การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีกับการเกษตร

วิยงค์ กังวานศุภมงคล[๑,๒]

[๑]ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

[๒]ภาคีสมาชิก สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ ประเภทวิชาเทคโนโลยี สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, wiyong@nanotec.or.th

บทนำ

ประชากรโลกได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คาดกันว่าเมื่อถึง ค.ศ. ๒๐๕๐ จะมีประชากรโลกมากถึง ๙ พันล้านคน สิ่งนี้อาจสร้างปัญหาอย่างมาก โดยเฉพาะในการผลิตสินค้าเกษตร คาดการณ์กันว่า ความต้องการอาหารจะเพิ่มขึ้นร้อยละ ๗๐ ถึง ๘๐ (Bahar et al., 2020) ปัจจุบันภาคการเกษตรทั่วโลกได้รับผลกระทบอย่างมากจากผลผลิตที่ตกต่ำ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากภาวะโลกร้อน ภัยแล้ง ปัญหาดินเสื่อมสภาพหรือความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง การเข้าทำลายจากแมลงศัตรูพืช การใช้ปุ๋ยที่ไม่มีประสิทธิภาพ และวิกฤตปุ๋ยมีราคาแพงจากภาวะสงคราม นอกจากนี้ สถิติที่รวบรวมโดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) รายงานว่า แหล่งน้ำสำหรับภาคการเกษตรที่ลดน้อยลงและสภาพดินเค็มที่เพิ่มขึ้นทำให้ที่ดินที่เหมาะแก่การเพาะปลูกลดลง สิ่งนี้สร้างความท้าทายอย่างมากต่อการเติบโตของอาหารและสินค้าเกษตรเพื่อตอบสนองอุปสงค์และช่องว่างอุปทานเนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง ควบคุม และการใช้ประโยชน์จากวัสดุที่มีโครงสร้างขนาดเล็กมาก ๆ ในระดับนาโนสเกลหรือ ซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง ๑–๑๐๐ นาโนเมตร (nm) อนุภาคนาโนมีพื้นผิวต่อปริมาตรที่สูงกว่าและมีสมบัติที่โดดเด่นเพราะสร้างขึ้นอย่างเหมาะสมสำหรับการใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับสารชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า นาโนเทคโนโลยีนี้มีการประยุกต์ในหลายสาขา เช่น วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า การแพทย์ เพราะสามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนสมบัติของวัสดุได้อย่างละเอียดและมีประสิทธิภาพมากขึ้น นาโนเทคโนโลยียังมีความสำคัญในด้านการพัฒนาเทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น การพัฒนาแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตยา การพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทนอื่น ๆ การใช้นาโนเทคโนโลยีในการพัฒนาวัสดุและอุปกรณ์ที่มีความแข็งแรงสูงและมีประสิทธิภาพสูง ทำให้เกิดผลกระทบด้านบวกต่อการพัฒนาเทคโนโลยีอื่น ๆ ได้อย่างมากมาย การประยุกต์นาโนเทคโนโลยีเข้ากับการเกษตรได้กลายเป็นแนวทางหนึ่งที่มีศักยภาพในการเพิ่มการเติบโตและผลผลิตของพืช (Cheng et al., 2016; Moulick et al., 2020)

การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีในเกษตรกรรมทำให้เกษตรกรสามารถใช้วัสดุนาโนได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำด้วยทรัพยากรที่จำกัด เช่น พื้นดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ไม่เหมาะแก่การเพาะปลูก การขาดแคลนแหล่งน้ำ ราคาปุ๋ยที่สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ ๑ เราสามารถแบ่งวัสดุนาโนได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ (ก) กลุ่มการเพิ่มผลผลิตโดยใช้ปุ๋ยนาโน (ข) กลุ่มการใช้ตัวพาระดับนาโนเมตรเพื่อการปรับแต่งพันธุ์พืช

(ค) กลุ่มการใช้อนุภาคนาโนเพื่อปรับปรุงความทนต่อความเครียดที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพและทางชีวภาพ ความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพ (abiotic stress) เช่น ปริมาณน้ำที่น้อยหรือภาวะแล้ง การมีน้ำท่วมขังบริเวณรากของพืชเป็นเวลานาน ๆ ความเค็ม การขาดแคลนธาตุอาหารที่จำเป็นแก่การเติบโต และความเครียดจากปัจจัยทางชีวภาพ (biotic stress) เช่น การกัดกินโดยแมลง การรุกรานของโรคพืชและเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค รวมถึงกลุ่มการกระตุ้นการเติบโตของพืช (ง) กลุ่มการปรับปรุงคุณภาพของดินโดยใช้วัสดุนาโนหรือนาโนคอมพอสิต (จ) กลุ่มการป้องกันการเข้าทำลายผลผลิตทั้งจากแมลงศัตรูพืชและจากเชื้อก่อโรคพืช และ (ฉ) กลุ่มการจัดการเกษตรอัจฉริยะหรือการเพาะปลูกอย่างชาญฉลาดโดยใช้นาโนเซนเซอร์

ภาพที่ ๑ การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีในการเกษตร

นาโนเทคโนโลยียังมีส่วนในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยในการเกษตร ปุ๋ยที่ใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิตจะมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร หรือที่เรียกว่า “ปุ๋ยนาโน” ให้ประโยชน์มากมายเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีทั่วไปสำหรับการผลิตพืชผลที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ข้อดีของการใช้ปุ๋ยนาโน ได้แก่ (ก) การดูดซึมที่เพิ่มขึ้นและการใช้สารอาหารอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีการสูญเสียน้อยลง (ข) การลดความเสี่ยงของภาวะมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสูญเสียสารอาหารน้อยลง (ค) อัตราการแพร่และความสามารถในการละลายของปุ๋ยนาโนที่สูงขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับปุ๋ยสังเคราะห์ทั่วไป (ง) การควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยนาโน เมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี ซึ่งเกิดขึ้นเองและรวดเร็ว (จ) ต้องการปุ๋ยนาโนในปริมาณที่น้อยกว่าปุ๋ยสังเคราะห์ทั่วไปเนื่องจากการสูญเสียที่ลดลงและการดูดซึมที่สูงขึ้น และ (ฉ) การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและการพัฒนาสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ ตารางที่ ๑ แสดงความแตกต่างระหว่างปุ๋ยทั่วไปกับปุ๋ยนาโน

การประยุกต์ใช้ปุ๋ยนาโนเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ (Avila-Qvinash et al., 2022) มีตัวอย่างเช่น การใช้อนุภาคนาโนแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์สามารถเพิ่มการงอกของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร้อยละ ๑๐๐ และเพิ่มการเติบโต การใช้ปุ๋ยนาโนร่วมกับปุ๋ยยูเรียสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ร้อยละ ๘.๕ ถึง ๑๐.๒ การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปนาโนแคปซูลสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวสาลีและถั่วเหลืองได้ร้อยละ ๒๘.๘ และ ๑๖.๗ ตามลำดับ การใช้อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์สามารถเพิ่มผลผลิตแตงกวาและกะหล่ำปลีได้ร้อยละ ๖.๓ และ ๙.๑ ตามลำดับ การใช้อนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์สามารถเพิ่มผลผลิตธัญพืชจากร้อยละ ๘ ถึง ๑๗

ปัจจุบันมีผู้ใช้ปุ๋ยจำนวนมากเพื่อผลิตอาหาร เนื่องจากจำเป็นแก่การเพิ่มผลผลิตของพืช อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของปุ๋ยทั่วไปนั้นต่ำมาก ตัวอย่างเช่น จากไนโตรเจนทั้งหมดที่ใช้กับดิน ร้อยละ ๕๐ ถึง ๗๐ สูญเสียไปจากการชะละลายเป็นไนเทรตที่ละลายน้ำได้ และจากการปล่อยแก๊สแอมโมเนียและไนโตรเจนออกไซด์ ประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตอยู่ที่ร้อยละ ๑๐ ถึง ๒๕ และโพแทสเซียมอยู่ที่ร้อยละ ๓๕ ถึง ๔๐ ดังนั้น วัสดุนาโนคอมพอสิตที่จะใช้เป็นชั้นฟิล์มเคลือบเม็ดปุ๋ยหรือเมทริกซ์จึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสม เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและลดการสูญเสีย (Boonying et al., 2023) โดยที่อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชผ่านชั้นเคลือบขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นเคลือบ ชนิดของพอลิเมอร์ และปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการปล่อยสารอาหาร เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ค่าพีเอช เพื่อให้พืชได้รับสารอาหารที่จำเป็นอย่างต่อเนื่องและเติบโตได้มากขึ้นตลอดวงจรชีวิตของพืชนั้น

ตารางที่ ๑ ความแตกต่างระหว่างปุ๋ยเคมีทั่วไปกับปุ๋ยนาโน

สมบัติ	**ปุ๋ยเคมีนาโน**	**ปุ๋ยเคมีทั่วไป**
อัตราการสูญเสียธาตุอาหาร	ต่ำ	สูง
การควบคุมการปลดปล่อย	ควบคุมได้/ปลดปล่อยอย่างแม่นยำ	ปลดปล่อยมากเกินไป/เกิดความเป็นพิษ/ดินไม่ได้ดุล
การละลาย	สูง	ต่ำ
การดูดซึมทางชีวภาพ	สูง	ต่ำ
การแขวนลอยของแร่ธาตุอาหารรอง/เสริม	ปรับปรุงการแขวนลอยของสารอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	การละลายต่ำเนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่
ระยะเวลาการปลดปล่อยที่มีประสิทธิภาพ	มีประสิทธิภาพและระยะเวลานานขึ้น	ละลายเร็วในเวลาสั้น/พืชได้รับสารอาหารเพียงบางส่วน
ประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหาร (nutrient uptake) ของพืช	พืชดูดซึมสารอาหารได้มาก/ใช้ปุ๋ยลดลง	พืชดูดซึมสารอาหารได้น้อย
การดูดซับ (adsorption) และการตรึง (fixation) ในดิน	ดินดูดซับหรือตรึงได้น้อย	ดินดูดซับหรือตรึงได้มาก

(ที่มา: Avila-Qvinash et al., 2022)

แมลงศัตรูพืชและเชื้อก่อโรคพืช เช่น เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา รวมถึงวัชพืช เป็นปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่ลดปริมาณผลผลิตของพืช นาโนเทคโนโลยียังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้สารกำจัดวัชพืชหรือแมลงศัตรูพืช (Jiang et al., 2021) โดยการนำสารกำจัดวัชพืชหรือสารกำจัดแมลงศัตรูพืชหรือสารสมุนไพรที่มีฤทธิ์ไล่แมลงมากักเก็บหรือห่อหุ้มในรูปนาโนอิมัลชัน เช่น นาโนอิมัลชันกักเก็บคลอร์ไพรีฟอส นาโนอิมัลชันกักเก็บเพอเมทริน นาโนอิมัลชันกักเก็บน้ำมันสะเดา อนุภาคนาโนพอลิเมอร์ เช่น นาโนเจล นาโนสเฟียร์ นาโนไฟเบอร์ อนุภาคของแข็งนาโน เช่น อนุภาคนาโนอะลูมินา อนุภาคนาโนซิลิกา อนุภาคนาโนเคลย์ หรือตัวอย่างสารกำจัดแบคทีเรีย เชื้อรา เช่น อนุภาคนาโนทองแดง อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ อนุภาคนาโนแมกนีเซียมออกไซด์ เพราะอนุภาคนาโนมีขนาดอนุภาคเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวมาก ยึดเกาะกับใบหรือลำต้นพืชได้ดีและสม่ำเสมอ จึงสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีที่เป็นพิษต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมลงได้

นอกจากนั้น ปัจจัยที่สำคัญในการทำเกษตรกรรมคือน้ำ เนื่องจากปัจจุบันลักษณะทางภูมิอากาศได้แปรปรวนมากขึ้น เช่น ภาวะภัยแล้ง ภาวะโลกร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงขึ้น ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล จึงส่งผลกระทบมากต่อการเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตร ทำให้ปริมาณและคุณภาพผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีผู้นำวัสดุนาโนมาประยุกต์ใช้บำบัดดินเพื่อกักเก็บความชุ่มชื้นของดิน เช่น แร่ดินหรือนาโนเคลย์ที่ได้รับการดัดแปรโครงสร้างเพื่อให้สามารถกักเก็บความชื้นหรืออุ้มน้ำได้มาก เมื่อใช้สารแขวนลอยนาโนเคลย์ผสมในดินเพาะปลูก จะทำให้พื้นที่แห้งแล้งหรือทะเลทรายที่ไม่สามารถเพาะปลูกได้กลับมาเพาะปลูกพืชได้ดีขึ้น หรือการใช้นาโนคอมพอสิตไฮโดรเจลที่เตรียมขึ้นจากแร่ดินชนิดลาโพไนต์และโพแทสเซียมพอลิอะคริเลต (Kim et al., 2022) สามารถนำมาใช้ผสมดินเพื่อปรับปรุงสมบัติการอุ้มน้ำของดินของแปลงปลูกพืชในพื้นที่แห้งแล้ง หรือใช้ผสมกับดินเพื่อปลูกพืชในอาคารบ้านเรือน ซึ่งสามารถช่วยยืดระยะเวลาการรดน้ำได้

สำหรับการใช้อนุภาคนาโนเพื่อกระตุ้นการเติบโตของพืชหรือเพิ่มผลผลิตพืช (Nile et al., 2022) การใช้อนุภาคนาโนของโลหะหรือโลหะออกไซด์ เช่น อนุภาคเงินนาโน อนุภาคซิงก์นาโน อนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์นาโน นอกเหนือจากการใส่เพื่อยับยั้งจุลชีพและเชื้อก่อโรคของพืชหลากหลายชนิดแล้วนั้น มีผลการศึกษาที่พบว่า การใช้อนุภาคนาโนในปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถช่วยเพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารรองไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้อีกด้วย อีกทั้งยังป้องกันการขาดสารอาหาร และช่วยลดความเครียดของพืชได้ และการใช้อนุภาคนาโนคาร์บอนหรือท่อนาโนคาร์บอนสามารถเพิ่มการเติบโตของพืชและการงอกของเมล็ดโดยอาศัยกลไกการเจาะผ่านผนังเซลล์และการนำส่งผ่านเซลล์ของพืช

นาโนเซนเซอร์ (nanosensors) และนาโนไบโอเซนเซอร์ (nanobiosensors) ทางการเกษตรเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซนเซอร์ที่ผลิตขึ้นด้วยวัสดุนาโนที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีนาโน เช่น อนุภาคนาโน หมุดนาโน ท่อนาโนคาร์บอน รวมทั้งวัสดุเชิงประกอบลูกผสม (hybrid composite) ที่มีสมบัติแม่เหล็กเพื่อตรวจวัดสัญญาณ เช่น สัญญาณเชิงแสง สัญญาณไฟฟ้าเคมี สัญญาณเพียโซอิเล็กทริก เพื่อปรับปรุงการวิเคราะห์และการตรวจวัดที่มีความไวและความแม่นยำมากขึ้น การวิเคราะห์ข้อมูลทางเกษตร ซึ่งสามารถใช้วัดคุณภาพดิน ความชื้นของดิน อุณหภูมิ แสง เชื้อก่อโรคในพืช สารกำจัดศัตรูพืช ปริมาณสารอาหารและธาตุอาหารในดิน และอื่น ๆ ส่งผลต่อการเติบโตของพืช โดยช่วยให้เกษตรกรสามารถวัดและจัดการสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของพืช

ได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพในการเกษตร และช่วยเพิ่มผลผลิต การใช้นาโนเซนเซอร์ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะช่วยลดการใช้สารเคมีในการเกษตรได้ เนื่องจากสามารถวัดค่าต่าง ๆ ในพืชได้ เพื่อการจัดการปริมาณสารเคมีที่พึงใช้ นอกจากนี้ เซนเซอร์ที่ใช้นาโนเทคโนโลยียังมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้สามารถติดตั้ง ใช้งานได้ง่าย และสามารถส่งผลของการวัดได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำผ่านเครือข่ายระบบไร้สาย ดังนั้น การใช้นาโนเซนเซอร์ทางการเกษตรจะช่วยให้เกษตรกรสามารถปรับปรุงการจัดการการเพาะปลูกได้ดีขึ้น ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพในการเติบโตของพืชได้ (Sharma et al., 2021)

บทสรุป

การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการเกษตรสมัยใหม่สามารถช่วยยกระดับเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ของเกษตรกรได้ โดยเฉพาะการใช้เพื่อแก้การขาดแคลนอาหารเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภัยแล้ง อุทกภัย รวมถึงการระบาดของเชื้อก่อโรคทั้งในมนุษย์ สัตว์และพืช ดังนั้น การใช้อนุภาคนาโนมีส่วนช่วยอย่างมีนัยสำคัญในการแก้ไขปัญหาโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยทั่วไปในการเพาะปลูก การใช้สารกำจัดวัชพืชและแมลงศัตรูพืช รวมถึงการประยุกต์ใช้นาโนเซนเซอร์ในการเพาะปลูกแบบอัจฉริยะ ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ทรัพยากรแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ ยังช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญมากในปัจจุบันนี้

เอกสารอ้างอิง

Avila-Quezada, G.D., Ingle, A.P., Golinska, P. and Rai, M. (2022) Strategic Applications of Nano-fertilizers for Sustainable Agriculture: Benefits and Bottlenecks. Nanotechnol. Rev. 11, 2123–2140.

Bahar, N.H.A., Lo, M., Sanjaya, M., Vianen, J.V., Alexander, P., Ickowitz, A. and Sunderland, T. (2020) Meeting the Food Security Challenge for Nine Billion People in 2050: What Impact on Forests? Glob. Environ. Change. 62, 102056.

Boonying, P., Sottiudom, S., Nontasorn, P., Laohhasurayotin, K. and Kangwansupamonkon, W. (2023) Novel Coating Films Containing Micronutrients for Controlled-release Urea Fertilizer: Release Mechanisms and Kinetics Study. Polym. Bull. 80(9), 9627–9649.

Cheng, H.N., Klasson, K., Asakura, T. and Wu, Q. (2016) Nanotechnology in Agriculture. In: H.N. Cheng, L. Doemeny, C.L. Geraci and D.G. Schmidt (Eds.), Nanotechnology: Delivering on the Promise Volume 2. (pp. 233–242). American Chemical Society.

Jiang, M., Song, Y., Kanwar, M.K., Ahammed, G.J. Shao, S. and Zhou, J. (2021) Phytonanotechnology Applications in Modern Agriculture. J. Nanobiotechnol. 19, 430.

Kim, S.M., Rhie, Y.H., Kong, S.M., Kim, Y.S. and Na, Y.H. (2022) Synthesis of Nanocomposite Hydrogels for Improved Water Retention in Horticultural Soil. ACS Agric. Sci. Technol. 2(6), 1206–1217.

Moulick, R.G., Das, S., Debnath, N. and Bandyopadhyay, K. (2020) Potential Use of Nanotechnology in Sustainable and 'Smart' Agriculture: Advancements Made in the Last Decade. Plant Biotechnol. Rep. 14, 505–513.

Nile, S.H., Thiruvengadam, M., Wang, Y. and Samynathan, R. (2022) Nano-priming as Emerging Seed Priming Technology for Sustainable Agriculture – Recent Developments and Future Perspectives. J. Nanobiotechnol. 20, 254.

Sharma, P., Pandey, V., Sharma, M.M.M., Patra, A., Singh, B., Mehta, S. and Husen, A. (2021) A Review on Biosensors and Nanosensors Application in Agroecosystems. Nanoscale Res. Lett., 16, 136.