

ผลของการใช้ซีโอโลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง

ทิพวรรณ แก้วหนู^{1*}, ณัฐพงศ์ ศรีสมบัติ¹, ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา¹, เนติธร กรูณา² และ ธนพันธ์ พงษ์ไทย³

¹กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²กลุ่มบริหารโครงการวิจัย กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชสุราษฎร์ธานี กรมวิชาการเกษตร จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84170

*kaewnoo33@gmail.com

บทคัดย่อ

การจัดการปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดต้นทุนให้แก่เกษตรกร และส่งเสริมการผลิตมะพร้าวอย่างยั่งยืน โดยการใช้ซีโอโลต์ ซึ่งเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง (Cation Exchange Capacity) และความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารมาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการใช้ซีโอโลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่อายุ 30 ปี ดำเนินการทดลอง ณ แปลงเกษตรกรตำบลบางมะพร้าว อำเภอลำสนธิ จังหวัดชุมพร วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 7 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย 1) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี 2) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี + ซีโอโลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี 3) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี + ซีโอโลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี 4) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 900-375-750 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี + ซีโอโลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี 5) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 900-375-750 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี + ซีโอโลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี 6) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 600-250-500 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี + ซีโอโลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี และ 7) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 600-250-500 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี + ซีโอโลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (1,200-500-1,000 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี) ร่วมกับซีโอโลต์ อัตรา 600 กรัมต่อต้นต่อปี ส่งผลให้จำนวนผลผลิตมะพร้าวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 2,183 ผลต่อไร่ต่อปี ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำร่วมกับซีโอโลต์ 300-600 กรัมต่อต้นต่อปี มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: ซีโอโลต์ มะพร้าว ปุ๋ยเคมี การจัดการปุ๋ย

Effects of Zeolite and Chemical Fertilizer Integration on Thai Tall Coconut Productivity

Tipawan Kaewnoo^{1*}, Nuttapong Srisombat¹, Piyanun Wiwatwittaya¹, Netitorn Karuna² and Tanapan Pongthai³

¹Soil Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, 10900

²Research Project Management Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, 10900

³Surat Thani Seed Research and Development Center, Department of Agriculture, Surat Thani Province, 84170

*kaewnoo33@gmail.com

Abstract

Efficient fertilizer management is essential for reducing production costs and enhancing the sustainability of coconut production. Zeolite, a natural aluminosilicate mineral characterized by its high cation exchange capacity (CEC) and nutrient retention ability, has been widely recognized as a promising soil amendment for improving fertilizer use efficiency. This study aimed to evaluate the effects of zeolite combined with chemical fertilizers on the yield and yield components of 30-year-old Thai Tall coconut (*Cocos nucifera* L.). The experiment was conducted in a farmer's field in Bang Maphrao Subdistrict, Lang Suan District, Chumphon Province, Thailand. A randomized complete block (RCB) design with seven treatments and three replications was employed, with six plants per experimental unit. The treatments consisted of: (1) the recommended fertilizer rate of 1,200–500–1,000 g N–P₂O₅–K₂O plant⁻¹ y⁻¹; (2) the recommended fertilizer rate plus 300 g zeolite plant⁻¹ y⁻¹; (3) the recommended fertilizer rate plus 600 g zeolite plant⁻¹ y⁻¹; (4) 900–375–750 g N–P₂O₅–K₂O plant⁻¹ y⁻¹ plus 300 g zeolite; (5) 900–375–750 g N–P₂O₅–K₂O plant⁻¹ y⁻¹ plus 600 g zeolite; (6) 600–250–500 g N–P₂O₅–K₂O plant⁻¹ y⁻¹ plus 300 g zeolite; and (7) 600–250–500 g N–P₂O₅–K₂O plant⁻¹ y⁻¹ plus 600 g zeolite. The results demonstrated that the application of the recommended fertilizer rate in combination with 600 g zeolite plant⁻¹ y⁻¹ significantly produced the highest coconut yield, reaching 2,183 fruits plant⁻¹ y⁻¹. Moreover, the application of the recommended fertilizer rate together with 300–600 g zeolite plant⁻¹ y⁻¹ consistently showed a trend toward higher yields than the application of chemical fertilizer alone. These findings indicate that integrating zeolite with chemical fertilizers can improve coconut productivity and may enhance fertilizer use efficiency, thereby contributing to more sustainable coconut production.

Keywords: Zeolite, Coconut, Chemical Fertilizer, Fertilizer Management

1. บทนำ

มะพร้าว (*Cocos nucifera* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตมะพร้าวที่สำคัญของประเทศ โดยในปี 2567 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะพร้าวทั้งสิ้น 857,963 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 597 ล้านผล ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 731 ผลต่อไร่ Office of Agricultural Economics [1] ผลผลิตมะพร้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในรูปของผลสด น้ำมันมะพร้าว เนื้อมะพร้าว กะทิน้ำมันมะพร้าว และผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง นอกจากนี้ มะพร้าวยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ส่งผลให้มะพร้าวเป็นพืชที่มีบทบาทต่อเศรษฐกิจและการส่งออกของประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง

มะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีอายุการให้ผลผลิตยาวนาน สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และให้ผลผลิตที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการผลิตมะพร้าวของประเทศไทยประสบปัญหาหลายด้าน เช่น ความเสื่อมโทรมของดิน การขาดธาตุอาหารพืช การจัดการปุ๋ยที่ไม่มีประสิทธิภาพ ตลอดจนต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตมะพร้าวต่อไร่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับศักยภาพการผลิตที่แท้จริงของพืช

ธาตุอาหารพืชจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การออกดอก การติดผล และคุณภาพผลผลิตของมะพร้าว โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก การใช้ปุ๋ยเคมีจึงเป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตและลดความเสี่ยงการสูญเสียธาตุอาหารในดิน แต่การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องและในปริมาณสูงอาจก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น การสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง การระเหยของไนโตรเจน การตรึงฟอสฟอรัสในดิน รวมถึงการสะสมของเกลือในดิน ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยลดลงและเพิ่มต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ การสูญเสียธาตุอาหารจากดินยังอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการปนเปื้อนของไนเตรตและฟอสเฟตในแหล่งน้ำธรรมชาติ Margeta et al. [2] มะพร้าวสามารถปลูกได้ทั้งที่ดอนและที่ลุ่ม ในดินเกือบทุกชนิดโดยเฉพาะดินร่วน มีการระบายน้ำ และถ่ายเทอากาศดี หนาดินลึกไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นดินกรดจัดถึงด่างเล็กน้อย (pH 5.5-7.5) ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เหมาะสมควรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 1.5-2.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 15-45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Department of Agriculture [3]

ในปัจจุบัน มีการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้วัสดุปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและลดการสูญเสียธาตุอาหารหนึ่งในวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างมากคือ ซีโอไลท์ เป็นแร่ซิลิเกตในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์ อะลูมิเนียมซิลิเกต (hydrous aluminosilicate) โดยสมบัติทางกายภาพของแร่ซีโอไลท์ที่ได้จากแหล่งธรรมชาติทั่ว ๆ ไป มีสีขาว เหลือง ชมพูหรือแดง มีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 2.0-2.3 กรัมต่อคิวบิกเซนติเมตร มีพื้นที่ผิวสูง ระหว่าง 780-880 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาณช่องว่างทั้งหมดระหว่างร้อยละ 18-50 โดยมีขนาดช่องว่างในโครงสร้างเล็กมาก ระหว่าง 2-10 แองสตรอม (0.002-0.01 มิลลิเมตร) ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) สูง ระหว่าง 100-300 มิลลิสมมูลต่อ 100 กรัม มีความจุในการดูดก๊าซแอมโมเนีย ประมาณ 7 มิลลิโมลต่อกรัม ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงได้นำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยการใช้ผสมปุ๋ยเคมีเพื่อให้ซีโอไลท์ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับธาตุอาหารในรูปประจุบวกที่มีในปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ($\text{NH}_4\text{-N}$) ทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชในปุ๋ยเคมีและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีให้สูงขึ้น และลดการสูญเสียปุ๋ยจากกระบวนการต่าง ๆ ในดิน เช่น การสูญเสียโดยการชะละลายโดยน้ำ (leaching) การสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซ โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ของไนโตรเจนในดิน Piya Duangpatra [4] ซีโอไลท์จึงสามารถดูดซับธาตุอาหารที่อยู่ในรูปประจุบวก เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2]

คุณสมบัติเด่นของซีโอไลต์ในการเกษตรคือความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารไว้ในโครงสร้างของแร่ และค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาให้พืชใช้ตามความต้องการ ส่งผลให้การสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้างและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน เช่น เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ เพิ่มความพรุนของดิน และช่วยรักษาสสมดุลของธาตุอาหารในดิน Suwardi et al. [5] การใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน รวมทั้งช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ดีกว่า การใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว Kavvadias et al. [6] นอกจากนี้ การพัฒนาปุ๋ยละลายช้าร่วมกับซีโอไลต์ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยธาตุอาหารและลดการสูญเสียธาตุอาหารในดินได้อย่างมีนัยสำคัญ Permana et al. [7]

จากรายงานการศึกษาหลายฉบับ พบว่า การใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ลดการสูญเสียไนโตรเจนในดิน และช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด ทั้งพืชไร่ พืชผัก และไม้ผล โดยซีโอไลต์ทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บธาตุอาหารและช่วยให้ธาตุอาหารถูกปลดปล่อยอย่างช้า ๆ (slow release) ส่งผลให้พืชสามารถใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีโดยไม่ทำให้ผลผลิตลดลง ซึ่งเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการเกษตรแบบยั่งยืนและการลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร

สำหรับการปลูกมะพร้าว นั้น ความต้องการธาตุโพแทสเซียมและไนโตรเจนมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสร้างผลผลิตและคุณภาพผลมะพร้าว โดยเฉพาะในพื้นที่ดินทรายหรือดินที่มีความสามารถในการยึดจับธาตุอาหารต่ำ มักเกิดปัญหาการสูญเสียธาตุอาหารอย่างรวดเร็วหลังการใส่ปุ๋ย ส่งผลให้พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้น การใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีจึงอาจเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ลดการสูญเสียปุ๋ย และส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นมะพร้าว

แม้ว่าจะมีการศึกษาการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในพืชหลายชนิดแล้วก็ตาม แต่ข้อมูลเกี่ยวกับผลของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในด้านอัตราการใช้ที่เหมาะสมและผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของพืช ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาผลของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาระบบการจัดการธาตุอาหารที่มีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนการผลิต เพิ่มผลผลิต และส่งเสริมการผลิตมะพร้าวอย่างยั่งยืนในอนาคต ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร นักวิชาการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการกำหนดแนวทางการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอย่างเหมาะสม ตลอดจนเป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตมะพร้าวที่สอดคล้องกับหลักการอนุรักษ์ทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม อันจะนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของอุตสาหกรรมมะพร้าวไทยในระยะยาว

2. วิธีวิจัย

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 7 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 6 ต้น ประกอบด้วย 1) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี 2) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี 3) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี 4) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 900-375-750 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี 5) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 900-375-750 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี 6) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 600-250-500 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี และ 7) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 600-250-500 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี

2.2 การวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง

วิเคราะห์สมบัติของดินก่อนและหลังทดลอง ได้แก่ เนื้อดิน Jakrapong Joemsiri [8] ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ด้วยวิธี Walkley & Black ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) ด้วยวิธี Bray II ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K, Ca, Mg) โดยวิธีการสกัดดินด้วย NH_4OAc pH 7 และวัดด้วยเครื่อง AAS Soil Chemistry Research Group [9]

2.3 การวิเคราะห์สมบัติของซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลอง

วิเคราะห์สมบัติของซีโอไลต์ ได้แก่ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ด้วยวิธี Walkley & Black ไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยวิธี Kjeldahl ฟอสฟอรัสทั้งหมด ด้วยวิธี Bray II และวัดโพแทสเซียมทั้งหมดด้วยเครื่อง AAS [9]

2.4 การบันทึกข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

เก็บข้อมูลผลผลิตในรอบปี ทุก ๆ 45 วัน (จำนวน 12 เดือน) ที่มีอายุผล 11-12 เดือน และเก็บตัวอย่างผลผลิตที่มีอายุผล 11-12 เดือน จำนวน 3 ผลต่อทะลาย ก่อนและหลังการทดลอง เพื่อนำมาชั่งน้ำหนักและขนาดของผลสด แล้วแยกชั่งองค์ประกอบผล (fruit component) ได้แก่ เปลือก เนื้อ น้ำ และกะลา

2.5. การวิเคราะห์พืช

นำองค์ประกอบผลผลิตที่ทำการแยก ได้แก่ เปลือก เนื้อ น้ำ และกะลา นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ด้วยวิธี Kjeldahl โดยการย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร่วมกับการใช้สารเร่งปฏิกิริยา $\text{K}_2\text{SO}_4:\text{CuSO}_4:\text{Se}$ แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยการกลั่น ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) โดยการย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดไนตริกและเปอร์คลอริกเข้มข้นอัตราส่วน 2:1 แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี colorimetric (vanado-molybdate yellow color) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด ด้วยวิธี atomic absorption spectrophotometry [9]

2.6. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติของ IRRISTAT

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนทดลอง

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่อายุ 30 ปี พิกัดแปลง 47P 517611 1090993 ผลการวิเคราะห์สมบัติดิน พบว่า ดินบน (0-15 เซนติเมตร) เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีความเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ ส่วนดินล่าง (15-30 เซนติเมตร) เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีความเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 1) ซึ่งสามารถนำมาประเมินการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับมะพร้าวตามค่าวิเคราะห์ดินได้ในอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ ต่อต้นต่อปี [3] จะเห็นว่าพื้นที่ปลูกมะพร้าวส่วนใหญ่จะมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีเนื้อดินที่อยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบและในสภาพที่มีฝนตกชุกของภาคใต้ จึงง่ายต่อการชะละลายของธาตุอาหารพืช สอดคล้องกับระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่อยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกัน โดยในดินทรายจะพบการสูญเสียของโพแทสเซียมไปกับการการชะละลายได้มากเนื่องจากเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้ง่ายและ

ดินทรายมีการดูดยึดธาตุดูดซับจากตัว Yongyuth Osotsapa [10] ด้านฟอสฟอรัสแม้จะเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้น้อยมาก แต่กลับเป็นธาตุที่ถูกตรึงอยู่ในดินได้ง่าย โดยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจะละลายออกมามากในช่วงค่าปฏิกิริยาดิน 6 ถึง 7 แต่จากการสำรวจค่าปฏิกิริยาดินส่วนใหญ่ไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวจึงอาจถูกตรึงอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ได้สูง และในส่วนของ อินทรีย์วัตถุในดินที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ระดับต่ำถึงปานกลาง อาจเกิดจากสภาพอากาศที่ร้อนชื้นและฝนตกชุกของภาคใต้ส่งผล ให้เกิดการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุได้สูงจึงพบการสะสมในดินต่ำ Faculty Members of the Department of Soil Science [11]

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนทดลอง แปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ตำบลบางมะพร้าว อำเภอลำลูกเกด จังหวัดชุมพร

Soil depth (cm)	% Sand	% Silt	% Clay	Soil texture	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	CEC (meq/100 g)	OM (%)	Avail. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg
0-15	71	14	15	Sandy loam	5.4	0.01	7	1.2	3	22	266	36
15-30	74	11	15	Sandy loam	5.5	0.01	6.5	0.6	2	13	163	20

หมายเหตุ: วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

3.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลอง

ซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบผง มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ร้อนผ่านตะแกรงร่อน 1 มิลลิเมตร ความละเอียด 150 เมช และผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลอง พบว่า มีค่าความชื้น เท่ากับ 15.24 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเล็กน้อย (6.5) ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ (0.04 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ไม่พบปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.79 เปอร์เซ็นต์ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) เท่ากับ 46.5 มิลลิสมมูลต่อ 100 กรัม พื้นที่ผิว เท่ากับ 33.18 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน เท่ากับ 0.11 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุน เท่ากับ 13.27 นาโนเมตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลอง

Moisture ¹ (% base on fresh weight)	pH ¹ (1:5)	EC (1:10) ¹ (dS/m)	OM ¹ (%)	Total N ¹ (%)	Total P ₂ O ₅ ¹ (%)	Total K ₂ O ¹ (%)	CEC ¹ (meq/100g)	Surface Area ² (m ² /g)	Pore Volume ² (cm ³ /g)	Pore Size ² (nm)
15.24	6.5	0.04	-	-	-	0.79	46.5	33.18	0.11	13.27

หมายเหตุ: ¹วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

²วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาพที่ 1 การแยกองค์ประกอบผลผลิตของมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงแปลงเกษตรกรตำบลบางมะพร้าว อำเภอลำสน จังหวัดชุมพร

3.3 ข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

จากการสุ่มเก็บผลผลิตมะพร้าวที่อายุผล 12 เดือน จำนวน 3 ผลต่อทะลาย ก่อนการจัดการปุ๋ยมาวิเคราะห์แยกองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักผลทั้งเปลือกเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 1,871 กรัมต่อผล น้ำหนักผลปอกเปลือกเฉลี่ย เท่ากับ 1,110 กรัมต่อผล น้ำหนักเปลือกเฉลี่ย เท่ากับ 762 กรัมต่อผล น้ำหนักกะลาเฉลี่ย 245 กรัมต่อผล และน้ำหนักน้ำเฉลี่ย 377 กรัมต่อผล มีความหนาเนื้อเฉลี่ยอยู่ที่ 12 มิลลิเมตร ขนาดเส้นรอบวงผลทั้งเปลือก เท่ากับ 65 เซนติเมตร และเส้นรอบวงผลปอกเปลือกเท่ากับ 42 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูงที่อายุ 30 ปี แปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ตำบลบางมะพร้าว อำเภอลำสน จังหวัดชุมพร

น้ำหนักองค์ประกอบผลผลิต (กรัม/ผล)						ความหนาเนื้อ (มม.)	เส้นรอบวง (ซม.)	
ผลทั้ง เปลือก	ผลปอก เปลือก	เปลือก	กะลา	เนื้อ	น้ำ		ผลทั้ง เปลือก	ผลปอก เปลือก
1,871	1,110	762	245	492	377	12	65	42

หมายเหตุ: พื้นที่ปลูกมะพร้าว 1 ไร่ มีจำนวน 25 ต้น

3.4 ผลของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง

จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าวสะสมในรอบปี จำนวน 12 เดือน (ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2568 ถึงเดือนพฤษภาคม 2569) พบว่า การใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีส่งผลให้ปริมาณผลผลิตมะพร้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี (100 เปอร์เซ็นต์ของคำแนะนำ) ร่วมกับซีโอไลต์ อัตรา 600 กรัมต่อต้นต่อปี ส่งผลให้จำนวนผลผลิตมะพร้าวสูงที่สุด เท่ากับ 2,183 ผลต่อไร่ต่อปี ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1,200-500-1,000 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี ร่วมกับซีโอไลต์ อัตรา 300 กรัมต่อต้นต่อปี การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 900-375-750 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี (75 เปอร์เซ็นต์ของคำแนะนำ) ร่วมกับซีโอไลต์ อัตรา 300 กรัมต่อต้นต่อปี และการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา



900-375-750 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี ร่วมกับซีโอไลต์ อัตรา 600 กรัมต่อต้นต่อปี แต่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่ซีโอไลต์ ทั้งนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 600-250-500 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี (50 เปอร์เซ็นต์ของคำแนะนำ) ร่วมกับซีโอไลต์ อัตรา 300 กรัมต่อต้นต่อปี และการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 600-250-500 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี ร่วมกับซีโอไลต์ อัตรา 600 กรัมต่อต้นต่อปี สามารถให้ผลผลิตมะพร้าวได้เทียบเท่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100 เปอร์เซ็นต์ของคำแนะนำ แสดงให้เห็นว่าการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ถึง 25-50 เปอร์เซ็นต์ และยังช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตให้สูงขึ้นอีกด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ซีโอไลต์ (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nattamon Hansak et al. [12] โดยใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของดินสำหรับการผลิตปาล์มน้ำมันเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งพบว่าการใช้ซีโอไลต์ที่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงในดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่งเสริมให้ปาล์มเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ซีโอไลต์สามารถทดแทนปุ๋ยเคมีได้บางส่วน โดยแนะนำให้ใช้ปุ๋ยเคมีลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำและใช้ซีโอไลต์ อัตรา 10:1 ตามน้ำหนักจะได้ผลตอบแทนผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อไร่มากที่สุด

ตารางที่ 4 ผลของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อจำนวนผลผลิตมะพร้าวพันธุ์ต้นสูงที่อายุ 30 ปี แปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ตำบลบางมะพร้าว อำเภอลำสนธิ จังหวัดฉะเชิงเทรา (เก็บเกี่ยวผลผลิตตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2568 ถึงเดือนพฤษภาคม 2569)

กรรมวิธี	จำนวนผลผลิต (ผล/ไร่/ปี) ⁽¹⁾
1. 1,200-500-1,000 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี	1,479 b
2. 1,200-500-1,000 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	2,114 a
3. 1,200-500-1,000 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	2,183 a
4. 900-375-750 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	1,727 ab
5. 900-375-750 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	1,952 ab
6. 600-250-500 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	1,492 b
7. 600-250-500 กรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	1,479 b
เฉลี่ย	1,775
CV (%)	17.19

หมายเหตุ: ⁽¹⁾จำนวนผลผลิตที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พื้นที่ปลูกมะพร้าว 1 ไร่ มีจำนวน 25 ต้น

3.5 ผลของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อสมบัติดินทางเคมีหลังการทดลอง

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังการทดลองที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร พบว่า การใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลให้สมบัติทางเคมีหลังการทดลองแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5 และ 6)



ตารางที่ 5 ผลของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อสมบัติดินทางเคมีที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ตำบลบางมะพร้าว อำเภอลำสนธิ จังหวัดชุมพร

กรรมวิธี	pH	EC (1:5)	OM	Avail.	Exch.	Exch.	Exch.
				P	K	Ca	Mg
	(1:1)	(dS/m)	(%)	(mg/kg)			
1. 1,200-500-1,000 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี	5.8	0.02	1.0	6	19	262	39
2. 1,200-500-1,000 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	5.4	0.03	0.7	19	23	159	26
3. 1,200-500-1,000 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	5.8	0.02	0.8	13	19	250	25
4. 900-375-750 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	5.3	0.02	0.7	6	22	190	27
5. 900-375-750 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	5.7	0.02	0.6	10	19	142	24
6. 600-250-500 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	5.2	0.03	0.9	7	22	172	33
7. 600-250-500 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	5.7	0.02	0.8	10	27	272	50
Mean	5.6	0.02	0.8	10	22	207	32
CV (%)	8.43	21.15	23.35	27.5	29.13	26.82	23.84

หมายเหตุ : วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 6 ผลของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อสมบัติดินทางเคมีที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร ในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ตำบลบางมะพร้าว อำเภอลำสนธิ จังหวัดชุมพร

กรรมวิธี	pH	EC (1:5)	OM	Avail.	Exch.	Exch.	Exch.
				P	K	Ca	Mg
	(1:1)	(dS/m)	(%)	(mg/kg)			
1. 1,200-500-1,000 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี	5.9	0.02	0.3	7	12	110	17
2. 1,200-500-1,000 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	5.6	0.03	0.4	10	14	86	12
3. 1,200-500-1,000 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	6.0	0.02	0.4	13	18	172	17
4. 900-375-750 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	5.5	0.01	0.3	5	9	76	13
5. 900-375-750 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	5.7	0.01	0.3	7	14	85	17



ตารางที่ 6 ผลของการใช้ซีโอไลต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อสมบัติดินทางเคมีที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร ในแปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวพันธุ์ไทยต้นสูง ตำบลบางมะพร้าว อำเภอลำสนธิ จังหวัดชุมพร (ต่อ)

กรรมวิธี	pH	EC (1:5)	OM	Avail.	Exch.	Exch.	Exch.
				P	K	Ca	Mg
	(1:1)	(dS/m)	(%)	(mg/kg)			
6. 600-250-500 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 300 กรัมต่อต้นต่อปี	5.3	0.02	0.2	6	14	56	11
7. 600-250-500 กรัม N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ต่อต้นต่อปี + ซีโอไลต์ 600 กรัมต่อต้นต่อปี	5.5	0.02	0.3	5	9	98	19
Mean	5.6	0.02	0.3	7	13	97	15
CV (%)	9.90	28.93	24.22	26.85	37.12	26.28	24.16

หมายเหตุ : วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

4. สรุปผล

การจัดการธาตุอาหารพืชมีความสำคัญสำหรับการผลิตมะพร้าวพันธุ์ต้นสูงเป็นอย่างมาก ภายใต้สภาพดินร่วนปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และการทดลองในแปลงเกษตรกรที่อำเภอลำสนธิ จังหวัดชุมพร การใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (1,200-500-1,000 กรัม N-P₂O₅-K₂O ต่อต้นต่อปี) ร่วมกับซีโอไลต์ 300-600 กรัมต่อต้นต่อปีให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว แต่ยังคงศึกษาซ้ำหลายปีและหลายพื้นที่เพื่อยืนยันผลก่อนนำไปแนะนำการใช้ในวงกว้าง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และทีมงานวิจัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. (2026). Mature coconut: Planted area, harvested area, production, and yield per harvested area for the whole kingdom, by region and province, 2024. Office of Agricultural Economics. <https://oae.go.th/uploads/files/2025/11/24/c9341872cece3459.pdf> (In Thai).
- [2] Margeta, K., Zabukovec Logar, N., Šiljeg, M., & Farkaš, A. (2021). Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. *Agronomy*, 11(8), 1547
- [3] Department of Agriculture. (2009). Recommendations for fertilizer use in economic crops (2nd ed.). Soil Science Research Group, Office of Agricultural Research and Development on Agricultural Production Factors, Department of Agriculture. (In Thai).
- [4] Duangpatra, P. (2013). Soil amendment. (2nd ed.). Kasetsart University Press. (In Thai).
- [5] Suwardi, S., Suryadi, A. H., Randrikasari, O., Yusuf, S. M., Darmawan, D., & Oktariani, P. (2025). The effect of NPK-zeolite fertilizer on the growth of kopyor coconut and nutrient availability in ultisols of Tasikmalaya. *Frontier in Sustainable Agromaritime and Environmental Development Conference Proceedings*.



- [6] Kavvadias, V., Ioannou, Z., Vavoulidou, E., & Paschalidis, C. (2023). Short-term effects of chemical fertilizer, compost and zeolite on yield of lettuce, nutrient composition and soil properties. *Agriculture*, 13(5), 1022
- [7] Permana, E., Aulia, K., Aziz, H., & Murti, S. D. S. (2023). Synthesis of slow-release fertilizer with coconut shell biochar and activated natural zeolite for red onion. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(4), 5111–5120.
- [8] Joemsiri, J. (2003). Methods for analysis of soil physical properties. Soil Science Research Group, Office of Agricultural Production Science Research and Development, Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai).
- [9] Soil Chemistry Research Group. (2001). Manual for soil and plant analysis. Soil Chemistry Research Group, Division of Soil Science, Department of Agriculture; Agricultural Cooperative Federation of Thailand Printing House. (In Thai)
- [10] Osotsapa, Y. (2015). Plant nutrients. (4th ed.). Kasetsart University Press. [In Thai]
- [11] Faculty Members of the Department of Soil Science. (2005). Introduction to soil science. (4th ed.). Kasetsart University Press. (In Thai).
- [12] Nattamon Hansak (2005). *Full paper of Miss Nattamon Hansak*. Department of Agriculture. <http://lib.doa.go.th/multim/BB00523.pdf>. (In Thai).