วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.3) September – December 2022

การใช้ไคโตซานและปุ๋ยเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์ ในขมิ้นชัน

Use of Chitosan and Fertilizers to Increase Growth, Yield and Curcuminoid Content in Turmeric (*Curcuma longa* L.)

อนัสรูล บากา, จักรกฤษณ์ พูนภักดี, ขวัญตา ขาวมี และ จำเป็น อ่อนทอง*

Anasrul Baka, Chakkrit Poonpakdee, Khwunta Khawmee and Jumpen Onthong*

สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

Received : 15 July 2021

Revised : 26 November 2021

Accepted : 23 December 2021

บทคัดย่อ

ไคโตซานและปุ๋ยเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้น จึงได้ศึกษาการใช้ไคโตซานและปุ๋ยเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน ผลการศึกษาพบว่า ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใช้ไคโตซานแบบคลุกดิน (0.1% w/w) และฉีดพ่นทางใบ (0.1% w/v) ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้มีการเจริญเติบโต น้ำหนักผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่ใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อปลูกในดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ แต่ควรใช้ในอัตรา 8 ตัน/ไร่ จึงทำให้ขมิ้นชันมีผลผลิตน้ำหนักแห้ง (30.9 กรัม) และสารเคอร์คูมินอยด์ (9.0%) สูงสุด นอกจากนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์และทำให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 8 ตัน/ไร่ ในการปลูกขมิ้นชันจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการผลิตขมิ้นให้มีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ไคโตซาน ; ปุ๋ย ; ขมิ้นชัน

Abstract

Chitosan and fertilizers are important factors affecting on plant growth and crop production. Therefore, the influence of turmeric cultivation in sandy loam soil with different fertilizers together with chitosan applications was assessed. The results showed that the turmeric cultivated in sandy loam soil with chitosan soil mixture (0.1 % w/w) and foliar spray application (0.1 % w/v) with chemical fertilizer stimulated better growth, yield and curcuminoid compared to turmeric grown in the soil with chemical fertilizers. While the addition of mixed organic fertilizers improved physicochemical properties and nutrient contents. From these results turmeric significantly promoted yield (30.9 g) and curcuminoid content (9.0 %) at the rate of 8 tons/rai. Hence, mixed organic fertilizers at the rate of 8 tons/rai can be used as nutrient sources to increase yield and curcuminoid content of turmeric.

Keywords : chitosan ; fertilizers ; turmeric

***Corresponding author. E-mail :** jumpen.o@psu.ac.th

บทนำ

ขมิ้นชัน (*Curcuma longa* L.) เป็นพืชสมุนไพรที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย มีแหล่งกำเนิดในประเทศแถบเอเชียใต้ โดยเฉพาะประเทศบังกลาเทศ อินเดีย และประเทศไทย (Ravindran *et al.*, 2007) สำหรับประเทศไทยมีการปลูกขมิ้นชันทุกภูมิภาค (Department of Agricultural Extension, 2020) ส่วนใหญ่ปลูกเป็นพืชร่วมยางพาราในระยะหลังมีการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากขมิ้นมากขึ้น ส่งผลให้มีการปลูกในลักษณะพืชเชิงเดี่ยวมากขึ้น (Rasmepaedya & Srisuwan, 2017) นอกจากการปลูกขมิ้นชันเพื่อเป็นพืชร่วมและปลูกในลักษณะพืชเชิงเดี่ยว ยังสามารถปลูกในภาชนะต่าง ๆ เช่น กระสอบและเข่ง เป็นต้น โดยใช้ดินผสมกับวัสดุอินทรีย์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น มูลวัว มูลแพะ กากตะกอนมูลไก่หรือขี้เถ้าไม้ยางพาราเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารและปรับปรุงสมบัติดินให้ดีขึ้น ขมิ้นชันสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนซุย มีการระบายน้ำดี และมีอินทรียวัตถุสูง (Department of Agriculture, 2019)

ในขณะเดียวกัน มีรายงานว่า ร้อยละ 62 ของดินในประเทศไทยมีอินทรียวัตถุต่ำ และร้อยละ 87 ดินในพื้นที่ภาคใต้มีระดับของแมกนีเซียมที่สกัดได้ในระดับต่ำ (Kangpisdan, 2011) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุและธาตุอาหารอื่น ๆ ในดิน โดยภาคใต้ของประเทศไทยนับเป็นพื้นที่ที่มีการเลี้ยงวัว ไก่ และแพะอย่างแพร่หลาย (Department of Livestock Development, 2019) มูลสัตว์ดังกล่าวมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชครบทุกธาตุ อีกทั้งมูลสัตว์แต่ละชนิดก็มีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน (Bureau of Animal Nutrition Development, 2010) นอกจากนั้น ภาคใต้ยังมีพื้นที่ปลูกยางพารา 13.69 ล้านไร่ (Rubber Research Institute, 2018) ผลพลอยได้จากการนำชิ้นส่วนไม้ยางพาราไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิง คือ ขี้เถ้าไม้ยางพารา ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมสูง (Angchuan *et al.*, 2015) สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารในการปลูกขมิ้นชันได้

ในขณะเดียวกันมีรายงานว่า การใช้ไคโตซานซึ่งเป็นสารสกัดที่ได้จากไคตินที่เป็นองค์ประกอบของสัตว์จำพวกกุ้ง หอย และปู เป็นต้น เป็นแนวทางหนึ่งในการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช (Boonlertnirun *et al.*, 2013) เนื่องจาก ไคโตซานประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคซามีน ซึ่งมีไนโตรเจนร้อยละ 6-9 เป็นองค์ประกอบต่อกันเป็นสายยาวขนาดต่าง ๆ (Yen & Mau, 2007) เมื่อไคโตซานเกิดการสลายตัวจึงช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน นอกจากนั้น ไคโตซานยังมีความสามารถในการจับกับแคตไอออนและแอนไอออน เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแล้วค่อย ๆ ปลดปล่อยสารเหล่านี้แก่พืช ทั้งนี้ เพราะไคโตซานเป็นไบโอโพลิเมอร์ที่มีประจุบวกและลบ จึงช่วยดูดซับทำให้ลดการชะละลายและช่วยให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Lueangthanawat *et al.*, 2017) มีรายงานว่าการใช้ไคโตซานแบบฉีดพ่นทางใบส่งผลให้ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใช้ (Sathiyabama *et al.*, 2016) สำหรับพืชชนิดอื่น ๆ พบว่า การฉีดพ่นไคโตซานส่งผลให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Lu *et al.*, 2002) ในขณะที่มีรายงานว่า การใช้ไคโตซานแบบคลุกดิน ส่งผลให้ต้นไลเซนทัส (lisianthus) มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Ohta *et al.*, 2001) การใช้ไคโตซานร่วมกับมูลวัว กากตะกอนมูลไก่ มูลแพะ และขี้เถ้าไม้ยางพาราในอัตราที่เหมาะสมจึงอาจเป็นแนวทางในการเพิ่มการเจริญเติบโต น้ำหนักผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน ดังนั้น จึงสนใจศึกษาการปลูกขมิ้นชันโดยร่วมกับ

การใช้ไคโตซานและปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์ เพื่อเป็นแนวทางในการปลูกขมิ้นชัน เพื่อให้มีการเจริญเติบโต น้ำหนักผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์ที่เพิ่มขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างดินและปุ๋ยอินทรีย์สำหรับปลูกขมิ้นชัน

นำดินร่วนทรายมาผึ่งแห้ง จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 1.0 เซนติเมตรสำหรับใช้ปลูกขมิ้นชัน สุ่มดินไปร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2.0 มิลลิเมตร สำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II method) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ โดย 1 M NH_4OAc pH 7.0 วัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) และร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 0.5 มิลลิเมตร สำหรับวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดิน (Department of Agriculture, 2008; Onthong & Poonpakdee, 2019) ในขณะที่วัสดุอินทรีย์ ได้แก่ มูลวัว มูลแพะ กากตะกอนมูลไก่ และขี้เถ้าไม้ยางพารา นำไปผึ่งให้แห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 0.5 มิลลิเมตร สำหรับวิเคราะห์ไนโตรเจน (Total N) ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) โพแทสเซียม (Total K_2O) แคลเซียม (Total Ca) แมกนีเซียม (Total Mg) กำมะถัน (Total S) เหล็ก (Total Fe) แมงกานีส (Total Mn) สังกะสี (Total Zn) และทองแดงทั้งหมด (Total Cu) (Department of Agriculture, 2008; Onthong & Poonpakdee, 2019)

การวางแผนการทดลองและสิ่งทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) มี 4 ซ้ำ และ 6 สิ่งทดลอง ได้แก่ 1) ดินร่วนทราย 2) ดินร่วนทราย + ไคโตซานแบบฉีดพ่นทางใบ (0.1 % w/v) 3) ดินร่วนทราย + ไคโตซานแบบคลุกเคล้าในดิน (0.1 % w/w) อัตรา 15 กรัม/เข่ง 4) ดินร่วนทราย + ไคโตซานแบบคลุกเคล้าในดิน (0.1 % w/w) + มูลวัว อัตรา 4 ตัน/ไร่ (268.64 กรัม/เข่ง) 5) ดินร่วนทราย + ปุ๋ยอินทรีย์ผสม (ได้จากการผสมมูลวัว 1,500 กรัม มูลแพะ 3,000 กรัม ตะกอนมูลไก่ 250 กรัม และขี้เถ้าไม้ยางพารา 200 กรัม) อัตรา 8 ตัน/ไร่ (537.28 กรัม/เข่ง) และ 6) ดินร่วนทราย + ปุ๋ยอินทรีย์ผสม อัตรา 16 ตัน/ไร่ (1,074.56 กรัม/เข่ง) โดยปลูกภายใต้สภาพแวดล้อมจริง

ในสิ่งทดลองที่ 1-4 ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (3 เดือนหลังปลูก) สูตร 15-15-15 (5 เดือนหลังปลูก) และ สูตร 13-13-21 (7 เดือนหลังปลูก) อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ (เทียบได้ 3.36 กรัม/เข่ง) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 5-6 แบ่งใส่ปุ๋ยอินทรีย์จำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ขณะคลุกเคล้ากับดินก่อนปลูก และใส่เมื่อขมิ้นชันอายุ 4, 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ส่วนไคโตซานแบบฉีดพ่นทางใบ (0.1 % w/v) ฉีดพ่นบริเวณใบขมิ้นชันครั้งละ 10 มิลลิลิตร/ต้น เมื่อขมิ้นชันอายุ 4, 5, 6 และ 7 เดือน ตามลำดับ

การปลูก การดูแลรักษา และการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตขมิ้นชัน

ผสมดินและปุ๋ยอินทรีย์ตามสิ่งทดลอง จากนั้นสุ่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2.0 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม ความจุความชื้นสนาม (Blake & Hartge, 1986) พีเอช (1:5 soil: water) สภาพนำไฟฟ้า (1:5 soil: water) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II method) โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ โดย 1 M NH_4OAc pH 7.0 วัดด้วยเครื่อง AAS และร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 0.5 มิลลิเมตร สำหรับวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลอง (Department of Agriculture, 2008; Onthong & Poonpakdee, 2019)

นำดินมาผสมกับไคโตซานและปุ๋ยอินทรีย์ตามที่ระบุในแต่ละสิ่งทดลอง คลุกเคล้าให้เข้ากัน บรรจุใส่เข่งพลาสติก คิดเป็นพื้นที่ 1017.36 ตารางเซนติเมตร (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร ความสูง 23 เซนติเมตร) ปลูกขมิ้นชันพันธุ์แดงสยาม โดยใช้ท่อนพันธุ์น้ำหนัก 8-10 กรัม จำนวน 1 แง่ง/เข่ง เมื่อขมิ้นชันอายุ 3 และ 6 เดือน บันทึกข้อมูลความสูงต้น (เซนติเมตร) โดยวัดจากระดับผิวดินจนถึงปลายใบส่วนที่สูงที่สุด เส้นรอบวงลำต้น (มิลลิเมตร) วัดสูงจากผิวดิน 10 เซนติเมตร และจำนวนใบ (ใบ/ต้น) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อขมิ้นชันอายุ 8 เดือน บันทึกน้ำหนักผลผลิต โดยชั่งน้ำหนักสดและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อใช้ชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นจึงนำไปบดเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารและสารเคอร์คูมินอยด์ในเหง้าขมิ้นชัน นอกจากนั้น เก็บตัวอย่างดินหลังการทดลองสำหรับวิเคราะห์พีเอช สภาพนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Department of Agriculture, 2008; Onthong & Poonpakdee, 2019) ความหนาแน่นรวมและความจุความชื้นสนาม (Blake & Hartge, 1986)

การวิเคราะห์ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในเหง้าขมิ้นชัน

วิเคราะห์ธาตุอาหารในเหง้าขมิ้นชัน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด นำไปย่อยด้วยกรดกำมะถัน (Kjeldhal method) แล้วจึงนำไปกลั่นและไทเทรต และนำตัวอย่างไปย่อยด้วยกรดผสมไนทริก-เพอร์คลอริก (3:1 v/v) เพื่อวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Yellow vanadomolybdophosphoric acid method) โพแทสเซียมทั้งหมด (Atomic emission spectro- photometry) แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมด (Atomic absorption spectrophotometry) (Department of Agriculture, 2008; Onthong & Poonpakdee, 2019) แล้วคำนวณเป็นปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารจากความเข้มข้นธาตุอาหารและผลผลิตน้ำหนักแห้งเหง้าขมิ้นชัน

การวิเคราะห์สารเคอร์คูมินอยด์ในเหง้าขมิ้นชัน

เตรียมตัวอย่างขมิ้นชันโดยหั่นเหง้าขมิ้นชันเป็นแผ่นบาง ๆ อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และบดให้ละเอียด ชั่งผงขมิ้นชัน 0.7500 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 มิลลิลิตร เติม Tetrahydrofuran ความเข้มข้นร้อยละ 95 (v/v) 25 มิลลิลิตร เขย่า 30 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยง 10 นาที (1,159 G-force) กรองด้วยกระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman ขนาดเบอร์ 5 เจือจางตัวอย่าง 1,000 เท่า นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐานเคอร์คูมิน (curcumin standard) ความเข้มข้น 0, 0.8, 1.6, 2.4, 3.2 และ 4.8 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แล้วคำนวนหาปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ โดยนำไปคูณด้วยค่าคงที่ 1.298 (Thai Herbal Pharmacopeia, 2018)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ P = 0.05

ผลการวิจัย

องค์ประกอบธาตุอาหารในมูลวัว มูลแพะ กากตะกอนมูลไก่ ขี้เถ้าไม้ยางพารา และวัสดุอินทรีย์ผสม

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ผสม พบว่า มีโพแทสเซียม (2.12 %) กำมะถัน (15.08 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) เหล็ก (4701.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) แมงกานีส (667.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) สังกะสี (164.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และทองแดงทั้งหมด (41.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในปริมาณสูง ในขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์จากมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ พบว่า กากตะกอนมูลไก่มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก และทองแดงทั้งหมดสูงกว่ามูลวัวและมูลแพะ แต่มีโพแทสเซียม แมงกานีส และสังกะสีทั้งหมดต่ำกว่า (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุอาหารของวัสดุอินทรีย์

Treatment	Total N (%)	Total P_2O_5 (%)	Total K_2O (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)	Total S (mg/kg)	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)
Cow manure	1.06 d	0.75 e	0.85 d	0.38 e	0.49 e	7.92 d	7234.3 b	657.5 b	130.3 bc	25.5 d
Goat manure	1.98 b	1.38 d	2.81 b	0.83 d	0.72 d	18.73 a	2918.8 d	673.9 ab	182.2 ab	46.4 c
Chicken manure	2.28 a	8.54 a	0.63 e	18.56 a	1.26 b	16.18 b	9780.0 a	605.3 c	85.7 c	61.7 a
Rubber wood ash	0.11 e	1.96 b	3.04 a	9.51 b	2.19 a	12.33 c	6088.7 b	715.2 a	245.0 a	53.1 b
Mixed organic fertilizers	1.65 c	1.58 c	2.12 c	1.94 c	0.74 c	15.08 b	4701.2 c	667.1 ab	164.2 b	41.1 c
F-Test	**	**	**	**	**	**	**	*	*	**
C.V. (%)	5.01	2.48	3.74	1.13	6.54	3.19	8.53	3.04	15.42	4.89

หมายเหตุ : *,** คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สมบัติดินก่อนการทดลอง

ดินที่ผสมมูลวัวมีความจุความชื้นสนาม อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงกว่าดินที่ไม่ใส่ปุ๋ย แต่มีความหนาแน่นรวมในดินมีแนวโน้มต่ำกว่า เมื่อผสมปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าดินมีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูง (16 ตัน/ไร่) ส่งผลให้ดินผสมมีอินทรียวัตถุ (6.2 กรัม/กิโลกรัม) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (25.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โพแทสเซียม (116.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) แคลเซียม (169.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก (45.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) สูงสุด เมื่อเทียบกับการใส่มูลวัวเพียงอย่างเดียวและไม่ใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินก่อนการทดลอง

Treatment	Bulk density (g/cm^3)	Field capacity (%)	pH[1] (1:5)	EC[1] (dS/m)	OM (g/kg)	Avail.P (mg/kg)	Extr.K (mg/kg)	Extr.Ca (mg/kg)	Extr.Mg (mg/kg)
Soil (S) + Chemical fertilizer (CF)	1.28	30.0 b	4.0 b	0.07 c	4.2 c	1.0 cd	11.3 c	13.2 d	3.8 d
S + Spray chitosan + CF	1.27	30.2 b	3.9 c	0.07 c	5.4 b	1.0 cd	12.0 c	18.3 d	4.8 d
S + Soil chitosan + CF	1.27	30.4 b	4.1 b	0.06 c	5.4 b	0.8 d	11.8 c	18.0 d	4.7 d
S + Soil chitosan + CF + Cow manure 4 tons/rai	1.26	31.3 ab	4.0 bc	0.07 c	5.4 b	3.0 c	24.2 c	38.5 c	10.8 c
S + Mixed organic fertilizers 8 tons/rai	1.25	32.3 ab	4.1 b	0.09 b	5.8 ab	15.1 b	82.8 b	115.4 b	29.5 b
S + Mixed organic fertilizers 16 tons/rai	1.23	33.5 a	4.2 a	0.11 a	6.2 a	25.0 a	116.4 a	169.4 a	45.3 a
F-Test	NS	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	1.67	3.76	1.10	6.91	4.12	10.75	18.93	9.07	13.25

หมายเหตุ : [1] = 1:5 (ดิน: น้ำ); NS คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ** คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.01 ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การเจริญเติบโตขมิ้นชัน

เมื่อครบกำหนดปลูก 3 เดือน พบว่า ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และที่ปลูกในดินที่มีการใช้ไคโตซานทั้งแบบฉีดพ่นทางใบและคลุกดิน มีความสูงต้น เส้นรอบวงลำต้น และจำนวนใบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 3) ในขณะที่ขมิ้นชันอายุ 6 เดือน พบว่า ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 1) โดยเฉพาะขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 8 ตัน/ไร่ มีความสูงต้น 74.2 เซนติเมตร และเส้นรอบวงลำต้น 20.6 มิลลิเมตร ซึ่งสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยชนิดอื่น ๆ เช่นเดียวกับขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใช้ไคโตซานแบบคลุกดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีและมูลวัว ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้ไคโตซานและปุ๋ยต่อความสูงต้น เส้นรอบวงลำต้น และจำนวนใบขมิ้นชันอายุ 3 และ 6 เดือน

Treatment	Three months after planting			Six months after planting		
	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf no. (leaves/pot)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf no. (leaves/pot)
Soil (S) + Chemical fertilizer (CF)	13.1 b	3.8 c	2.0	34.3 c	8.0 cd	7.2
S + Spray chitosan + CF	22.8 ab	5.0 bc	3.2	33.7 c	6.5 d	8.2
S + Soil chitosan + CF	25.5 a	5.8 abc	3.2	57.0 b	12.2 bc	9.5
S + Soil chitosan + CF + Cow manure 4 tons/rai	32.1 a	7.0 ab	4.6	66.9 ab	17.3 a	13.3
S + Mixed organic fertilizers 8 tons/rai	33.5 a	7.6 a	3.6	74.2 a	20.6 a	10.0
S + Mixed organic fertilizers 16 tons/rai	23.1 ab	5.4 abc	3.0	70.9 a	16.0 ab	8.5
F-Test	*	*	NS	**	**	NS
C.V. (%)	29.25	21.47	34.10	16.96	11.80	37.37

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *,** คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาพที่ 1 ผลของการใช้ไคโตซานและปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตขมิ้นชันอายุ 6 เดือน

หมายเหตุ : S=Soil and CF=Chemical fertilizer

น้ำหนักผลผลิตและปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในเหง้าขมิ้นชัน

ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใช้ไคโตซานทั้งแบบฉีดพ่นทางใบและแบบคลุกดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีน้ำหนักผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในดินที่ใส่เฉพาะปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 4) ในขณะที่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าขมิ้นชันมีน้ำหนักผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 8 ตัน/ไร่ มีผลผลิตน้ำหนักแห้ง 30.9 กรัม นอกจากนี้ยังพบว่า มีสารเคอร์คูมินอยด์ร้อยละ 9.0 ซึ่งมากที่สุดเมื่อ

เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยชนิดอื่น ๆ รองลงมา คือ ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 16 ตัน/ไร่ ในขณะที่ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใช้ไคโตซานแบบคลุกดินที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลวัว มีผลผลิตน้ำหนักแห้ง 17.3 กรัม และสารเคอร์คูมินอยด์ร้อยละ 8.1 ซึ่งเพิ่มขึ้นเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยชนิดอื่น ๆ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของการใช้ไคโตซานและปุ๋ยต่อน้ำหนักผลผลิตและปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันอายุ 8 เดือน

Treatment	Rhizome fresh weight (g)	Rhizome dry weight (g)	Curcuminoid (%)
Soil (S) + Chemical fertilizer (CF)	31.1 d	6.8 e	7.6 bc
S + Spray chitosan + CF	56.3 c	13.1 cd	7.2 c
S + Soil chitosan + CF	52.7 c	11.4 de	7.6 bc
S + Soil chitosan + CF + Cow manure 4 tons/rai	98.3 b	17.3 bc	8.1 abc
S + Mixed organic fertilizers 8 tons/rai	136.8 a	30.9 a	9.0 a
S + Mixed organic fertilizers 16 tons/rai	106.9 b	21.5 b	8.6 ab
F-Test	**	**	*
C.V. (%)	17.94	19.96	19.13

หมายเหตุ : *,** คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$ และ $P<0.01$ ตามลำดับ ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารในเหง้าขมิ้นชัน

ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใช้ไคโตซานทั้งแบบฉีดพ่นทางใบและแบบคลุกดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี มีความเข้มข้นธาตุอาหารส่วนใหญ่สูงกว่าขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใส่เฉพาะปุ๋ยเคมี ยกเว้นฟอสฟอรัสที่มีค่าต่ำ (ตารางที่ 3) เมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลให้ขมิ้นชันมีความเข้มข้นธาตุอาหารเพิ่มขึ้นชัดเจน โดยเฉพาะขมิ้นชันที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 8 และ 16 ตัน/ไร่ มีความเข้มข้นไนโตรเจน (19.00 และ 19.46 กรัม/กิโลกรัม) ฟอสฟอรัส (2.38 และ 2.37 กรัม/กิโลกรัม) โพแทสเซียม (42.70 และ 45.14 กรัม/กิโลกรัม) แคลเซียม (1.45 และ 1.46 กรัม/กิโลกรัม) และแมกนีเซียม (2.24 และ 2.28 กรัม/กิโลกรัม) สูงเมื่อเทียบกับการปลูกขมิ้นชันที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลวัวหรือปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 5 ผลของการใช้ไคโตซานและปุ๋ยต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในเห้าขมิ้นชัน

Treatment	Nutrient concentration (g/kg)				
	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg
Soil (S) + Chemical fertilizer (CF)	12.35 c	1.64 b	18.08 b	0.78 b	1.15 b
S + Spray chitosan + CF	15.35 b	1.51 b	21.13 b	0.83 b	1.19 b
S + Soil chitosan + CF	13.52 c	1.54 b	17.07 b	0.91 b	1.04 b
S + Soil chitosan + CF + Cow manure 4 tons/rai	15.46 b	1.45 b	21.03 b	0.91 b	1.28 b
S + Mixed organic fertilizers 8 tons/rai	19.00 a	2.38 a	42.70 a	1.45 a	2.24 a
S + Mixed organic fertilizers 16 tons/rai	19.46 a	2.37 a	45.14 a	1.46 a	2.28 a
F-Test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	3.68	10.78	11.95	14.34	11.87

หมายเหตุ : ** คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.01 ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อคำนวณการดูดใช้ธาตุอาหาร พบว่า ขมิ้นชันมีการดูดใช้ธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 8 ตัน/ไร่ ส่งผลให้มีการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยชนิดอื่น ๆ (ตารางที่ 4) เช่นเดียวกับขมิ้นชันที่ได้รับไคโตซานทั้งแบบฉีดพ่นทางใบและคลุกดินที่มีการดูดใช้ธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ส่วนขมิ้นชันที่ได้รับไคโตซานแบบคลุกดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีและมูลวัว พบว่า มีการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมสูงเมื่อเทียบกับขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใส่เฉพาะปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 6 ผลของการใช้ไคโตซานและปุ๋ยต่อการดูดใช้ธาตุอาหารในเห้าขมิ้นชัน

Treatment	Nutrient uptake (mg/pot)				
	N	P	K	Ca	Mg
Soil (S) + Chemical fertilizer (CF)	84.8 f	11.2 e	124.1 e	5.3 d	7.8 d
S + Spray chitosan + CF	202.1 d	19.8 cd	278.2 cd	10.9 cd	15.6 cd
S + Soil chitosan + CF	154.0 e	17.5 de	194.5 de	10.3 cd	11.8 d
S + Soil chitosan + CF + Cow manure 4 tons/rai	267.7 c	25.1 c	364.3 c	15.8 c	22.2 c
S + Mixed organic fertilizers 8 tons/rai	588.1 a	73.7 a	1321.9 a	44.6 a	69.1 a
S + Mixed organic fertilizers 16 tons/rai	420.0 b	51.1 b	974.5 b	31.5 b	49.2 b
F-Test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	4.35	7.18	10.26	14.79	12.73

หมายเหตุ : ** คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.01 ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สมบัติดินและปุ๋ยอินทรีย์ผสมหลังการทดลอง

ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารในดินหลังการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 8 และ 16 ตัน/ไร่ ดินมีอินทรียวัตถุ (7.4 และ 8.6 กรัม/กิโลกรัม) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (30.2 และ 22.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) แคลเซียม (400.7 และ 275.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินหลังปลูก (90.2 และ 70.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยให้ดินมีความหนาแน่นรวมลดลงและมีความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลวัวและปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 7 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินหลังการทดลอง

Treatment	Bulk density (g/cm^3)	Field capacity (%)	pH[1] (1:5)	EC[1] (dS/m)	OM (g/kg)	Avail.P (mg/kg)	Extr.K (mg/kg)	Extr.Ca (mg/kg)	Extr.Mg (mg/kg)
Soil (S) + Chemical fertilizer (CF)	1.27 ab	35.7 b	4.5 c	0.05 b	5.4 c	1.9 d	24.5 bc	29.5 c	5.6 c
S + Spray chitosan + CF	1.28 a	35.9 b	4.7 b	0.03 d	5.3 c	12.9 c	22.7 c	13.0 d	3.4 c
S + Soil chitosan + CF	1.26 ab	36.0 b	4.4 d	0.05 b	5.2 c	11.3 c	22.6 c	17.5 d	3.6 c
S + Soil chitosan + CF + Cow manure 4 tons/rai	1.24 ab	35.8 b	4.6 bc	0.04 c	5.3 c	19.2 bc	22.2 c	26.1 c	5.8 c
S + Mixed organic fertilizers 8 tons/rai	1.22 bc	36.5 b	5.4 a	0.07 a	7.4 b	30.3 a	32.2 b	400.7 a	90.2 a
S + Mixed organic fertilizers 16 tons/rai	1.23 abc	37.9 a	5.5 a	0.07 a	8.6 a	22.1 ab	54.9 a	272.1 b	70.5 b
F-Test	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	1.30	7.67	1.12	3.89	3.85	22.62	12.68	3.29	4.28

หมายเหตุ : [1] = 1:5 (ดิน: น้ำ); ** คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.01 ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

วิจารณ์ผลการวิจัย

การใช้ไคโตซานและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน

การใช้ไคโตซานทั้งแบบฉีดพ่นทางใบและคลุกดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี ส่งผลให้มีความสูงต้น เส้นรอบวงลำต้น และจำนวนใบเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่เฉพาะปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 3) เนื่องจากไคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (Yen & Mau, 2007) โดยไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Barker & Pilbeam, 2015; Osotsapa, 2015) และจากการสังเกตพบว่า ขมิ้นชันได้รับไคโตซานร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีใบมีลักษณะสีเขียวกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่เฉพาะปุ๋ยเคมี (ภาพที่ 1) จึงอาจส่งผลให้ขมิ้นชันมีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ดีกว่า เมื่อขมิ้นชันสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากขึ้นจึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานที่พบว่า การใช้ไคโตซานแบบฉีดพ่นทางใบส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบกระเจี๊ยบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใช้ (Mondal *et al.*, 2012) ในขณะเดียวกันมีรายงานว่าไคโตซานแบบคลุกดินช่วยลดการชะละลายและช่วยเพิ่มความสามารถในการจับกับไอออนต่าง ๆ ในดิน เช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช แล้วค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช มีรายงานว่า ไคโตซานสามารถถูกดูดซึมผ่านรากต้นข้าวได้ (Brian *et al.*, 2004) ทำให้การใช้ปุ๋ย

มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Lueangthanawat *et al.*, 2017) จึงส่งผลให้ขมิ้นชันที่มีการใช้ไคโตซานมีการเจริญเติบโตดีกว่าไม่ใช้ (ตารางที่ 3)

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ดินมีความหนาแน่นลดลงและมีความจุความชื้นสนามเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) ซึ่งอาจส่งผลต่อการงอกของแง่งขมิ้นชันทำให้ขมิ้นชันที่มีการปุ๋ยดังกล่าวมีการงอกที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบไม่ใส่ นอกจากนั้น ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชครบทุกธาตุ (ตารางที่ 1) โดยเฉพาะจุลธาตุที่ช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสงและโปรตีน (Halder *et al.*, 2007) โดยขมิ้นชันต้องการธาตุอาหารครบทุกธาตุเพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต การขาดธาตุใดธาตุหนึ่งจึงอาจส่งผลให้การเจริญเติบโตหรือผลผลิตลดลง (Chitdeshwari, 2019) เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งมีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ จึงทำให้ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 8 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ขมิ้นชันมีความสูงต้นและเส้นรอบวงลำต้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลวัวหรือใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เนื่องจาก การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับปรุงสมบัติดิน ทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมลดลง (ตารางที่ 7) อาจส่งเสริมให้รากมีการเจริญเติบโตดีขึ้น ทำให้ขมิ้นชันมีการดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ มากขึ้น (ตารางที่ 6) ส่งผลให้มีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับรายงานที่พบว่า เมื่อขมิ้นชันมีการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่มากขึ้น ทำให้มีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น (Singh *et al.*, 1995)

ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร แม้จะทำให้ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้หลังการทดลองเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 7) แต่ก็ยังต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองให้เพียงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งต่างจากปุ๋ยอินทรีย์ที่ให้อาหารหลัก รอง และจุลธาตุ (ตารางที่ 1) นอกจากนั้น ปุ๋ยเคมีไม่ได้ช่วยให้ความหนาแน่นรวมในดินหลังปลูกลดลง (ตารางที่ 7) ดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงจึงอาจเป็นอุปสรรคในการชอนไชของรากและการสร้างหัวขมิ้นชัน การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวจึงไม่เหมาะสม

<u>การใช้ไคโตซานและปุ๋ยอินทรีย์ต่อผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน</u>

การใช้ไคโตซานแบบคลุกดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีและมูลวัว อัตรา 4 ตัน/ไร่ เป็นแหล่งธาตุอาหารทำให้ดินมีความหนาแน่นลดลงและมีความจุความชื้นสนามเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 7) ดินที่มีลักษณะโปร่งอาจทำให้รากพืชสามารถชอนไชหาอาหารได้ดีขึ้น ทำให้มีความเข้มข้นธาตุอาหารเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5) และเมื่อคำนวนการดูดใช้ธาตุอาหารจากความเข้มข้นธาตุอาหารและผลผลิตน้ำหนักแห้ง ก็พบว่า ขมิ้นชันมีการดูดใช้ธาตุอาหารเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 6) ส่งผลให้ขมิ้นชันมีน้ำหนักผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไคโตซานร่วมกับปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับการรายงานที่พบว่า มูลวัวช่วยส่งเสริมสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีในดิน (Vanek *et al.*, 2003) จากการทดลองนี้ ขมิ้นชันที่ปลูกในดินที่มีการใช้ไคโตซานแบบคลุกดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีและมูลวัว ซึ่งได้รับธาตุอาหารทั้งจากใส่ปุ๋ยเคมีและมูลวัว จึงทำให้มีปริมานอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงกว่า (ตารางที่ 7) โดยเฉพาะมูลวัวซึ่งมีธาตุอาหารหลัก รอง และจุลธาตุ (ตารางที่ 1) อาจเป็นปัจจัยที่สำคัญให้ขมิ้นชันมีสามารถในการดูดใช้ธาตุธาตุอาหารได้ดี ส่งผลให้ขมิ้นชันมีการสร้างหัวและมีผลผลิตที่ดี (ตารางที่ 4)

นอกจากนั้น จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ทุกชนิดมีเหล็กและสังกะสีเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 1) ซึ่งเหล็กและสังกะสีช่วยส่งเสริมให้การดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในขมิ้นชันเพิ่มขึ้น (Kumar *et al.*, 2004) สอดคล้องกับรายงานที่พบว่า การดูดใช้ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ขมิ้นชันมีน้ำหนักผลผลิตที่เพิ่มขึ้น (Srinivasan *et al.*, 2016) เมื่อมีการดูดใช้ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะโพแทสเซียมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหัวและสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันโดยตรง (Akamine *et al.*, 2007) จึงทำให้ขมิ้นชันมีน้ำหนักผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับ Kandasamy และคณะ (2012) ที่รายงานว่า โพแทสเซียมมีส่วนช่วยเพิ่มน้ำหนักผลผลิตปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน นอกจากนี้ มีรายงานว่า โบรอนและสังกะสีที่เพียงพอ อาจมีส่วนช่วยในการสะสมสารเคอร์คูมินในเหง้าขมิ้นชัน (Anuradha *et al.*, 2018; Hnamte *et al.*, 2018) การปลูกขมิ้นชันร่วมกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงเหมาะสม

แนวทางในการใช้ไคโตซานและปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพขมิ้นชัน

ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่ (49.38 %) มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำ (Land Development Department, 2015) จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินที่มีการใส่ปุ๋ยตามอัตราแนะนำของกรมวิชาการเกษตร พบว่า ดินยังคงมีธาตุอาหารต่ำและไม่เพียงพอต่อความต้องการของขมิ้นชัน การปลูกขมิ้นชันจึงต้องใส่ปุ๋ยให้เพียงพอ ส่งผลให้เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ การใช้ไคโตซานเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการใช้ปุ๋ยเคมี (Suvannasara *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2016) เนื่องจาก ไคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 6-9 (Yen & Mau, 2007) นอกจากนั้นไคโตซานยังช่วยดูดซับแคตไอออนและแอนไอออนทำให้ช่วยลดการชะละลายและช่วยให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Lueangthanawat *et al.*, 2017) จึงสามารถใช้ไคโตซานเป็นแหล่งธาตุอาหารในการผลิตขมิ้นชันได้ นอกจากนั้น มีรายงานว่าดินในประเทศไทยส่วนใหญ่ (62.33 %) มีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ (Land Development Department, 2015) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน

การปลูกขมิ้นชันในดินที่มีการใช้ไคโตซานทั้งแบบคลุกดินและฉีดพ่นทางใบร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี ส่งผลให้มีผลผลิตน้ำหนักแห้งและสารเคอร์คูมินอยด์สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4) ขมิ้นชันมีน้ำหนักผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นเมื่อปลูกในดินที่มีการใช้ไคโตซานแบบคลุกดินร่วมกับปุ๋ยเคมีและมูลวัว อัตรา 4 ตัน/ไร่ ในขณะที่การปลูกขมิ้นชันในดินที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลให้ดินหลังการทดลองมีความหนาแน่นรวมลดลง และมีความจุความชื้นสนามสภาพนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ Vanek และคณะ (2003) ที่พบว่า มูลวัวช่วยส่งเสริมสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ในดิน ทำให้ขมิ้นชันมีความเข้มข้น (ตารางที่ 5) และการดูดใช้ธาตุอาหารมากขึ้น (ตารางที่ 6) ส่งผลให้ขมิ้นชันมีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 4) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 8 ตัน/ไร่ เพียงพอที่ส่งผลให้ขมิ้นชันมีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 16 ตัน/ไร่ ซึ่งอาจเป็นอัตราที่มากเกินความต้องการจนเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตผลผลิต และคุณภาพ จึงส่งผลให้ขมิ้นชันมีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์ลดลง

สรุปผลการวิจัย

การใช้ไคโตซานแบบคลุกดิน (0.1 % w/w) และฉีดพ่นทางใบ (0.1 % w/v) ช่วยให้การใช้ปุ๋ยเคมีดีขึ้น จึงทำให้ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโต น้ำหนักผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโต น้ำหนักผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใช้ไคโตซานร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งมีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมลดลง มีความจุความชื้นสนามสภาพนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ทำให้มีความเข้มข้นธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการดูดใช้ธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโต น้ำหนักผลผลิต และสารเคอร์คูมินอยด์สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวซึ่งไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกขมิ้นชันควรใช้ในอัตรา 8 ตัน/ไร่ จึงทำให้ขมิ้นชันมีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์สูงสุด ดังนั้น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งธาตุอาหารในการปลูกขมิ้นชันจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการผลิตขมิ้นให้มีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น และควรศึกษาการตอบสนองของขมิ้นต่อปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นเพื่อหาอัตราที่เหมาะสมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนจากคณาจารย์สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตา ขาวมี และ ดร.จักรกฤษณ์ พูนภักดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

Akamine, H., Hossain, A., Ishimine, Y., Yogi, K., Hokama, K., Iraha, Y. and Aniya, Y. (2007). Effects of application of N, P and K alone or in combination on growth, yield and curcumin content of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Plant production science 10*, 151-154.

Angchuan, N., Sasanarakkit, S., Verasan, J. and Kumlung, A. (2015). Effects of Para Rubber Ash Application on Growth and Yield of Rice Grown in Acidic Soils. *Journal of Science and Technology 4*, 39-50. (in Thai)

Anuradha, U. B., Patil, S. S., Kurubar, A. R., Ramesh, G. and Hiregoudar, S. (2018). Effect of integrated nutrient management on growth and yield of turmeric (*Curcuma longa* L.) cv. Salem. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7*, 3196-3203.

Barker, A. V. and Pilbeam, D. J. (2015). *Handbook of plant nutrition*. New York: Taylor and francis group.

Blake, G. R. and Hartge, K. H. (1986). Bulk density. Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods. *American Society of Agronomy-Soil Science Society of America Madison 5*, 363-375.

Boonlertnirun, S., Suvannasara, R. and Boonlertnirun, K. (2013). Effects of chitosan application before being subjected to drought on physiological changes and yield potential of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Applied Sciences Research 9*, 6140-6145. (in Thai)

Brian, B., David D. and Robert E. (2004). ion exchange for the removal of natural organic matter. *Reactive and Functional Polymers 60,* 171-182.

Bureau of Animal Nutrition Development. (2010). *Utilization of animal manure and wastewater from animal farms.* Retrieved September 11, 2020, from http://nutrition.dld.go.th/nutrition/images/knowledge/waste1.pdf (in Thai)

Chen, Y., Yuan, S., Liu, H., Chen, Z., Zhang, Y. and Zhang, H. (2016). A combination of chitosan and chemical fertilizers improves growth and disease resistance in Begonian × hiemalis Fotsch. *Journal of Environment and Biotechnology 57*, 1-10.

Chitdeshwari, T. (2019). Response of turmeric (*Curcuma longa* L.) to micronutrient fertilizer mixtures applied at various levels and methods on the growth, yield and quality of rhizomes. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 8*, 2361-2365.

Department of Agricultural Extension. (2020). *Planting and caring for turmeric.* Retrieved January 15, 2020, from http://www. agriman. doae. go.th/ herbal/herbdoae006/khamin%20 chan.pdf (in Thai)

Department of Agriculture. (2008). *Organic Fertilizer Analytical Method.* Retrieved May 14, 2021, from http:// http://www.lib.doa.go.th/ multim/e-book/EB00061.pdf (in Thai)

Department of Agriculture. (2019). *Turmeric Crop Cultivation.* Retrieved January 15, 2020, from http://www. agriman.doae.go.th/herbal/ herbdoae006/khamin%20chan.pdf (in Thai)

Department of Livestock Development. (2019). *Situation of production and marketing of livestock products in Region 9 in 2008-2014.* Retrieved July 30, 2020, from http:/www. extension. dld.go.th/th1/images /stories/article/Livestock World Markets2555. pdf (in Thai)

Halder, N. K., Shil, N. C., Siddiky, M. A., Sarker, J. and Gomes, R. (2007). Response of turmeric to zinc and boron fertilization. *Journal of Biological Sciences 7*, 182-187.

Hnamte, V., Chatterjee, R. and Patra, P. K. (2018). Influence of boron and zinc nutrition on growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.) in gangetic alluvial soil of West Bengal. *Journal of Crop and Weed 14*, 72-77.

Kandasamy, K. P., Ravichandran, M., Imas, P. and Assaraf, M. (2012). Application of potassium and magnesium on turmeric (*Curcuma longa*) to increase productivity in Inceptisols. *Archives of Agronomy and Soil Science 58*, 147-150.

Kangpisdan, N. (2011). *Rubber Fertilizer Recommendation in 2011.* Bangkok: Rubber Research Institute Department of Agriculture. (in Thai)

Kumar, K. R., Rao, N. S. and Kumar, R. N. (2016). Effect of organic and inorganic nutrient sources on growth, quality and yield of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Green Farming 7*, 889-892.

Land Development Department. (2015). *State of Soil and Land Resources of Thailand.* Bangkok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand. (in Thai)

Lu, J., Zhang, C., Hou, G., Zhang, J., Wan, C., Shen, G. and Hou, T. (2002). The biological effects of chitosan on rice growth. *Acta Agriculture Shanghai 18*, 31-44.

Lueangthanawat, S., Amkha, S., Mala., T. and Teeranitayatarn, K. (2017). The utilization of chitosan on growth and flower quality of marigold. *Khon Kaen Agriculture Journal 45*, 411-418. (in Thai)

Mondal, M. M. A., Malek, M. A., Puteh, A. B., Ismail, M. R., Ashrafuzzaman, M. and Naher, L. (2012). Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra. *Australian Journal of Crop Science 6*, 918-921.

Ohta, K., Asao, T. and Hosoki, T. (2001). Effects of chitosan treatments on seedling growth, chitinase activity and flower quality in *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 76*, 612-614.

Onthong, J. and Poonpakdee, C. (2019). *Plant and Soil Analysis.* Songkhla: Department of Earth Science Faculty of Natural Resources Prince of Songkla University. (in Thai)

Osotsapar, Y. (2015). *Plant nutrients*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Rasmepaedya, N. and Srisuwan, S. (2017). Para Rubber Intercropping of Farmers Phunphin District, Surat Thani Province. *King Mongkut's Agricultural Journal 35*, 117-124. (in Thai)

Ravindran, P., Nirmal Babu K. and Sivaraman., K. (2007). *Turmeric The Genus Curcuma*. New York: CRC Press Taylor and Francis Group.

Rubber Research Institute. (2018). *Rubber Production in 2018*. Retrieved March 31, 2021, from Available: http://www.thainr.com/ uploadfile/ 201810 11143717.pdf (in Thai)

Sathiyabama, M., Bernstein, N. and Anusuya, S. (2016). Chitosan elicitation for increased curcumin production and stimulation of defense response in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Industrial Crops and Products 89*, 87-94.

Singh, B. P., & Mishra, H. (1995). Economics of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on turmeric in Andaman. *Spice India, 8,* 12-13.

Srinivasan, V., Thank Amani, C. K., Dinesh, R., Kandiannan, K., Zachariah, T. J., Lela, N. K. and Anshe, O. (2016). Nutrient management systems in turmeric: Effects on soil quality, rhizome yield and quality. *Industrial crops and Products 85*, 241-250.

Suvannasara, S., Promsomboon, P. and Boonlertnirun, K. (2011). Application of chitosan for reducing chemical fertilizer uses in waxy corn growing. *Thai Journal of Agricultural Science 44*, 22-28.

Thai Herbal Pharmacopoeia. (2018). *Thai Herbal Pharmacopoeia in 2018.* Bangkok: Prachachon. (in Thai)

Vanek, V., J. Silha and Nemecek, R. (2003). The level of soil nitrate content at different management of organic fertilizers application. *Plant, Soil and Environment 49*, 197-202.

Yen, M. T. and Mau, J. L. (2007). Selected physical properties of chitin prepared from shiitake stipes. *LWT-Food Science and Technology 40*, 558-563.