



การวิเคราะห์สัดส่วนของโดโลไมต์จากตะกอนเหมืองหินและมูลไก่สำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

PROPORTION ANALYSIS OF DOLOMITE FROM QUARRY SEDIMENT AND CHICKEN MANURE FOR ORGANIC FERTILIZER PELLET PRODUCTION

จิตรา รุกิจการพานิช^{1*} และกรบงกช วรนาตสุรงค์²

¹รองศาสตราจารย์, ²นิสิตปริญญาโท

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Corresponding author, Email: jittra.r@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของโดโลไมต์จากตะกอนเหมืองหินและมูลไก่สำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ให้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานและมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต งานวิจัยนี้ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทำเปรียบเทียบกับสัดส่วนที่ควบคุม (T0) จำนวน 3 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่ที่สัดส่วน 0:100 (T0), 10:90 (T1), 20:80 (T2), 30:70 (T3) และ 40:60 (T4) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเนื้อดินหลังปลูกดีขึ้นพบที่สัดส่วน T3 และ T4 แสดงว่าเมื่อสัดส่วนโดโลไมต์มากขึ้นได้ส่งผลให้ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนและมีความโปร่งพรุนมากขึ้น ผลการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตที่สัดส่วนที่ T0 – T3 นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนต้นทุนการผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนี้ลดลงเมื่อสัดส่วนโดโลไมต์เพิ่มขึ้น ดังนั้นสัดส่วนที่เหมาะสมควรเป็น 30:70 (T3)

คำสำคัญ: โดโลไมต์; ตะกอนเหมืองหิน; ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด; ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the suitable proportion of dolomite from quarry sediment with chicken manure to produce organic fertilizer pellets that could meet the standards and be effective in plant growth and yield. Three replications were used in the research's experimental completely randomized design (CRD). The findings demonstrated that the organic fertilizer pellets met the Department of Agriculture's organic fertilizers requirement in the ratios of 0: 100 (T0), 10: 90 (T1), 20: 80 (T2), 30: 70 (T3), and 40: 60 (T4). The chemical and physical characteristics of the soil texture after planting improved at the ratio of T3 and T4. It shown that a higher dolomite content resulted in a loamy and permeable soil texture. There were no statistically significant variations in the efficiency of growth and yield at the interval of T0 to T4. As the dolomite content of granulated organic fertilizer increased, the cost of manufacture was reduced. Therefore, the suitable ratio should be 30:70 (T3).

KEYWORDS: Dolomite; Quarry Sediment; Organic Fertilizer Pellet; Organic Fertilizer Pellets from Dolomite and Chicken Manure

Jittra Rukijkanpanich^{1*} and Kornbonggodh Voranatsuronk²

^{1*} Associate Professor, ² Graduate Student

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเหมืองหินมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดและนำไปสู่การแปรรูปหินขนาดต่างๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ในกระบวนการทำเหมืองหินนี้จะมีส่วนที่เป็นเศษหินปนกับดินซึ่งถือเป็นตะกอนจากการทำเหมืองที่ต้องทำการจัดการตามกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมของการทำเหมืองต่อไป อย่างไรก็ตามเมื่อนำตะกอนจากเหมืองหินที่บดแล้ว (ดังแสดงในรูปที่ 1) มาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุ ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence: XRF) พบว่าตะกอนดังกล่าวมี Calcium Oxide (CaO) 31.5% และ Magnesium Oxide (MgO) 21.8% ซึ่งเป็นสารประกอบของโดโลไมต์ (Dolomite : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ช่วยลดความเป็นกรดของดินและปรับปรุงโครงสร้างของดินให้มีความโปร่งพรุนดีขึ้น และสามารถให้ธาตุอาหารรองแก่พืชได้ [1 - 2] ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำดินตะกอนจากเหมืองหินไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม

จากการสำรวจวรรณกรรมพบว่าการนำโดโลไมต์ไปใช้ผสมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มธาตุอาหารและปรับสภาพดินให้มีความเหมาะสมในการปลูกพืชมากขึ้น แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่กล่าวถึงสัดส่วนผสมที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีความนิยมทำเกษตรอินทรีย์ และใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น มูลสัตว์ เศษซากพืช มาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ จึงมีความน่าสนใจที่จะนำโดโลไมต์มาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณค่าของปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่ามูลไก่เป็นวัสดุที่มีธาตุอาหารหลักสูงกว่ามูลสัตว์และซากพืชชนิดต่างๆ โดยเฉพาะธาตุอาหารไนโตรเจน รองลงมาจากมูลค่างาว อีกทั้งมูลไก่มีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่ามูลค่างาว [3 - 5] จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เกิดแนวคิดในการนำโดโลไมต์จากดินตะกอนเหมืองหินมาใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลไก่

ข้อดีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดได้แก่ สามารถใช้งานได้สะดวก ลดความรุนแรงของกลิ่นมูลสัตว์ เก็บรักษานาน และสามารถขนย้ายได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถใช้กับเครื่องให้ปุ๋ยได้อีกด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปุ๋ยอินทรีย์ในปัจจุบัน [6] โดยที่ควรผลิตให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร และควรมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต



รูปที่ 1 ตะกอนจากเหมืองหินที่ผ่านการบดแล้ว

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โดโลไมต์

โดโลไมต์ (Calcium Magnesium Carbonate, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) มีสารประกอบหลักคือ CaO และ MgO ซึ่งโดโลไมต์แต่ละแหล่งจะมี CaO ประมาณ 30% และ MgO ประมาณ 20% [7 - 9] มีการนำโดโลไมต์ไปใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรม ในการปรับปรุงดิน

ทั้งลักษณะสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพให้ดีขึ้น โดยจะช่วยปรับโครงสร้างให้ดินมีความโปร่งพรุนมากขึ้น ทำให้สามารถระบายน้ำและอากาศดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยแก้ความเป็นกรดของดิน ที่เป็นกรดมากเกินไป (ค่า pH ต่ำกว่า 5) ปรับให้ความเป็นกรดลดลง pH สูงขึ้นอยู่ที่ประมาณ 6.5 ซึ่งในช่วง pH 5.6 – 7.3 เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นผลดีต่อพืช อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มธาตุอาหารรองให้แก่พืชได้อย่างดีอีกด้วย ซึ่งได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียม [1, 2, 10]

2.2 ปุ๋ยอินทรีย์

ตามพระราชบัญญัติ ปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 ได้ให้คำจำกัดความของปุ๋ยไว้ว่า “ปุ๋ย” หมายถึง สารอินทรีย์ อินทรีย์สังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช โดยปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ [11] ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาสัดส่วนของโดโลไมต์จากดินตะกอนเหมืองหินมาเป็นส่วนผสมร่วมกับมูลไก่ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร โดยอ้างอิงเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2557 กรณีไม่เป็นปุ๋ยอินทรีย์เหลว ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557 กรณีไม่เป็นปุ๋ยอินทรีย์เหลว [12]

คุณลักษณะ	เกณฑ์มาตรฐาน
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P ₂ O ₅)	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K ₂ O)	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter: OM)	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	ไม่เกิน 20: 1
ความชื้น (Moisture)	ไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การผลิตและวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่นั้น เริ่มจากการนำโดโลไมต์และมูลไก่มาดให้ละเอียดและผสมตามสัดส่วนในตารางที่ 2 คลุกเคล้าให้เข้ากัน และเติมน้ำตาล 10% ของน้ำหนักปุ๋ย เพื่อเป็นตัวประสาน และเติมน้ำ 20% ของน้ำหนักปุ๋ย เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดจับตัวเป็นก้อน และทำการอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด หลังจากนั้นนำเม็ดปุ๋ยที่ได้มาตากในที่ร่ม เพื่อให้ความชื้นลดลง ไม่ให้เกิดรา [13] จนได้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่ ตามรูปที่ 2 และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ตารางที่ 2 สัดส่วนของโดโลไมต์และมูลไก่

สัดส่วนที่	โดโลไมต์ : มูลไก่
T0 (Control)	0 : 100
T1	10 : 90
T2	20 : 80
T3	30 : 70
T4	40 : 60
T5	50 : 50
T6	60 : 40



รูปที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่

3.2 การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินสำหรับการปลูกทดลอง

งานวิจัยนี้มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ซึ่งมีการกำหนดปัจจัย (Factor) คือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีสัดส่วนของโดโลไมต์และมูลไก่ในสัดส่วนต่างๆ ตามตารางที่ 2 แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติและเลือกสัดส่วนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมวิชาการเกษตรมาทำการปลูกพืชทดลองด้วยสัดส่วนละ 3 ซ้ำ (Replicate) พืชที่ปลูกทดลอง ได้แก่ ผักสลัด 2 ชนิด คือ ผักกรีนโอ๊ค (Green Oak) และผักกรีนคอส (Green Cos) โดยกำหนดให้ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เป็นการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ได้ ได้แก่ จำนวนใบ ความสูงต้นที่อยู่เหนือดิน ความกว้างทรงพุ่มของต้น และน้ำหนักสดรวมของผลผลิต

การปลูกพืชทดลองในงานวิจัยนี้ มีการกำหนดตัวแปรควบคุม (Controlled Variable) คือ 1) ดินที่นำมาใช้ในการปลูกทดลอง เป็นดินจากอำเภอรัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีสภาพเป็นกรด ทั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างดินนี้และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับใช้เป็นดินเริ่มต้นของการปลูกพืชทดลอง 2) ขนาดของกระถางและปริมาณดินที่ใช้ในการปลูกทดลอง เป็นกระถางขนาด 8 นิ้ว ที่มีดินน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่อกระถาง 3) ปริมาณการใส่ปุ๋ย ซึ่งจะใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่ในปริมาณ 50 กรัมต่อกระถาง 4) สภาพแวดล้อมและการรดน้ำ เป็น

การปลูกทดลองในโรงเรือน และมีการรดน้ำโดยใช้ระบบอัตโนมัติด้วยหัวแบบมินิสปริงเกอร์ เพื่อให้ผักแต่ละกระถางได้รับน้ำในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

3.3 รายละเอียดของการเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้มีการเก็บข้อมูลเพื่อวัดผลการทดลองดังนี้

1) การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต โดยข้อมูลการเจริญเติบโตจะเก็บข้อมูลเป็น 3 ระยะ คือ เมื่อผักมีอายุ 25 วัน 35 วัน และ 45 วัน นับตั้งแต่ต้นกล้าถูกย้ายลงสู่กระถาง ซึ่งจะเก็บข้อมูล 3 อย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ ได้แก่ จำนวนใบ (ใบ) ความสูงต้นที่อยู่เหนือดิน (cm) และความกว้างทรงพุ่ม (cm) และสำหรับข้อมูลผลผลิต จะเก็บข้อมูลเมื่อผักมีอายุ 45 วัน ซึ่งเป็นวันเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยจะเก็บส่วนต้นและส่วนราก แล้วนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อเป็นข้อมูลผลผลิตน้ำหนักสดรวม (g) และนำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธีด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) การวิเคราะห์ข้อมูลของดินหลังการปลูกทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วนำมาพิ้งให้ดินแห้ง หลังจากนั้นทำการสุมตัวอย่างของดินที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ของแต่ละสัดส่วนที่ทำการปลูกทดลอง นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื้อดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุต่างๆ ในดิน เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของดิน

3.4 การประเมินข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์

งานวิจัยนี้จะทำการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการประเมินต้นทุนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ของแต่ละสัดส่วน แล้วทำการสรุปและอภิปรายผล

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ทั้ง 7 สัดส่วน ดังตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) และปริมาณธาตุอาหารหลัก ซึ่งได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) มีแนวโน้มลดลงไปในทิศทางเดียวกันตามสัดส่วนมูลไก่ที่ลดลง เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารหลักนั้นมาจากมูลไก่ ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารรอง ได้แก่ ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (Total Ca) และแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Mg) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากโคโลไมต์ที่มีแร่ธาตุแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เป็นสารประกอบหลัก

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ทั้ง 7 สัดส่วน เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ.2557 กรณีไม่เป็นปุ๋ยอินทรีย์เหล่านั้น ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในสัดส่วนที่ T0 – T4 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณธาตุอาหารหลัก ความชื้น (Moisture) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด แต่สัดส่วนที่ T5 และ T6 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพียง 16.55% และ 17.21% ตามลำดับ และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพียง 0.80% และ 0.69% ตามลำดับ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ที่ต้องมีปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณ

ในโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมูลไก่ที่เป็นแหล่งของธาตุอาหารหลักมีสัดส่วนน้อยเกินไป ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ไม่มีคุณภาพ

ดังนั้นจึงวางแผนทำการทดลองปลูกพืชด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในสัดส่วนที่ T0 – T4 เท่านั้น ทำการเก็บข้อมูลของดินหลังการปลูกพืชทดลองและทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินดังกล่าว รวมทั้งเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่

รายการวิเคราะห์	สัดส่วนของ โคโลไมต์ : มูลไก่							เกณฑ์มาตรฐาน กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2557
	0 : 100 (T0)	10 : 90 (T1)	20 : 80 (T2)	30 : 70 (T3)	40 : 60 (T4)	50 : 50 (T5)	60 : 40 (T6)	
pH	6.67	6.67	6.55	6.45	6.51	7.14	6.59	-
OM	33.03%	31.41%	27.47%	24.92%	21.30%	16.55%*	17.21%*	≥ 20%
Total N	1.68%	1.58%	1.42%	1.25%	1.04%	0.80%*	0.69%*	≥ 1%
Total P ₂ O ₅	4.22%	4.14%	2.91%	2.51%	2.01%	1.75%	1.20%	≥ 0.5%
Total K ₂ O	3.27%	2.94%	2.58%	2.24%	2.05%	1.71%	1.37%	≥ 0.5%
Total Ca	8.22%	10.23%	12.12%	13.42%	16.92%	19.41%	26.52%	-
Total Mg	1.08%	2.25%	3.43%	4.22%	5.69%	6.64%	9.47%	-
Moisture	8.97%	8.06%	6.80%	6.16%	5.16%	4.59%	3.79%	≤ 30%
C/N Ratio	11.44	11.57	11.23	11.61	11.94	12.07	14.49	≤ 20 : 1

* ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2557

4.2 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของดินเริ่มต้นปลูกและหลังการทดลองปลูก

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินนั้นปรากฏดังตารางที่ 4 ดินที่นำมาเริ่มใช้ปลูกในงานวิจัยนี้ มีค่า pH เท่ากับ 3.71 ซึ่งเป็นดินกรดรุนแรง และมีลักษณะของเนื้อดิน (Texture) เป็นดินเหนียว (Clay) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคทราย 15% ทรายแป้ง 23% และดินเหนียว 62% แต่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในระดับปานกลาง และมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (avail. P) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exch. K) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) อยู่ในระดับสูงถึงสูงมากซึ่งจะเป็นดินที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตต่อพืชสูง เนื่องจากมีธาตุอาหารพืชสูง ทั้งนี้พบข้อแนะนำว่าการปรับปรุงลักษณะสมบัติทางกายภาพของดินให้ร่วนซุยขึ้น ระบายน้ำได้ดีขึ้น และปรับ pH เพิ่มขึ้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืชนั้นให้ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ [14]

เมื่อนำดินนี้ไปใช้ปลูกทดลองโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ในสัดส่วนต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินหลังเก็บเกี่ยวดังตารางที่ 4 พบว่า

1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) มีค่าเพิ่มขึ้น คือ ดินมีความเป็นกรดลดลงในทุกสัดส่วนที่ T0 – T4 มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.31 – 6.37 ซึ่งเป็นดินกรดเล็กน้อย ซึ่งเป็นค่า pH ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่อยู่ในช่วง pH ประมาณ 5.6 – 7.3 [15] และในงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่า T0 ที่มีมูลไก่อย่างเดียว มีความเป็นกรดลดลงใกล้เคียงกับสัดส่วนอื่นๆ ที่ T1 - T4 ที่มี

โดโลไมต์ผสมรวมอยู่ด้วย แสดงให้เห็นว่าโดโลไมต์อาจไม่ได้มีผลทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงโดยตรง แต่ค่า pH ที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากมูลไก่ที่สามารถช่วยทำให้ดินมีความเป็นกรดลดลง และมีสมบัติทางเคมีดีขึ้นได้ [16]

2) คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน (Texture) หลังการปลูกทดลองพบว่าสัดส่วนที่ T0 – T4 นั้นเนื้อดินมีลักษณะเป็นทรายและ ทรายแป้งเพิ่มขึ้น และเป็นดินเหนียวลดลง ซึ่งสัดส่วนที่ T0 – T2 ยังคงมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว แต่สัดส่วนที่ T3 และ T4 มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนเหนียว การที่สัดส่วนที่ T0 ซึ่งมีเพียงมูลไก่อย่างเดียวมีลักษณะเนื้อดินเป็นทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว แสดงให้เห็นว่ามูลไก่มีผลต่อเนื้อดิน แต่เมื่อดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีสัดส่วนของโดโลไมต์เพิ่มขึ้นยิ่งทำให้ดินหลังปลูกพืชมีแนวโน้มร่วนขึ้น โดยมีอนุภาคทรายที่มีมากขึ้นประมาณ 5% แม้ว่าจะมีสัดส่วนของมูลไก่ลดลง

การที่เนื้อดินมีลักษณะเป็นดินร่วนปนเหนียวสามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากประจุบวกของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) หรือแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ในสารละลายดินที่ได้มาจากโดโลไมต์ ทำให้ดินมีประจุลบรวมน้อยลง มีผลทำให้อนุภาคดินเหนียวในรูปแขวนลอย เกิดการจับตัวกันแล้วตกตะกอน ซึ่งดินเหนียวที่เคยแน่นทึบจะมีความโปร่งพูนมากขึ้น ทำให้ระบายน้ำและอากาศได้ดีขึ้นซึ่งจะเป็นผลดีต่อพืช [1]

3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ Total N, avail. P, exch. K, exch. Ca, exch. Mg และ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ในทุกสัดส่วนที่ T0 – T4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งหมดจากดินตอนเริ่มต้นปลูก และยังคงมีปริมาณอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก ซึ่งธาตุอาหารที่เหลือในดินนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการปลูกพืชครั้งถัดไป

4.3 ผลวิเคราะห์การเจริญเติบโตและผลผลิต

จากการศึกษาได้เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกรีนโอ๊คและกรีนคอส ได้แก่ จำนวนใบ ความสูงของต้น และความกว้างทรงพุ่ม โดยเก็บข้อมูล 3 ช่วง ที่อายุผัก 25 วัน 35 วัน และ 45 วัน นับจากวันที่ต้นถูกนำมาลงปลูกในกระถาง และเก็บข้อมูลของผลผลิตหลังเก็บเกี่ยว เพื่อมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธีด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งผลวิเคราะห์การเจริญเติบโตพบว่า ในช่วงอายุ 25 วัน ต้นกรีนโอ๊คในสัดส่วนที่ T2 มีความสูงเฉลี่ยสูงสุด 6.57 cm ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสัดส่วนที่ T0 และ T4 ที่มีความสูงเฉลี่ย 3.7 cm และ 4.03 cm ตามลำดับ และต้นกรีนโอ๊คในสัดส่วนที่ T2 มีความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยสูงสุด 12.83 cm ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสัดส่วนที่ T4 ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย 8.17 cm แต่เมื่อผักมีอายุ 45 วัน จะเห็นได้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่ที่สัดส่วน T0 – T4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ไม่มีโดโลไมต์ผสมของสัดส่วน T0 กับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีโดโลไมต์ผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ T1 – T3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งการเจริญเติบโตและผลผลิตของกรีนโอ๊คและกรีนคอส ดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 ซึ่งในแต่ละสัดส่วนให้ผลใกล้เคียงกันกับสัดส่วนที่ T0 แต่สัดส่วนที่ T4 ให้ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตน้อยที่สุด

ดังนั้นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่ในสัดส่วนต่างๆ T1 – T3 สามารถนำมาใช้เพื่อช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้พืชเจริญเติบโตและผลผลิตได้เทียบเท่ากับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีเพียงมูลไก่แต่ไม่มีโดโลไมต์ผสม (สัดส่วนที่ T0) ซึ่งให้ผลผลิตใกล้เคียงกันดังนั้นหากโดโลไมต์มีราคาถูกกว่ามูลไก่ย่อมเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของดินเริ่มต้นและดินหลังการปลูกทดลอง

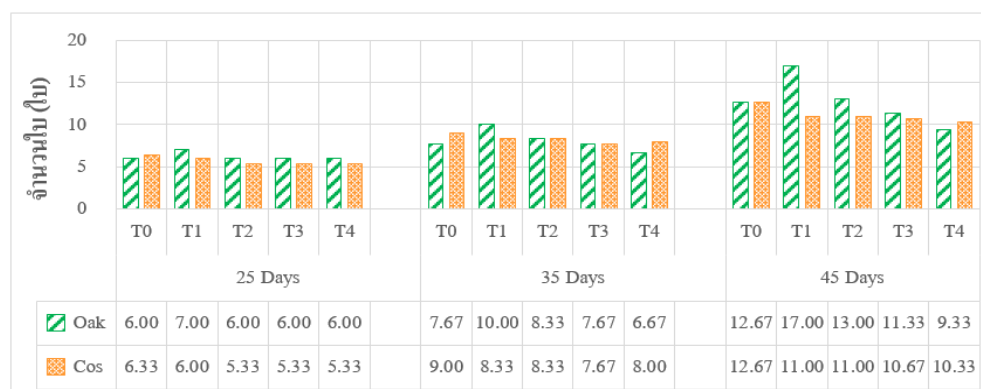
รายการวิเคราะห์		ดินเริ่มต้น การปลูก ทดลอง	ดินหลังการปลูกทดลอง				
			สัดส่วนของ โดโลไมต์ : มูลไก่				
			0 : 100 (T0)	10 : 90 (T1)	20 : 80 (T2)	30 : 70 (T3)	40 : 60 (T4)
ค่าความเป็นกรด-ด่าง ¹ pH		3.71 กรดรุนแรงมาก	6.31 กรดเล็กน้อย	6.37 กรดเล็กน้อย	6.35 กรดเล็กน้อย	6.31 กรดเล็กน้อย	6.32 กรดเล็กน้อย
เนื้อดิน ²	ทราย (Sand)	15%	31%	31%	32%	35%	37%
	ทรายแป้ง (Silt)	23%	26%	28%	27%	26%	26%
	ดินเหนียว (Clay)	62%	43%	41%	41%	39%	37%
	เนื้อดิน ² (Texture)	ดินเหนียว (Clay: C)	ดินเหนียว (Clay: C)	ดินเหนียว (Clay: C)	ดินเหนียว (Clay: C)	ดินร่วนปนเหนียว (Clay Loam: CL)	ดินร่วนปน เหนียว (Clay Loam: CL)
ปริมาณอินทรียวัตถุ ³ : OM (g/kg)		31 ปานกลาง	104 สูงมาก	108 สูงมาก	101 สูงมาก	96 สูงมาก	107 สูงมาก
ปริมาณฟอสฟอรัสที่ เป็นประโยชน์ต่อพืช ⁴ : avail. P (mg/kg)		108 สูงมาก	1154 สูงมาก	1204 สูงมาก	1096 สูงมาก	1092 สูงมาก	1036 สูงมาก
ปริมาณโพแทสเซียมที่ แลกเปลี่ยนได้ ⁵ : exch. K (mg/kg)		515 สูงมาก	1901 สูงมาก	1796 สูงมาก	1750 สูงมาก	1553 สูงมาก	1579 สูงมาก
ปริมาณแคลเซียมที่ แลกเปลี่ยนได้ ⁶ : exch. Ca (mg/kg)		1325 สูง	4031 สูง	3984 สูง	3816 สูง	3998 สูง	4418 สูง
ปริมาณแมกนีเซียมที่ แลกเปลี่ยนได้ ⁶ : exch. Mg (mg/kg)		598 สูง	1852 สูง	1832 สูง	1852 สูง	1837 สูง	2066 สูง
ปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมด ⁷ : Total N (g/kg)		1.9	3.37	3.92	3.49	2.67	3.84
ความจุแลกเปลี่ยนประจุ แคตไอออน ⁷ : CEC (cmol/kg)		33.6 สูง	39.3 สูง	37.5 สูง	37.9 สูง	37.6 สูง	35.9 สูง

วิธีทดสอบ: ¹Thomas (1996), ²Gee and Bauder (1979), ³Walkley and Black (1934), ⁴Bray and Kurtz (1945), ⁵Helmke and Sparks (1996), ⁶Suarez (1996), ⁷Micro Kjeldahl method

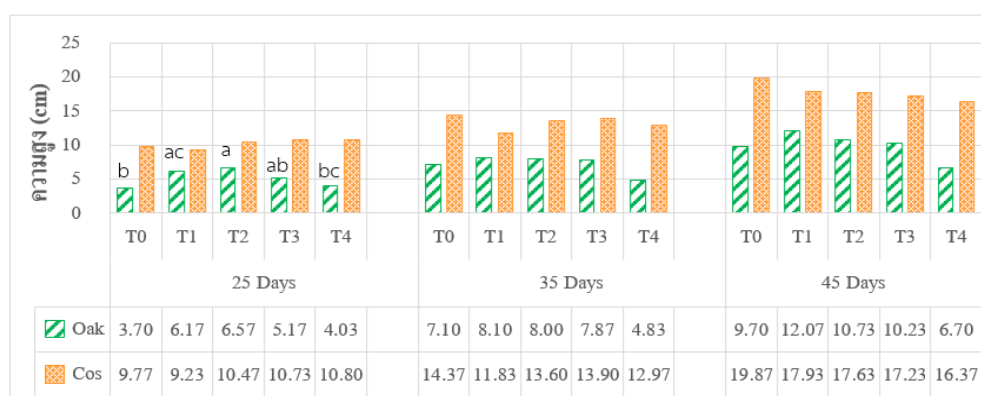
4.4 ผลประเมินข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์

งานวิจัยนี้ทำการประเมินต้นทุนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ ที่กำลังการผลิตประมาณ 500 กิโลกรัมต่อครั้ง [17] โดยจะผสมโคโลไมต์และมูลไก่ตามสัดส่วนที่ T0 – T4 จนได้น้ำหนักปุ๋ยรวม สัดส่วนละ 500 กิโลกรัม หลังจากนั้นใส่สารเชื่อม และทำการอัดเม็ดปุ๋ย แล้วฟั้่งเม็ดปุ๋ยตามกระบวนการผลิตในข้างต้น ซึ่งเมื่อได้เม็ดปุ๋ยแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก พบว่า เมื่อนำมาอัดเม็ด ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่มีน้ำหนักลดลงประมาณ 4-10% เหลือดังนี้ 454.3, 458.6, 462.8, 465.7 และ 480 กิโลกรัม ตามลำดับของสัดส่วนที่ T0 – T4 เมื่อสัดส่วนโคโลไมต์มากขึ้น น้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีแนวโน้มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดจากวัสดุเหลือใช้ ที่หลังจากอัดเม็ดปุ๋ยแล้วจะมีน้ำหนักปุ๋ยลดลง จากปุ๋ยหมัก 750 กิโลกรัม ได้เป็นปุ๋ยอัดเม็ด 500 กิโลกรัม [18] ซึ่งน้ำหนักที่หายไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

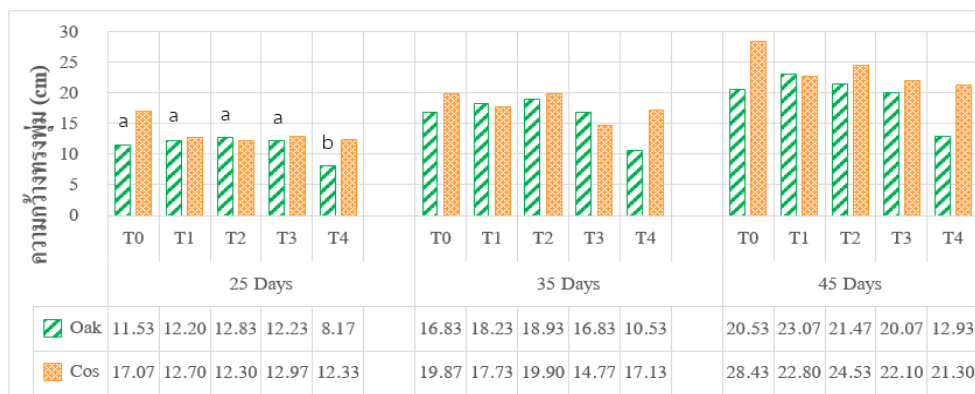
จากผลผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโคโลไมต์และมูลไก่ที่ได้ตามสัดส่วนต่างๆ นำมาประเมินต้นทุนการผลิต พบว่า มีต้นทุนผันแปรของสัดส่วนที่ T0 – T4 ตามลำดับ ดังนี้ 11.73, 10.75, 9.79, 8.87 และ 7.77 บาทต่อกิโลกรัม (คิดที่ราคามูลไก่ 8 บาทต่อกิโลกรัม) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัดส่วนที่มีโคโลไมต์เพิ่มขึ้น ต้นทุนผันแปรจะมีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้ต้นทุนผันแปรสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ขึ้นอยู่กับคุณภาพ ปริมาณ และราคามูลไก่ที่หาซื้อได้



ก) จำนวนใบ



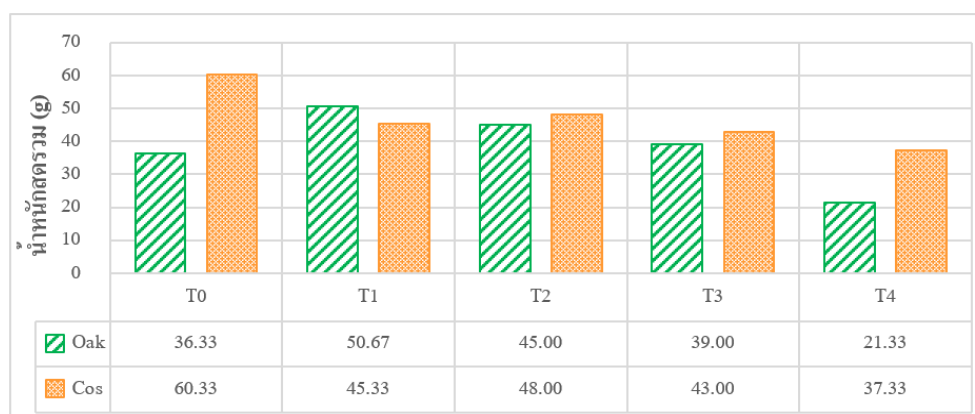
ข) ความสูงที่อยู่เหนือดิน



ค) ความกว้างทรงพุ่ม

รูปที่ 3 ผลการเจริญเติบโตที่ 25 วัน, 35 วัน และ 45 วัน ของกรีนโอ๊คและกรีนคอส

a, b, c หมายถึง มีความแตกต่างกันของสัดส่วนโดโลไมต์และมูลไก่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีของ DMRT



รูปที่ 4 ผลผลิตหลังเก็บเกี่ยวของการปลูกกรีนโอ๊คและกรีนคอส

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำโดโลไมต์จากดินตะกอนเหมืองหินซึ่งถือว่าเป็นวัสดุไม่ใช้แล้วจากการทำเหมืองหินมาใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม โดยนำมาผสมกับมูลไก่เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปรับปรุงดินปลูกให้มีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่ที่ทำการวิจัยมีทั้งหมด 7 สัดส่วน ได้แก่ 0:100 (T0), 10:90 (T1), 20:80 (T2), 30:70 (T3), 40:60 (T4), 50:50 (T5) และ 60:40 (T6) โดยในสัดส่วนที่ T0 – T4 มีคุณสมบัติทางเคมีทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมวิชาการเกษตร แต่สัดส่วนที่ T5 และ T6 นั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร จึงถือได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีสัดส่วนโดโลไมต์มากกว่ามูลไก่นั้นเป็นปุ๋ยไม่ได้คุณภาพ

สำหรับการปลูกพืชทดลองกับผักสลัดสองชนิด โดยใช้ดินปลูกเริ่มต้นที่มีความเป็นกรดรุนแรง มีค่า pH เพียง 3.71 และมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว แต่ผสมดินปลูกกับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่ที่สัดส่วน T0 – T4 แล้วคุณสมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูก ให้ผล pH อยู่ในช่วง 6.31 – 6.37 ถือว่าคุณสมบัติของดินดีขึ้นเพราะมีความเป็นกรดเล็กน้อย เนื้อดินหลังการปลูกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์หลงเหลืออยู่ในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะดินที่ผสมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่

สัดส่วน T3 และ T4 ซึ่งมีสัดส่วนโดโลไมต์ที่เพิ่มขึ้นนั้น เนื้อดินได้เริ่มมีปริมาณของอนุภาคนาตรายเพิ่มขึ้นประมาณ 5% ทั้งที่มีการลดปริมาณมูลไก่ลง ถือได้ว่าเป็นดินที่ดีขึ้นต่อการปลูกพืชเพราะปริมาณอนุภาคนาตรายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทำให้เนื้อดินมีลักษณะเป็นดินร่วนปนดินเหนียว เนื้อดินมีความโปร่งพรุน

ในขณะที่ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากโดโลไมต์และมูลไก่ที่สัดส่วนต่างๆ T1 – T3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ และสามารถให้ผลผลิตได้ใกล้เคียงกับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีมูลไก่อย่างเดียว (T0) แต่สัดส่วนที่ T4 ให้ผลผลิตเริ่มลดต่ำลงกว่าที่สัดส่วน T1-T3 จึงแสดงให้เห็นว่าการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีโดโลไมต์ต่อมูลไก่ที่สัดส่วน 40:60 นั้นไม่เหมาะสม

ต้นทุนผันแปรการผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดลดลงได้ตามปริมาณมูลไก่ที่ใช้ลดลง โดยคิดราคามูลไก่กิโลกรัมละ 8 บาท ไม่ได้คิดค่าโดโลไมต์เพราะเป็นวัสดุไม่ใช้แล้ว ดังนั้นสัดส่วนที่ T1 - T3 จึงมีต้นทุนผันแปรอยู่ที่กิโลกรัมละ 10.75, 9.79 และ 8.87 บาท ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในภาพรวมทั้งด้านเกณฑ์มาตรฐานกรมวิชาการเกษตร ผลผลิต สภาพของดินหลังการใช้ปลูกพืช และความประหยัดแล้ว สัดส่วนของโดโลไมต์ต่อมูลไก่ที่สัดส่วน 30:70 (T3) มีความเหมาะสมที่ผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใช้ได้ดีกับสภาพดินที่เป็นกรดและปลูกพืชประเภทสัสด์ ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไปอาจขยายผลโดยทดลองในพืชชนิดอื่นๆ และดินปลูกเริ่มต้นลักษณะอื่นๆ หรือท้องถิ่นอื่นๆ ของประเทศ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทาง Villa de farm คลองหก รังสิต-นครนายก จังหวัดปทุมธานี สำหรับสถานที่และโรงเรียนในการปลูกทดลอง พร้อมให้การช่วยเหลือ ดูแลแปลงปลูกทดลอง ตลอดจนการเก็บผลผลิต รวมทั้งศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำข้อมูลต่างๆ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิยะ ดวงพัตรา. *สารปรับปรุงดิน*, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553.
- [2] มยุรี ปาลวงส์. *แร่เพื่อการเกษตร*, 2550. เข้าถึงได้จาก <http://www1.dpim.go.th/dt/paper/000001283323057.pdf> [ค้นเมื่อ 5 มกราคม 2565]
- [3] รัชนิพร สุทธิภาศิลป์ และธัญวรรณ ศรีเดชกุล. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่*, 2552, 10(2), pp. 103-108. เข้าถึงได้จาก <http://cmruir.cmru.ac.th/handle/123456789/897> [ค้นเมื่อ 15 มกราคม 2565]
- [4] กรมวิชาการเกษตร. *คู่มือปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับนักวิชาการ)*, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2550.
- [5] อรพรรณ นัตถสิริรุ่ง. *ความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. เชียงใหม่: ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- [6] มงคล ต๊ะอูน, สมบูรณ์ ประภาพรณพงษ์, เข้าวัวหุนทอง และณัฐภูมิ สุดแก้ว. *คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดปั้นเม็ด*, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2552.
- [7] K. Cui, N. Duan and S. Jin. Innovative utilization of 2-(4-Butoxyphenyl) acetohydroxamic acid as collector for the selective separation of rhodochrosite from calcite and dolomite. *Separation and Purification Technology*, 2023, 320 (124236). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124236>

- [8] ห้างหุ้นส่วนจำกัด พี.โอ.เอส. ไมนิ่ง. ในรับรองผลการวิเคราะห์ รายละเอียดของแร่ โคโลไมต์ จาก SGS Thailand Limited., 21 ธันวาคม 2554. เข้าถึงได้จาก: <http://en.posmining.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539541127&Ntype=10> [ค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2566].
- [9] อนันต์ บุญดี. โคโลไมต์สารปรับสภาพดินเปรี้ยวใช้ในการเกษตรกรรมและนาเกลือ, 2538. เข้าถึงได้จาก <http://library.dmr.go.th/elib/cgi-bin/opacexe.exe?op=mmvw&db=Main&sid=&skin=u&usid=&mmid=11516&bid=1> [ค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2566].
- [10] เขาวลิตร์ ทองประดับ. โคโลไมต์ของจังหวัดเพชรบูรณ์ สำหรับใช้ในการเกษตรกรรม. เพชรบูรณ์: ฝ่ายทรัพยากรธรณี สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเพชรบูรณ์, 2542. เข้าถึงได้จาก <http://library.dmr.go.th/elib/cgi-bin/opacexe.exe?op=mmvw&db=Main&sid=undefined&skin=u&usid=undefined&mmid=11542&bid=2267> [ค้นเมื่อ 21 กุมภาพันธ์ 2565].
- [11] พระราชบัญญัติ (ฉบับที่) พ.ศ.2550. ราชกิจจานุเบกษา, 2551, 125 (1), pp.2. เข้าถึงได้จาก <https://dl.parliament.go.th/handle/20.500.13072/16884> [ค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2566]
- [12] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2557. ราชกิจจานุเบกษา, 2557, 131 (29 ง), pp.4. สืบค้นจาก <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/11/FEDOA11.pdf> [ค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2566]
- [13] มงคล ต๊ะอูน, สมบูรณ์ ประภาพรณพงษ์, เขาวัว หูทอง และฉะลุง สดแก้ว. คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดบั้งเม็ด, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2552
- [14] สติระ อุดมศรี และชนัญฐศรี อุ่นตระกูล. ลักษณะเนื้อดินบนของชุดดินต่างๆในประเทศไทย, 2540. เข้าถึงได้จาก http://oss101.1dd.go.th/osr_data&service/OSR_PDF/TB_SSK_Distribute/D_SSK412.pdf [ค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2565]
- [15] รัตนชาติ ชัยบุคคา และบุศรินทร์ แสงลาภ. คู่มือวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน, 2562. เข้าถึงได้จาก <http://e-library.1dd.go.th/library/flip/bib10134f/bib10134f.html> [ค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2565]
- [16] สุทธวรรณ วชิรณสร, อรประภา เทพศิลป์วิสุทธิ์, พัทธกรเพ็ญ ภูมิพันธ์ และสมชาย ชดกระการ. ผลของปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมีของดิน และการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสภาพดินกรด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2563, 28 (2), pp.343-355. DOI: 10.14456/tstj.2020.28
- [17] วิจารณ์ เครือแปง. (2553). ดินทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพอัดเม็ด: กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชน กลุ่มผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพอัดเม็ด ตำบลบ้านกว้าง อำเภอมืองพิษณุโลก. การค้นคว้าอิสระปริญญาโทบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553. เข้าถึงได้จาก <http://repository.cmu.ac.th/handle/6653943832/9781> [ค้นเมื่อ 6 พฤษภาคม 2566]
- [18] วาสนา มานิช, พรพิมล สมศรีสมาน และพงษ์นาค นาอวราพันธ์. การผลิตปุ๋ยหมัก และปุ๋ยอัดเม็ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, 2557. เข้าถึงได้จาก http://www.thai-explore.net/file_upload/submitter/file_doc/9a59cfce9e6d5c71e2ee3369cb6e6525.pdf [ค้นเมื่อ 6 พฤษภาคม 2566]