหรับโพแทสเซียมนั้น พบว่า ผักกาดหอมห่อมีการดูดใช้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส คือ อยู่ในพิสัย 5.31-6.98 กิโลกรัมต่อไร่ในแปลงที่ 1 และมีค่าสูงกว่าในแปลงที่สอง (9.76-14.04 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากปริมาณที่ใส่ลงไปในการที่ 3 ซึ่งเป็นอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (100.8 กิโลกรัมต่อไร่) ผักกาดหอมห่อมีการดูดใช้ธาตุนี้เพียง 1 ใน 10 ถึง 15 ส่วนของปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่ลงไป แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการใส่ดังกล่าวเป็นปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของพืช พืชไม่สามารถใช้ได้หมด อีกทั้งไม่ได้เป็นการช่วยเพิ่มผลผลิตแต่อย่างใด เพราะ ไม่ได้ให้ผลผลิตสูงกว่าการที่ 1 ไม่ใช้ปุ๋ยนี้ (ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงมากอยู่แล้ว) เพราะฉะนั้น การใส่ในปริมาณดังกล่าวเป็นการสิ้นเปลืองและก่อให้เกิดการตกค้างในดินได้เช่นเดียวกันกับปุ๋ยฟอสฟอรัส นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชก็พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ หรือในหลาย ๆ การทดลองของทั้งสองแปลงก็พบว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อมีค่าสูงกว่าเกณฑ์อ้างอิงด้วย นั้นย่อมแสดงถึง การดูดใช้เกินพอ ของพืช ซึ่งไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตแต่อย่างใด ดังนั้น การใช้ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราดังกล่าวเป็นการสิ้นเปลืองและเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต อีกทั้งก่อให้เกิดการสะสมในดิน ที่อาจจะมีผลเสียตามมาก็คือทำให้สมดุลธาตุอาหารในดินสูญเสียไป และยิ่งไปกว่านั้น ปริมาณโพแทสเซียมในดินที่มีมาก

เกินไปอาจจะไปยับยั้งพืชไม่ให้ดูดใช้ธาตุอาหารบางชนิด เช่น แมกนีเซียมได้เช่นกัน (คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ยงยุทธ, 2546)

8. ต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีแต่ละตำรับการทดลองในการปลูกผักกาดหอมห่อ

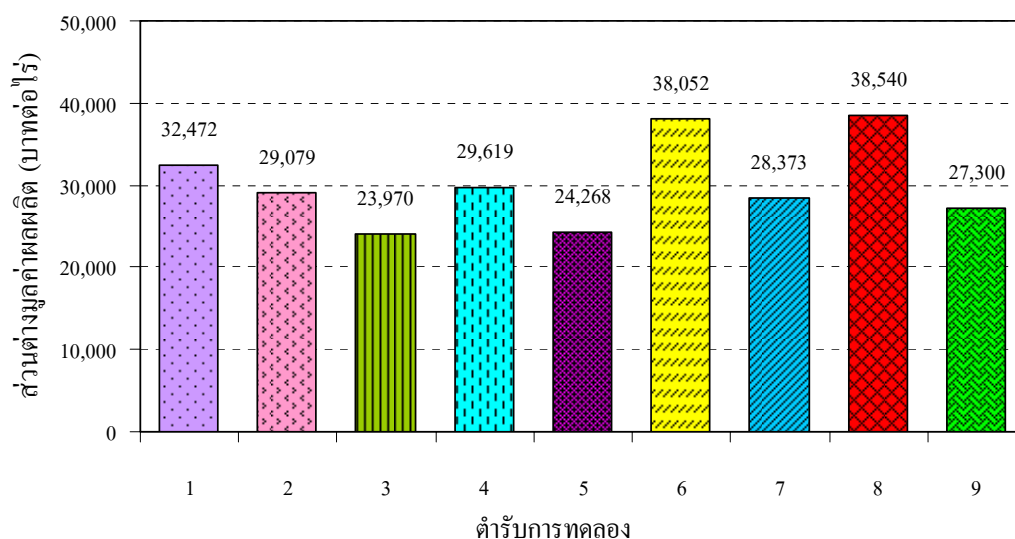
ผลการพิจารณาค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีในแต่ละตำรับการทดลอง จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีที่ใช้ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยครบสูตรอัตรา 1.5 เท่าของปริมาณที่ใช้โดยเกษตรกร ในพื้นที่มีค่าใช้จ่ายสูงสุดเท่ากับ 6,681 บาทต่อไร่ รองลงมาคือ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดย เกษตรกรในพื้นที่คิดเป็นเงิน 4,454 บาทต่อไร่ ส่วนในตำรับอื่น ๆ นั้นค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีที่ใส่ให้กับ ผักกาดหอมห่อมีค่าลดลงตามปริมาณปุ๋ยที่ใส่ลงไปแปลง



ภาพที่ 8 ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีในแต่ละตำรับการทดลอง

เมื่อพิจารณาถึงส่วนต่างของมูลค่าผลผลิตหลังจากหักค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีในแต่ละ ตำรับการทดลองในแปลงที่ 1 (ตารางที่ 12 และภาพที่ 6) จะเห็นได้ว่า ตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (ตำรับที่ 9) มีรายได้หลักจากหักค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีสูงสุดเท่ากับ 46,387 บาทต่อไร่และสังเกตได้ว่าตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (ตำรับที่ 1) ก็ยังให้ส่วนต่างมูลค่าผลผลิต สูง ส่วนตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยโดยอัตราที่ใช้โดยเกษตรกร (ตำรับที่ 3) มีรายได้หลังหัก ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีต่ำที่สุดเท่ากับ 30,860 บาทต่อไร่ ซึ่งเห็นได้ว่าอัตราการใช้ปุ๋ยที่เกษตรกรใช้อยู่ใน พื้นที่ไม่ใช่อัตราที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อเมื่อพิจารณาจากผลตอบแทนต่อพื้นที่

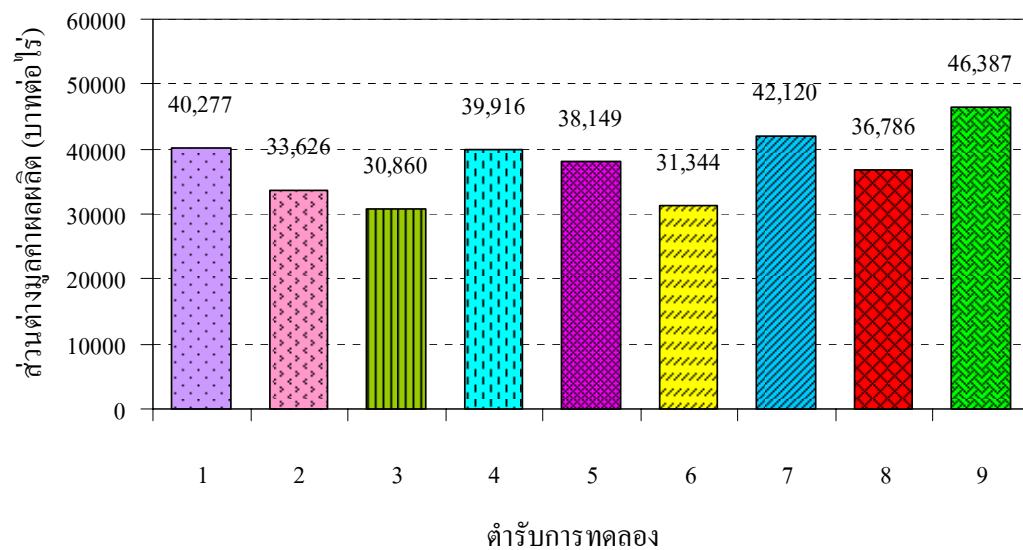
สำหรับส่วนต่างของมูลค่าผลผลิตหลังหักค่าใช้จ่ายค่าปุ๋ยเคมีในแต่ละดำรับการทดลองในแปลงที่ 2 (ตารางที่ 13 และภาพที่ 7) พบว่า ดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (ดำรับที่ 8) มีมูลค่าหลังหักค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีสูงสุดเท่ากับ 38,540 บาทต่อไร่ รองลงมาได้แก่ ดำรับที่ไม่มีการใส่ฟอสฟอรัสซึ่งให้ส่วนต่างมูลค่าผลผลิตใกล้เคียงกันเท่ากับ 38,052 บาทต่อไร่ และพบว่า แม้กระทั่งดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเลยก็ยังให้ส่วนต่างมูลค่าผลผลิตสูง ซึ่งสูงกว่าดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยในอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (ดำรับที่ 3) ซึ่งมีรายได้หลังหักค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมีต่ำที่สุดเท่ากับ 23,970 บาทต่อไร่ แสดงให้เห็นได้ว่าอัตราการใส่ปุ๋ยที่เกษตรกรใช้อยู่ในพื้นที่สำหรับแปลงนี้อาจไม่ใช่อัตราที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อเมื่อพิจารณาจากผลตอบแทนต่อพื้นที่



ภาพที่ 9 แสดงส่วนต่างมูลค่าผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ดังนั้น หากพิจารณาทั้งผลตอบแทน และผลกระทบที่เกิดจากการสะสมธาตุปุ๋ยในดินระยะยาวเนื่องจากการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่มากเกินไปต่อความต้องการของพืช โดยเฉพาะในระบบการปลูกผักกาดหอมห่อของเกษตรกรในพื้นที่ การใส่ปุ๋ยอัตราต่ำ และการลดปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและ โพแทสเซียมน่าจะเหมาะสมกว่าการใส่ปุ๋ยอัตราที่เกษตรกรในพื้นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยอัตราสูงดังการทดลองในดำรับที่ 4 ขณะเดียวกัน การใช้อัตราปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน อาจจะไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจาก ดินที่ทำการศึกษาทั้งสองแปลงมีการสะสมธาตุทั้งสองอยู่ในปริมาณที่สูงมาก เพราะฉะนั้น การลดปริมาณการใส่ปุ๋ยทั้งสองโดยอ้างอิงจากค่าวิเคราะห์ดินอาจจะไม่ทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้นหรืออยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ เพราะอิทธิพลของธาตุ

ทั้งสองที่มีต่อการดูใช้และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชอื่น อาทิเช่น ธาตุอาหารรอง และ จุลธาตุอาหาร เป็นต้น (Havlin *et al.*, 2005) นอกจากนี้ความไม่ชัดเจนเกี่ยวกับปริมาณของรูปที่เป็น ประโยชน์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพดิน และสภาพภูมิอากาศก็อาจจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อให้ทราบผลอย่างชัดเจนต่อไป



ภาพที่ 10 แสดงส่วนต่างมูลค่าผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ข้อมูลและผลวิเคราะห์ในการศึกษาชี้ให้เห็นว่าศักยภาพของดินในแปลงที่ 1 สูงกว่าแปลงที่ 2 เล็กน้อย พิจารณาจากค่าวิเคราะห์ดินในแปลงที่ 1 มีระดับความอุดมสมบูรณ์ดินในชั้นดินบน (0-20 เซนติเมตร) และชั้นใต้ชั้นดินบน (21-40 เซนติเมตร) อยู่ในระดับสูง และชั้นล่างสุด (41-60 เซนติเมตร) อยู่ในระดับปานกลาง ขณะที่ดินในแปลงที่ 2 พบเพียงชั้นดินบนที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรเท่านั้นที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ดินอยู่ในระดับสูง ส่วนชั้นอื่น ๆ พบอยู่ในระดับปานกลาง โดยดินทั้งสองแปลงมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงมาก เกินความต้องการของพืช และเมื่อพิจารณาถึงศักยภาพของดินสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อ ดินในแปลงที่ 1 มีศักยภาพที่ดีกว่า คือให้ผลผลิตเท่ากับ 1,830.79 กิโลกรัมต่อไร่เมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี เปรียบเทียบกับผลผลิตเท่ากับ 1476.34 กิโลกรัมต่อไร่ของแปลงที่ 2 ขณะที่ผลผลิตของดินก็มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อมีการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันพบว่า การปลูกผักกาดหอมห่อในดินของแปลงที่ 1 ให้ผลผลิตสูงกว่าในแปลงที่ 2 ในทุกกรณี เนื่องจากทั้ง 2 แปลงมีความแตกต่างกันทั้งตำแหน่งสภาพภูมิประเทศ ความลาดชัน และวัตถุดิบกำเนิดดิน ส่งผลให้ดินมีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกัน ศักยภาพและผลผลิตของดินที่ใช้ในการปลูกผักกาดหอมห่อในแต่ละแปลงมีความแตกต่างกันด้วย

รูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ พบว่า จากการทดลองใน 2 พื้นที่ ผลผลิตที่ได้รับไม่แตกต่างกันทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างการใช้ปุ๋ยอัตราต่าง ๆ กัน โดยแปลงที่ 1 การใช้ปุ๋ยปริมาณ 1.5 เท่าของอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่ (102.3, 102.3, 100.8 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อไร่) มีแนวโน้มการให้ผลผลิตน้ำหนัสดสูงสุด เท่ากับ 2,118.03 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยอัตราเดียวกับเกษตรกรแต่ละปริมาณโพแทสเซียมลงมาครึ่งหนึ่ง (2,080.85 กิโลกรัมต่อไร่) และลดฟอสฟอรัสลงครึ่งหนึ่ง (1,903.96 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่เมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี ผลผลิตผักกาดหอมห่อยังคงมีแนวโน้มสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตรที่ใช้โดยเกษตรกรเล็กน้อย สำหรับแปลงที่ 2 พบว่า แนวโน้มการให้ผลผลิตน้ำหนัสดสูงสุด (1,881.60 กิโลกรัมต่อไร่) ได้จากการใส่ปุ๋ยอัตราที่นิยมใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่แต่ไม่มีการใส่โพแทสเซียม ซึ่งใกล้เคียงกับการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (1,866.73 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเคมียังคงให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครบสูตร เช่นเดียวกับผลผลิตของแปลงที่ 1

การดูใช้ธาตุอาหารพืชขึ้นไปสะสมยังส่วนเหนือดินของผักกาดหอมห่อ ในกรณีของธาตุอาหารหลักไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ดังกล่าว แม้กระทั่งผักกาดหอมห่อที่ปลูกโดยไม่มีการใส่ธาตุปุ๋ยทั้งสอง แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินในพื้นที่ทั้งสองมีอิทธิพลต่อการดูใช้ในเชิงบวก ดังนั้น อัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่น่าจะเป็นปุ๋ยในอัตราที่ต่ำกว่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และมีแนวโน้มว่าสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลงได้อย่างน้อยครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ใช้อยู่ ขณะที่ ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อมีการใช้ปุ๋ยหลักในอัตราที่แตกต่างกัน แต่ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนเมื่อพิจารณาจากข้อมูลของทั้งสองแปลง อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่วิเคราะห์ได้พบอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติทั้งสิ้น ดังนั้น ธาตุอาหารรองทั้งสองอาจจะมีผลต่อการให้ผลผลิตผักกาดหอมห่อที่ปลูกในพื้นที่ได้เช่นกัน

แนวทางการลดปัญหาผลตกค้างปุ๋ยตกค้างในดินที่ใช้ปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่แม่แฮ โดยพิจารณาจากผลผลิตที่ได้รับจากการทดลองทั้งสองบริเวณร่วมกับผลตอบแทนหลังหักค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมี พบว่า สามารถดำเนินการได้โดยการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมลง เนื่องจาก ผักกาดหอมห่อที่ปลูกโดยการลดปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม และการไม่ใช้ปุ๋ยเคมีนั้น ให้ผลผลิตเมื่อคำนวณเป็นผลตอบแทนแล้วดีกว่าการใช้ปุ๋ยสูตรที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน หรือปุ๋ยสูตรสูง

ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาดำเนินการในช่วงปลายฤดูฝน ซึ่งพื้นที่ทั้งสองแปลงได้ผ่านการปลูกผักกาดหอม ห่อมาแล้วจำนวน 3 ครั้ง ดินไม่ได้มีการพักตัว จึงเกิดปัญหาเรื่องศัตรูพืชบ้าง ซึ่งอาจจะทำให้ผลที่ได้จากการศึกษามีความแปรปรวนพอสมควร ดังนั้น จึงน่าจะมีการศึกษาในช่วงฤดูกาลอื่นเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ ยกตัวอย่างเช่น ช่วงปลายฤดูหนาวหลังจากที่มีการพักดินแล้ว เป็นต้น

2) การลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีแนวโน้มที่จะทำได้ เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช แต่เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาอ้างอิงเป็นข้อมูลที่ได้จากการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศอบอุ่น ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในพื้นที่แม่ฮ่องสอน ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 22.9 องศาเซลเซียสและปริมาณน้ำฝนในปี 2549 มีค่าเท่ากับ 1,477.9 มิลลิเมตรซึ่งแตกต่างกับพื้นที่เขตอบอุ่นอยู่พอสมควร

3) ควรมีการศึกษการใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อในพื้นที่เพิ่มเติม เนื่องจากปริมาณการดูดใช้ขึ้นไปสะสมโดยพืชต่ำกว่าเกณฑ์ที่ได้มีการศึกษามา เช่นเดียวกับสังกะสี เนื่องจากฟอสฟอรัสและสังกะสีแสดงการขัดขวางซึ่งกันและกันในด้านการดูดและการสะสมธาตุทั้งสองของพืช (Blair *et al.*, 1990) ซึ่งดินในบริเวณศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก ซึ่งสามารถยับยั้งการดูดใช้สังกะสีโดยพืชได้ (Havlin *et al.*, 2005) และมีงานทดลองยืนยันในข้าวโพดที่พบว่า การเพิ่มฟอสฟอรัสมากขึ้นในดินทำให้การเคลื่อนย้ายของสังกะสีจากรากไปยังใบข้าวโพดลดลง และทำให้ปริมาณของสังกะสีในใบลดลง ซึ่งเกิดจากการที่ฟอสฟอรัสไปยับยั้งการเคลื่อนย้ายของสังกะสีภายในพืช (สุรศักดิ์, 2516)

4) ผลการศึกษาที่ผ่านมา และผลการศึกษาของศพิษา (2550) แสดงให้เห็นว่า ความแปรปรวนของปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการให้ผลผลิตพืชในกรณีที่มีการลดการใช้ปุ๋ยทั้งสองชนิด ดังนั้น การศึกษาด้านความสัมพันธ์ระหว่างรูปที่เป็นประโยชน์กับรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ของธาตุทั้งสองในดินบริเวณพื้นที่แม่ฮ่องสอน และพื้นที่ใกล้เคียง เช่นเดียวกับช่วงเวลาที่มีการปลดปล่อยออกมาให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ที่มีความสัมพันธ์กับช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชนี้ น่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวางแผนการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักกาดหอมห่อต่อไปในอนาคต

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544. **วิธีวิเคราะห์ดินทางเคมี.**
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา. 2551. **พจนานุกรมปฐพีวิทยา.** สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธัญวรรณ์ วาณะวงศ์จิตร. 2541. **ผลของการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและเชื้อจุลินทรีย์ต่อผลผลิตของ**
ผักกาดหอม ที่ปลูกในดินที่มีฟอสฟอรัสสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีรศักดิ์ ปั่นวิชัย. 2545. **ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอมห่อตัดแต่งพร้อมบริโภค.**
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

นิลประไพ จันทนภาพ, พวงเล็ก โมรากุล และ สำเนา เพชรจวี. 2518. **สถานะความอุดมสมบูรณ์**
ของดินสวนผักและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดที่พืชผักต่าง ๆ ดูดไปใช้. กลีกร 48(3): 151-
156.

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

ไพบูลย์ ประพติธรรม และ ทศนีย์ อัดตะนันท์. 2537. **การศึกษาผลกระทบของการจัดการสวน**
ผักและสวนผลไม้ของเกษตรกรต่อสภาพแวดล้อมและผู้บริโภคต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ

จุลธาตุประจุบวกที่ควรจะใช้ได้และสมบัติบางประการของดินในสวนผักและผลไม้ในเขต
อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี, น. 123-126. สรุปผลดำเนินงานวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการวิจัย KIP ประจำปี 2536, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสดสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2525. พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525. อักษรเจริญทัศน์,
กรุงเทพฯ.

เล็ก มอญเจริญ. 2548. รายงานเบื้องต้นสถานภาพการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับพืชผักในพื้นที่โครงการ
หลวง. เอกสารเสนอต่อฝ่ายวิจัยโครงการหลวง มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่.

สุรศักดิ์ เสรีพงศ์. 2516. การศึกษาอิทธิพลร่วมของสังกะสีและฟอสฟอรัสในดินต่อการ
เจริญเติบโตของข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศพิษา สังวิเศษ. 2550. การจัดการปุ๋ยผักกาดหอมห่อในดินที่มีฟอสฟอรัสตกค้างสูง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิสริยาภรณ์ สุวรรณชาติ. 2538. ผลตกค้างของการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และทรีปเปิลซูเปอร์
ฟอสเฟตติดต่อกัน 20 ปีต่อสมบัติและความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2548. การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตร
ศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2530. คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- Bakker, J.P. 1980. Planting density for lettuce. **Hort. Abstracts** 51: 301.
- Blair G J, J.R. Freney, J.K Park. 1990. Effect of sulfur, silicon, and trace metal interactions in determining the dynamics of phosphorus in agricultural systems. pp 269-280 *In* **Phosphorus Requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania**. International Rice Research Institute.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. **Soil Sci.** 59: 39-45.
- Brady, N.C. 1990. **The Nature and Properties of Soils**. 10th ed. Macmillan Publishing Company, New York.
- _____ and R.R. Weil. 1999. **The Nature and Properties of Soils**. 12th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- California Fertilizer Association. 1995. **Western Fertilizer Handbook**. Interstate Publishers, Inc., California.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black, (ed.). **Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties**. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 546-566. *In* C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis. Part I. Chemical and Microbiological Properties**. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Diaz, O. A., E. A. Hanlon, Jr., G. J. Hochmuth, and J. M. White. 1988. Phosphorus and potassium nutrition of lettuce on a Florida muck. **Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.** 47: 36-41.

- FAO. 1961. **Agriculture and Horticulture Seed: Their Production**. Rome, Italy.
- _____. 1976. **A Framework for Land Evaluation**. Soil, Bulletin No. 2 FAO Rome and International Institution for Land Reclamation and Improvement, Publication No. 2.
- Forsee, W. T. 1940. Recent plant responses to some micronutrient deficiencies on Everglades peat. **Soil Sci. Soc. Fla. Proc.** 2: 53-58.
- _____. 1952. Minor element deficiencies and field correction established by research in Florida vegetables. **Proc. Fla. State Hort. Soc.** 65: 54-159.
- _____. 1954. Conditions affecting the availability of residual and applied manganese in the organic soils of the Florida Everglades. **Soil Sci. Soc. Fla. Proc.** 20: 316-323.
- Guzman, V.L. and R.E. Lucas. 1979. **Preliminary Investigations on the Nutrient Requirements of Crisp-head Lettuce Cultivars**. Univ. Florida Belle Glade EREC Res. Rpt. EV-1979-4. p. 1-15.
- Guzman, V. L. and C. A. Sanchez. 1986a. **The Response of Lettuce to Fertility Level and Banded S, Mn, and P**. Univ. Florida Belle Glade EREC Res. Rpt. EV-1986-8: 24-33.
- _____. 1986b. **Response of Lettuce to Fertility Level and N Fertilization Practice**. Univ. Florida Belle Glade Research Report EV-1986-8: 17-23.
- Guzman, V. L., C. A. Sanchez and R. T. Nagata. 1989. A comparison of transplanted and direct-seeded lettuce at various levels of soil fertility. **Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.** 48: 26-28.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management**. 7th ed. Pearson Prentice Hall, NJ.

- Hockensmith, R.D. and J.G. Steele. 1949. Recent trends in the use of the land capability classification. **Soil Sci. Soc. Amer.** 14: 383-388.
- Hoque, M, H. Ajwa. and B. Mou. 2004. Nitrogen Phosphorus and potassium fertilization effects on nutritional composition of lettuce. **Amer Soc. Hort. Sci.** 39: 745-897.
- Iwana, S. and Motai. 1954. Ecological studies of vegetable in region of difference altitude. 7
Ecological behaviour of lettuce in hot season. **Hort. Abstract** 24: 394.
- Jackson, L.E. 1995. Root architecture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca* spp.). **Plant, Cell and Environment** 18: 885-897.
- Jackson, M.L. 1958. **Soil Chemical Analysis**. Prentice-Hall, Inc., Madison, Winconsin.
- _____. 1965. **Soil Chemical Analysis Advanced Course**. Dept. Soils, Univ. Winconsin.
- Jiang, Z. 2004. Nutrient concentrations in field-grown lettuce leaves and roots. **Amer. Soc. Hort. Sci.** 39: 645-897.
- Kaloo, K.H. 1981. Differentiation of lettuce cultivars (*L. sativa* var. Capitata). **Hort. Abstract.** 51: 31.
- Katyal, J.C., S.K. Das, K.L. Sharman and N.Saharan. 1992. Interaction of Zn in soil and their management. **Fertility News** 37(4):27-33.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soil. **Soil Sci.** 68: 15-24.
- Klingebiel, A.A. and H. Montgomery. 1961. **Land Capability Classification**. U.S. Dept. Agric. Handbook.

- 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.
- Kretchmer, A. E., and W. T. Forsee. 1964. The use and effectiveness of various copper bearing materials for application to Everglades organic soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 18: 471-474.
- Krizek, D.T. and D.P. Ormond. 1980. Growth response of Grand Rapid lettuce and First Lady Marigold to increase far-red and infrared radiation under controlled environment. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 68: 261-270.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development, Ministry of Agri. and Coop., Bangkok.
- Lanyon, L.E. and G.F. Hall. 1983. Land surface morphology II: predicting potential landscape instability in Eastern Ohio. **Soil Sci.** 136: 382-386.
- Lucas, R. E. and V. L. Guzman. 1980. **Crisphead Lettuce Plant Nutrient Trials**. Univ. Florida Belle Glade EREC Res. Rpt. EV-1980-9: 28-45.
- Mc Rae, S.G. and C.P. Burnham. 1981. **Land Evaluation**. Oxford University Press, New York.
- 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.
- Nagata, R. T., C. A. Sanchez and F. J. Coale. 1992. Crisphead lettuce cultivar response to fertilizer phosphorus. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 117(5): 721-724.

- National Soil Survey Center . 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual**. Soil Survey Invest. Rept. No 42, Version 3.0. U.S. Dept. of Agr., U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Olson, R.A., D.D. Stukenholtz and C.A. Hooker. 1965. Phosphorus-zinc relations in corn and sorghum production. **Better Crops with Plant Food** 49: 19-24
- Panichapong, S. 1978. Soil survey and training program for laymen to utilize in Thailand. *In* **Soil Resource Inventories and Development Planning**. Cornell University.
- Prasad, R. and J.F. Power. 1997. **Soil fertility management for sustainable agriculture**. Boca Raton, Fla. Lewis.
- Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp 1022-1030. *In* C.A. Black ed. **Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Microbiological Properties**. Agronomy No.9 Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison Wisconsin, USA.
- Rappaport, L. and S.H. Wittwer. 1956a. 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.
- Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- _____, 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.
- Sanchez, C. A., and H. W. Burdine. 1988. Relationship between soil-test P and K levels and

lettuce yield on Everglades Histosols. **Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.** 47: 52-56.

Sanchez, C. A., H. W. Burdine, V. L. Guzman, and C. B. Hall. 1988a. Yield, quality, and leaf nutrient composition of crisphead lettuce as affected by N, P and K on Histosols. **Proc. Florida State Hort. Soc.** 101: 346-350.

_____. 1988b. **Yield Quality and Leaf Nutrient Composition of Crisphead Lettuce as Affected by N, P and K Fertilizers.** Univ. Florida Belle Glade EREC Res. Rpt. EV-1988-3: 12-30.

Sanchez, C. A. 1990. Soil to sting and fertilization recommendations for crop production on organic soils in Florida. **Fla. Agr. Exp. Sta. Bull.** 876.

_____. S. Swanson and P. S. Porter. 1990a. Banding P to improve fertilizer use efficiency of lettuce. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 115(4): 581-584.

San Luis Hills Farm. 2006. **Fertilization of Lettuce.** Available Source: <http://www.slhfarm.com/lettucerecs.html>, December 12, 2007

Scholten, J.J. and G.A. Oughton. 1977. **Outline for Land Suitability Classification in Support of Intergrated Rural Development in the North Thailand.** Soil Survey Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperalative, Bangkok.

Shoemaker, J.S. 1953. **Vegetable Growing.** John Wiley and Sons, Inc., New York.

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.

Sorensen, J.N., A.S. Johansen and N. Poulsen. 1993. Influence of growth conditions on the value of crisphead lettuce. **Plant Foods for Human Nutrition** 46(1): 1-11.

- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity, pp. 475-490. *In* D.L. Sparks, (ed.). **Methods of Soil Analysis. Part III: Chemical Methods**. Soil Science Soc, Amer. Soc. of Agron. Madison.
- Thompson, H.C. and W.C. Kelly. 1978. **Vegetable Crops**. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- Thompson, L.M. and F.R. Troeh. 1978. **Soils and Soil Fertility**. 4th ed. McGraw-Hill Inc., New York.
- Tibbitts, T.W. and G. Bottenberg. 1976. Growth of lettuce under controlled humidity levels. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 101 (1): 70-73
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-38.
- Young, A. 1976. **Tropical Soils and Soil Survey**. Cambridge Univ. Press, London.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 1

Depth (cm)	Particle size distribution			Textural class
	Sand	Silt	Clay	
(-----g kg ⁻¹ -----)				
0-20	524	227	249	SCL
21-40	512	210	283	SCL
41-60	540	131	329	SCL

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 2

Depth (cm)	Particle size distribution			Textural class
	Sand	Silt	Clay	
(-----g kg ⁻¹ -----)				
0-20	579	236	186	SL
21-40	663	152	186	SL
41-60	686	149	165	SL

ตารางผนวกที่ 3 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 1

Depth	pH 1:1	OM	Total N	Avail.P	Extractable bases				Sum	Exch.	CEC		BS
	H ₂ O				K	Ca	Mg	Na	bases	acidity	by sum	NH ₄ OAc	(%)
(cm)		(-----g kg ⁻¹ -----)	(mg kg ⁻¹)		(-----cmol kg ⁻¹ -----)								
0-20	7.4	36	2.17	1006.0	0.84	8.49	0.82	0.09	10.25	13.50	23.75	21.11	43.15
20-40	6.1	32	1.58	109.0	0.75	7.24	0.80	0.11	8.90	11.50	20.40	11.75	43.64
40-60	6.5	23	0.99	49.9	0.28	5.09	0.68	0.08	6.14	8.50	14.64	8.75	41.94

ตารางผนวกที่ 4 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษาแปลงที่ 2

Depth	pH 1:1	OM	Total N	Avail.P	Extractable bases				Sum	Exch.	CEC		BS
	H ₂ O				K	Ca	Mg	Na	bases	acidity	by sum	NH ₄ OAc	(%)
(cm)		(-----g kg ⁻¹ -----)	(mg kg ⁻¹)		(-----cmol kg ⁻¹ -----)								
0-20	6.9	39	2.10	83.5	1.26	8.43	1.23	0.33	11.25	13.00	24.25	13.74	46.39
20-40	5.7	19	1.06	918.5	0.41	3.96	0.54	0.13	5.04	8.50	13.54	7.99	37.22
40-60	5.8	18	0.85	46.9	0.34	4.79	0.81	0.08	6.02	7.50	13.52	9.12	44.51

ตารางผนวกที่ 5 แสดงผลต่างระหว่างค่าปุ๋ยกับผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ดำรับ การทดลอง	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	มูลค่าผลผลิต (บาทต่อไร่)	ค่าปุ๋ย (บาทต่อไร่)	ส่วนต่างมูลค่า ผลผลิต(บาท)
ดำรับที่ 1	1,831	40,277	0	40,277
ดำรับที่ 2	1,630	35,853	2,227	33,626
ดำรับที่ 3*	1,605	35,314	4,454	30,860
ดำรับที่ 4	2,118	46,597	6,681	39,916
ดำรับที่ 5	1,904	41,887	3,738	38,149
ดำรับที่ 6	1,562	34,366	3,022	31,344
ดำรับที่ 7	2,081	45,779	3,659	42,120
ดำรับที่ 8	1,802	39,650	2,864	36,786
ดำรับที่ 9	1,913	47,819	1,432	46,387

หมายเหตุ คิดราคาผลผลิตในเกรด B น้ำหนัก 250 กรัม คิดราคา กิโลกรัมละ 22 บาท

ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมี คิดที่แม่ปุ๋ย กิโลกรัมละ 14 บาท

* ดำรับที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่

ตารางผนวกที่ 6 แสดงผลต่างระหว่างค่าปุ๋ยกับผลผลิตผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

ดำรับ การทดลอง	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	มูลค่าผลผลิต (บาทต่อไร่)	ค่าปุ๋ย (บาทต่อไร่)	ส่วนต่างมูลค่า ผลผลิต(บาท)
ดำรับที่ 1	1,476	32,472	0	32,472
ดำรับที่ 2	1,423	31,306	2,227	29,079
ดำรับที่ 3*	1,292	28,424	4,454	23,970
ดำรับที่ 4	1,650	36,300	6,681	29,619
ดำรับที่ 5	1,273	28,006	3,738	24,268
ดำรับที่ 6	1,867	41,074	3,022	38,052
ดำรับที่ 7	1,456	32,032	3,659	28,373
ดำรับที่ 8	1,882	41,404	2,864	38,540
ดำรับที่ 9	1,306	28,732	1,432	27,300

หมายเหตุ คิดราคาผลผลิตในเกรด B น้ำหนัก 250 กรัม คิดราคา กิโลกรัมละ 22 บาท

ค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยเคมี คิดที่แม่ปุ๋ย กิโลกรัมละ 14 บาท

* ดำรับที่ใช้โดยเกษตรกรในพื้นที่

ตารางผนวกที่ 7 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 และ ทรายละเอียดมากปนดินร่วน)
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 8 ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความ
อุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ, 2548; Land Classification Division and FAO Project
Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

1. ปฏิกริยาของดิน (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. อินทรีย์วัตถุ (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. ด่างที่สกัดได้ (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)

7. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol kg^{-1})
ต่ำมาก (VL)	<3
ต่ำ (L)	3-5
ค่อนข้างต่ำ (ML)	5-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-20
สูง (H)	20-30
สูงมาก (VH)	>30

8. การอิ่มตัวเบส (base saturation)

ระดับ (rating)	พิสัย (%)
ต่ำ (L)	<35
ปานกลาง (M)	35-75
สูง (H)	>75

ตารางผนวกที่ 9 เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณกรดที่สกัดได้

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol kg ⁻¹)
ต่ำมาก	<1.0
ต่ำ	1.0-2.0
ปานกลาง	2.0-5.0
ค่อนข้างสูง	5.0-10.0
สูง	10.0-20.0
สูงมาก	>20.0

ที่มา: นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 10 วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจากผลการวิเคราะห์ดิน (กองสำรวจดิน, 2523)

ระดับความอุดม สมบูรณ์ของดิน	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (g kg ⁻¹)	ปริมาณฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	ปริมาณโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	ความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน (cmol kg ⁻¹)	อัตราร้อยละ ความอิ่มตัวเบส (%)
ต่ำ	< 15 (1)	< 10 (1)	< 60 (1)	< 10 (1)	< 35 (1)
ปานกลาง	15-35 (2)	10-20 (2)	60-90 (2)	10-20 (2)	35-75 (2)
สูง	> 35 (3)	> 20 (3)	> 90 (3)	> 20 (3)	> 75 (3)

หมายเหตุ วิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ใช้วิธีให้คะแนน (ตัวเลขคะแนนอยู่ในวงเล็บในตาราง)

ถ้าคะแนนเท่ากับ 7 หรือน้อยกว่า ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ถ้าคะแนนอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ถ้าคะแนนเท่ากับ 13 หรือมากกว่า ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง

ตารางผนวกที่ 11 ผลผลิตน้ำหนักรากและน้ำหนักรากแห้งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 1

ตัวรับการทดลอง	ผลผลิตน้ำหนักรากสด		ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง	
	กรัม/ต้น	กิโลกรัม/ไร่	กรัม/ต้น	กิโลกรัม/ไร่
ตัวรับที่ 1	679.25a	1,830.79a	14.43a	31.93a
ตัวรับที่ 2	731.50a	1,629.66a	14.79a	28.29a
ตัวรับที่ 3	593.75a	1,605.18a	12.05a	33.25a
ตัวรับที่ 4	782.5a	2,118.03a	13.00a	45.80a
ตัวรับที่ 5	682.75a	1,903.96a	13.53a	34.59a
ตัวรับที่ 6	710.50a	1,562.08a	13.71a	29.82a
ตัวรับที่ 7	712.75a	2,080.85a	13.35a	39.30a
ตัวรับที่ 8	755.50a	1,802.25a	15.11a	35.67a
ตัวรับที่ 9	617.50a	1,912.77a	12.34a	39.36a
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	15.6	26.1	17.4	28.0

ตารางผนวกที่ 12 ผลผลิตน้ำหนักรากและน้ำหนักรากแห้งของผักกาดหอมห่อแปลงที่ 2

ตัวรับการทดลอง	ผลผลิตน้ำหนักรากสด		ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง	
	กรัม/ต้น	กิโลกรัม/ไร่	กรัม/ต้น	กิโลกรัม/ไร่
ตัวรับที่ 1	660.75a	1476.34a	16.55a	48.84a
ตัวรับที่ 2	689.25a	1422.67a	17.28a	27.66a
ตัวรับที่ 3	629.50a	1292.22a	16.34a	36.54a
ตัวรับที่ 4	635.00a	1650.10a	14.90a	31.54a
ตัวรับที่ 5	586.75a	1272.93a	15.25a	41.10a
ตัวรับที่ 6	685.50a	1866.73a	18.78a	42.10a
ตัวรับที่ 7	615.00a	1456.00a	15.41a	48.07a
ตัวรับที่ 8	662.50a	1881.60a	16.33a	45.68a
ตัวรับที่ 9	568.50a	1306.34a	12.74a	27.82a
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	17.1	41.8	27.3	49.6

ตารางผนวกที่ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลง non SI unit เป็น 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	นางสาวนภาพร ปัญญาชัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 23 เมษายน 2527
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยแม่โจ้