

การพัฒนาเทคโนโลยีระบบฟาร์มอัจฉริยะแบบอัตโนมัติสำหรับปลูกบัวบก
เพื่อให้มีปริมาณสารสำคัญสูง
Smart farming development for growing Asiatic pennywort in an
organic system to reduce contaminants and increase the yield of
important substances

เกศศิริรินทร์ แสงมณี¹, พนิดา แสนประกอบ พรอุดมทรัพย์² และ นพวรรณ พรศิริ³
Katsirin Sangmane¹, Panida Saenprakob Pornudomthap² and Nopphawan Pornsiri³

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Thailand
Corresponding Author, Email: Katsirinsangmanee@gmail.com¹

Received: 2025-02-6; Revised: 2025-10-11; Accepted: 2025-10-15

บทคัดย่อ

การพัฒนาเทคโนโลยีระบบฟาร์มอัจฉริยะแบบอัตโนมัติสำหรับปลูกบัวบกให้มีปริมาณสารสำคัญสูง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบฟาร์มอัจฉริยะที่ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนให้เหมาะสมต่อการสร้างสารสำคัญในบัวบกแต่ละพันธุ์ที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ที่ไม่มีสารปนเปื้อน โดยแบ่งออกเป็น 2 กิจกรรม ได้แก่ 1) การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังด้วยโปรแกรม Arduino ในการเขียนโค้ดเพื่อควบคุมอุปกรณ์ ทำการปลูกบัวบกในโรงเรือนแบบจั่ว 2 ชั้น ขนาด 4 x 12 เมตร พบว่า ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ อุณหภูมิในโรงเรือนที่ควบคุมระบบพ่นหมอก และความชื้นในดินที่ควบคุมระบบน้ำแบบมินิสปริงเกอร์ สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมจนส่งผลให้บัวบกมีการเจริญโตได้ดีทุกฤดู 2) การศึกษาผลของบัวบกแต่ละพันธุ์ที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ภายใต้โรงเรือนอัจฉริยะที่ปราศจากสารปนเปื้อน โดยวางแผนการทดลองแบบ Split plot in CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีสิ่งทดลองดังนี้ ปัจจัยหลัก คือ พันธุ์ปลูกบัวบก ได้แก่ พันธุ์นครปฐม พันธุ์อุบลราชธานี และพันธุ์ระยอง ปัจจัยรอง คือ การจัดการปุ๋ย ได้แก่ ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำเกษตรกร และการใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพ อัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ปลูกในแต่ละฤดู บันทึกข้อมูล ได้แก่ สันฐานวิทยาของบัวบกแต่ละพันธุ์ ปริมาณโลหะหนักในใบบัวบก ปริมาณสารสำคัญ และปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ จากการทดลอง พบว่า บัวบกพันธุ์อุบลราชธานี ให้ผลผลิตดีที่สุด พันธุ์ระยองให้ผลผลิตต่อพื้นที่ต่ำสุด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในใบบัวบกทุกพันธุ์ที่ปลูกแบบใส่ปุ๋ยเคมีและอินทรีย์ พบว่า อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานทั่วไปของ Thai Herbal Pharmacopoeia (Thai Herbal Pharmacopoeia Volume 1, 0, 1998 2000) พันธุ์ระยองที่ปลูกในทุกฤดูมีปริมาณสารสำคัญมากที่สุด ในฤดูร้อน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มากที่สุด 10.59 mgGAE/g DW 105.38 mgGAE/g DW และ 4.48 ตามลำดับ ปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ พบว่า พันธุ์ระยองที่ปลูกในฤดูฝนมีปริมาณสารมากที่สุดคือ 34.48 เปอร์เซ็นต์ และการปลูกโดยใช้ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ มีการผลิตปริมาณสารสำคัญมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการปลูกในโรงเรือนระบบฟาร์มอัจฉริยะและปลูกนอกโรงเรือน พบว่า การปลูกในโรงเรือนให้ปริมาณสารปริมาณเอเชียติโคไซด์สูงกว่าการปลูกนอกโรงเรือน ซึ่งการปลูกบัวบกในระบบโรงเรือนอัจฉริยะและปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ส่งผลให้บัวบกมีผลผลิตและปริมาณสารสำคัญมากกว่าการปลูกนอกโรงเรือน อีกทั้งยังสามารถควบคุมโรคและแมลง

ที่ระบาดในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนได้ ซึ่งเป็นแนวทางให้เกษตรกรนำไปใช้พัฒนาในการผลิตบัวบกเพื่อนำไปใช้ในการผลิตบัวบกให้มีปริมาณสารสำคัญสูงได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: การพัฒนาเทคโนโลยี, ฟาร์มอัจฉริยะ, บัวบก

Abstract

The research titled “Smart farming development for growing Asiatic pennywort in an organic system to reduce contaminants and increase the yield of important substances” aimed to study a smart farm system that can control environmental conditions inside a greenhouse to be suitable for the synthesis of bioactive compounds in each cultivar of Asiatic pennywort under an organic farming system free from contamination. The research was carried out in two main activities as follows: 1) The design and development of a smart farm control system in the greenhouse using an embedded computer programmed with Arduino to control the equipment. Asiatic pennywort was cultivated in a double-roof greenhouse measuring 4 × 12 meters. The experimental results showed that the smart farm control system, which regulated relative humidity in the air, greenhouse temperature through a misting system, and soil moisture through a mini-sprinkler irrigation system, was able to maintain the environmental conditions inside the greenhouse at appropriate levels. This resulted in good growth of Asiatic pennywort in all seasons. 2) The study of the effects of different Asiatic pennywort cultivars grown under an organic farming system in a smart greenhouse free from contaminants. The experiment was designed as a Split Plot in a Completely Randomized Design (CRD) with three replications. The main factor was Asiatic pennywort cultivars, namely Nakhon Pathom, Ubon Ratchathani, and Rayong. The sub-factor was fertilizer management consisting of (1) fertilizer application following farmers’ recommendations, and (2) application of biochar compost at a rate of 1,000 kilograms per rai. Cultivation was conducted in each season, and data were recorded on the morphology of each cultivar, heavy metal content in leaves, quantity of bioactive compounds, and asiaticoside content. The results showed that the Ubon Ratchathani cultivar produced the highest yield, while the Rayong cultivar produced the lowest yield per area. When analyzing the heavy metal content in the leaves of all cultivars grown with both chemical and organic fertilizers, it was found that the levels were lower than the general standard values specified in the *Thai Herbal Pharmacopoeia* (Volume 1, 1998–2000). The Rayong cultivar grown in all seasons contained the highest amounts of bioactive compounds. During the summer, it showed the highest total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity by the DPPH method—10.59 mg GAE/g DW, 105.38 mg GAE/g DW, and 4.48, respectively. The asiaticoside content was found to be the highest in the Rayong cultivar grown during the rainy season at 34.48 percent. Cultivation using biochar compost made from durian husks at a rate of 1,000 kilograms per rai resulted in the greatest production of bioactive compounds.

Keywords: Technology development, Smart Farming, Asiatic pennywort



บทนำ

ปัจจุบันสภาพภูมิอากาศมีความแปรปรวนอย่างมาก จากผลกระทบของปรากฏการณ์ลานีญา ส่งผลให้มีฝนตกต่อเนื่องตั้งแต่ต้นปีจนถึงปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรได้รับความเสียหาย ผลผลิตไม่ได้ตามความต้องการ ทำให้เกษตรกรมีค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้น รวมไปถึงปัจจุบันได้รับผลกระทบจากราคาน้ำมันแพงขึ้น ปุ๋ยเคมีและสารเคมีต่าง ๆ ที่มีราคาสูงขึ้น ซึ่งปัจจัยทั้งหมดนี้ มีความสำคัญต่อภาคการเกษตรเป็นอย่างมาก ซึ่งพืชที่ได้รับผลกระทบนั้นมีหลายชนิด รวมไปถึงผักและสมุนไพร ได้แก่ ขมิ้น ขิง ฝรั่ง โหระพา พริก ผักชี ขึ้นฉ่าย บวบ ทำให้มีผลผลิตราคาสูง แต่ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ จากข้อมูลดังกล่าว พืชที่ปัจจุบันกำลังถูกพัฒนามาใช้ทางด้านเภสัชและเครื่องสำอาง เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับตลาด คือ บวบ ใบบวบจัดเป็นผักพื้นบ้าน ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบเลื้อยไปกับพื้นดิน ขยายพันธุ์โดยใช้ไหล ชอบขึ้นในพื้นที่ที่มีความชื้นและ มีความต้องการแสงแดดรำไร สามารถเจริญเติบโตได้ดีในฤดูฝน มีปัญหาเรื่องการผลิตในช่วงฤดูหนาวและร้อน เพราะปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำ ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ทำให้ใบมีขนาดเล็กลง ในฤดูร้อน มักพบขอบใบไหม้ และแห้งตาย และยังมีผลต่อการสร้างสารสำคัญในกลุ่มสารเอเซียติโคไซด์ ที่เป็นสารที่มีประโยชน์ต่อผิวในหลายด้าน ซึ่งใช้รักษาโรคผิวหนังและแก้ น้ำร้อนลวกได้ดี เป็นต้น สารเหล่านี้มักมีฤทธิ์ ในการสมานแผล ทำให้แผลหายเร็ว สารนี้มีส่วนช่วยกระตุ้นการสร้างคอลลาเจน ลดเลือนริ้วรอย ทำให้ผิวเรียบเนียนและชุ่มชื้น (สุรพงษ์ อนุตธโต, 2566) นอกจากนี้ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมแล้ว พันธุ์ที่ปลูกในแต่ละพื้นที่ก็มีผลต่อการสร้างสารเอเซียติโคไซด์ ดังนั้นถ้ามีการจัดการผลิตตั้งแต่การคัดเลือกพันธุ์ การเตรียมดิน การจัดการผลิตที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ก็จะทำให้เกษตรกรผู้ปลูกได้รับผลผลิตและประโยชน์จากผลผลิตอย่างเพียงพอ ซึ่งกระบวนการปลูกโดยใช้ระบบการปลูกแบบ Smart Farming ปลูกในโรงเรือนที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ จะใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกน้อยและสามารถให้ผลผลิตได้อย่างสม่ำเสมอในทุกฤดูกาล สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตได้ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศ ความชื้นดิน ความเข้มแสง การจัดการดินและปุ๋ย การควบคุมปริมาณธาตุอาหาร pH และการใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของใบบวบ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีในการปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตบวบที่ไม่มีการปนเปื้อนสารพิษ และได้ผลผลิตบวบตามความต้องการของท้องตลาดสารสกัดแห้ง
2. เพื่อศึกษาหาคุณภาพของใบบวบที่ปลูกในโรงเรือนอัจฉริยะในระบบอินทรีย์ ได้แก่ บักบกที่ไม่มีการปนเปื้อน สารสกัดบวบที่มีการออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดี และปริมาณสาร Asiaticoside

สมมติฐานการวิจัย

บวบที่ปลูกในโรงเรือนอัจฉริยะในระบบอินทรีย์จะให้ผลผลิตที่ไม่มีการปนเปื้อนสารพิษและมีสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดี และมีปริมาณสาร Asiaticoside สูง

การทบทวนวรรณกรรม

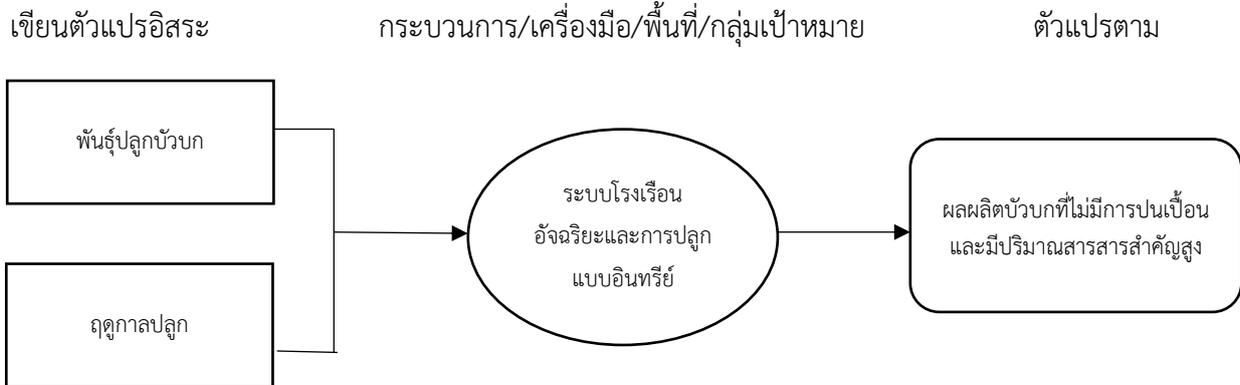
แนวโน้มการจัดการด้านการเกษตรในปัจจุบันมีความชัดเจนมากขึ้น โดยมีการเปลี่ยนวิถีดั้งเดิมของเกษตรกรให้เป็นเกษตรกรที่เต็มไปด้วยองค์ความรู้และเทคโนโลยี ทำให้ผลผลิตที่ได้จะต้องมีคุณภาพ กระบวนการปลูกต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมการเพาะปลูกอย่างใกล้ชิด เช่นเดียวกับฟาร์มอัจฉริยะ (Smart Farm) คือ ฟาร์มที่นำวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือ เพื่อให้เกิดความสะดวก

และง่ายต่อการจัดการ สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า เพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ช่วยลดต้นทุนการผลิต มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม นำไปสู่การแข่งขันระดับสูงขึ้นได้ การทำฟาร์มอัจฉริยะเป็นการทำเกษตรแบบควบคุมกับนวัตกรรมหนึ่งในระบบเกษตรอัจฉริยะที่นำมาใช้กันอย่างมากคือ ระบบน้ำอัตโนมัติ จากงานวิจัยของ นราธิป ทองปาน และธนาพัฒน์ เทียงภักดิ์ (2559) ได้ทำระบบรดน้ำอัตโนมัติผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย จากจากทดลองของเกษตรกร พบว่า ผลการวัดระยะของงานระบบรดน้ำอัตโนมัติแบบมีสิ่งกีดขวางโดยการส่งเปิด-ปิดวาล์วน้ำได้เมตร ระบบสามารถทำงานได้ ระยะการทำงานของระบบรดน้ำต้นไม้แบบไม่มีสิ่งกีดขวาง และผลการวัดค่าความชื้นของดิน โดยการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นที่ 10-80 แต่ถ้าความชื้นที่ 90 ขึ้นไป เซนเซอร์ไม่สามารถทำงานได้ และจากการทดลองใช้งานพบว่าเกษตรกรมีความพึงพอใจต่อการใช้ระบบรดน้ำอัตโนมัติผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

บัวบก (Asiatic pennywort, Gotu Kola) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Centella asiatica* (L.) Urb. อยู่ในวงศ์ Apiaceae (Umbelliferae) ชื่ออื่น ๆ ผักแว่น ผักนอก เป็นต้น บัวบกเป็นพืชเขตร้อน พบขึ้นทั่วไปตามที่สูงและ เป็นพืชล้มลุก อายุหลายปี ลำต้นเลื้อยไปตามพื้นดิน แตกรากฝอยตามข้อ ใบเดี่ยวเรียงสลับหรือออกเป็นกระจุก กระจุกละ 3-5 ใบ ใบรูปไตมีขอบใบหยัก ก้านใบยาวชูขึ้น ดอกสีม่วง ออกดอกเป็นช่อตามซอกก้านใบ ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด และปักชำไหล (นันทวัน บุญยะประภัสร์, 2542) บัวบกมีสารสำคัญคือ Asiatic acid, Medecassic acid, Madecassoside และ Asiaticoside ซึ่งใช้รักษาโรคผิวหนังและแก้แค้นร้อน ลวกได้ดี เป็นต้น สารเหล่านี้มักมีฤทธิ์ในการสมานแผล ทำให้แผลหายเร็ว นอกจากนี้ยังมีสารที่มีรสขม คือ vellarine รักษาโรคซิฟิลิส โรคเรื้อน ลดความดัน มีฤทธิ์ฝาด สมานแผลได้ดี และยังพบวิตามินซี มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุให้เกิดหนอง ฆ่าเชื้อรา และลดการอักเสบได้ดี (Chew at al. 2008) นอกจากนี้สารสกัดจากต้นมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางทำให้หนูใหญ่และหนูขาวสงบแต่ไม่มีผลระงับอาการปวด มีฤทธิ์รักษาแผลให้หายเร็ว โดยไม่พบพิษใด ๆ ในสัตว์ทดลองและยังมีสาร Triterpenes หลายชนิดซึ่งมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ (สิทธิพงษ์ พรอดมทรัพย์ และคณะ, 2566) จากข้อมูลงานวิจัยที่ได้ระบุถึงชนิดสารสำคัญและคุณสมบัติการออกฤทธิ์ ทำให้บัวบกถูกจัดให้เป็นหนึ่งในพืชสมุนไพรในงานสาธารณสุขมูลฐาน และเป็นตัวยาที่ใช้ในตำรับอายุรเวท และโดยทั่วไปก็นิยมรับประทานสดเป็นผักเครื่องเคียงกับอาหารต่าง ๆ และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น น้ำบัวบก ชาบัวบก บัวบกแคปซูล จึงถือได้ว่าบัวบกเป็นพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์ต่อร่างกายอย่างยิ่ง แต่การที่สมุนไพรจะก้าวสู่ตลาดโลกได้นั้น ต้องขึ้นอยู่กับคุณภาพของสมุนไพรชนิดนั้น ๆ เป็นหลัก ซึ่งต้องประกอบด้วยสิ่งสำคัญ คือ ปริมาณสารสำคัญในสมุนไพรต้องมีมากที่สุด และวัตถุดิบสมุนไพรจะต้องปลอดจากสารเคมีที่ปนเปื้อน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มผลผลิตให้แก่บัวบกได้เป็นอย่างมาก คือ การใส่ปุ๋ย โดยชนิดและอัตราปุ๋ยที่ใส่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบัวบกเป็นอย่างมาก รวมถึงปริมาณน้ำแสง และธาตุอาหารก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมคุณภาพของบัวบก

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง ผู้วิจัยกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยตามแนวคิด/ทฤษฎีของงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาเทคโนโลยีระบบฟาร์มอัจฉริยะแบบอัตโนมัติสำหรับปลูกบัวบกให้มีปริมาณสารสำคัญสูง โดยทำการทดลองตามมีวัตถุประสงค์ของดำเนินงานวิจัย ดังนี้

วิธีการดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีในการปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตบัวบกที่ไม่มีการปนเปื้อนสารพิษ และได้ผลผลิตบัวบกตามความต้องการของตลาดสารสกัดแห้ง มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1.1 การสร้างโรงเรือน โรงเรือนขนาด 4 x 12 เมตร แบบจั่ว 2 ชั้น หลังคาพลาสติก UV 7 % 200 ไมคอน มุ้งตาข่ายขนาด 32 ตา ภายในมีระบบลอกสำหรับดึงซาแรนสีดำพรางแสง 50 % โดยมีความสูง 2.5 เมตร และมีระดับความเข้มแสงประมาณ 360.5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ หรือใกล้เคียง อุณหภูมิ 30 - 35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 70 - 85 % ติดตั้งระบบน้ำ 2 แบบ คือ ระบบมินิสปริงเกอร์ หัวแบบร่ม อัตราการจ่ายน้ำ อัตราการให้น้ำ 90 มิลลิลิตรต่อนาที และติดตั้งหัวพ่นหมอก เพื่อช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน ควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ

1.2 การพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนบัวบกอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IOT ใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนโค้ดเพื่อควบคุมอุปกรณ์สร้างระบบตามการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกบัวบก และออกแบบสวนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (GUI) และทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบโดยสถาปัตยกรรมของระบบ โรงเรือนอัตโนมัติประกอบด้วย 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 On Cloud ประกอบด้วย Server 3 ตัว คือ

- NetPie server จะรับข้อมูล On Ground จาก Arduino ในโรงเรือน
- Xiaomi Camera Server ถ่ายภาพการเติบโตบัวบกในแปลง
- Ai Server ใช้ข้อมูลจาก NetPie server และ Xiaomi Camera Server มาประมวลผลสร้าง

โมเดลปัญญาประดิษฐ์และควบคุมในโรงเรือนบัวบก

ส่วนที่ 2 On Gound Arduino ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบโดยต่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ วัดความชื้นในดินและในอากาศด้วยเซ็นเซอร์วัดความชื้น ความแห้งในดินและเชื่อมต่อกับวงจรปัดตุการทำงาน ของระบบแบบเรียลไทม์ และ Arduino ต่อกับเครื่องพ่นหมอก และเครื่องรดน้ำอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้ออกแบบ Use Case ของระบบ ตาม Use case คือ 1) Monitor เป็นส่วนที่แสดงผลของสถานะของ อุณหภูมิ ความชื้นความสว่างของแสง และสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์ ต่างๆ ซึ่งเป็น การแสดงผลแบบ Real Time 2) การควบคุม อัตโนมัติ (Auto Control) เป็นการทำงาน ได้ด้วยตัวเอง โดยรับค่า จากเซ็นเซอร์และภาพที่ถ่ายมาประมวลผลรวมกันกับปัญญาประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น เพื่อสั่งให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ทำงาน 3) การควบคุมแมนนวล (Manual) เป็นการควบคุมโดยผู้ใช้งาน เช่น การเปิดหรือปิดระบบ ปมน้ำ และระบบหมอก

วิธีการดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อศึกษาหาคุณภาพของใบบวบที่ปลูกในโรงเรือนอัจฉริยะในระบบอินทรีย์ ได้แก่ บักบกที่ไม่มีสารปนเปื้อน สารสกัดบวบที่มีการออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดี และปริมาณสาร Asiaticoside การวิจัยนี้เป็นเชิงทดลอง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

2.1 วางแผนการทดลอง การทดลองนี้จะทดสอบบวบ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นครปฐม พันธุ์อุบลราชธานี พันธุ์ระยอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Split plot in CRD จำนวน 2 ซ้ำ โดยมีสิ่งทดลอง ดังนี้ ปัจจัยหลัก คือ พันธุ์ปลูกบวบ ได้แก่ พันธุ์นครปฐม พันธุ์อุบลราชธานี พันธุ์ระยอง ปัจจัยรอง คือ การใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยตามคำแนะนำเกษตรกร (ครั้งที่ 1 หลังปลูก 15 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่, ครั้งที่ 2 หลังปลูก 30 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 3 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 3 หลังปลูก 45 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่) ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนรวมอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ (ฉีดพ่นชีวมิคอัตรา 1:1000 ทุก ๆ 15 วัน หลังปลูก)

2.2 การทำแปลงทดลอง ทำแปลงทดลองขนาด 1x1.5x0.3 เมตร ด้วยอิฐประสาน พรวนดินและเติมดินใหม่เติมแปลง ปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์อัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ (ตามคำแนะนำผลการวิเคราะห์ดินของกรมพัฒนาที่ดิน) หมักดินทิ้งไว้ 7 วัน ใส่ปุ๋ยตามสิ่งทดลอง หมักดินทิ้งไว้ 1 เดือน และพรวนดินทุก ๆ 7 วัน ระหว่างการหมักดินจะรดน้ำทุก ๆ 2 วัน ติดตั้งระบบน้ำแบบมินิสปริงเกอร์ หัวแบบร่ม รัศมี 1.5 เมตร เปิดน้ำ 3 เวลา เวลาละ 2 นาที (8.30 12.00 และ 16.30 น.) ในช่วงแรก หลังจากนั้นระบบน้ำจะถูกสั่งจ่ายโดยระบบ IOT ที่ได้ติดตั้งไว้

2.3 การปลูกและการดูแล ย้ายกล้าบวบแต่ละพันธุ์ที่มีอายุ 45 วัน ลงแปลง ระยะปลูก 1 X 15 เซนติเมตร ซึ่งได้รับพันธุ์มาจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิชิตร์ เป็นแปลงรวบรวมพันธุ์ที่พบในประเทศ มีการให้น้ำแบบอัตโนมัติ และกำจัดโรคและแมลงด้วยสารชีวภัณฑ์ ได้แก่ เชื้อราไตรโคเดมา (*Trichoderma harzianum*) สำหรับกำจัดโรคพืช และบีที (*Bacillus thuringiensis*) กำจัดหนอนกระทู้

2.4 การบันทึกข้อมูล

2.4.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของใบบวบแต่ละพันธุ์ สุ่มเก็บตัวอย่างบวบหลังจากย้ายปลูกลงแปลงได้ 60 วัน จำนวน 20 ต้นต่อแปลง เพื่อนำมาบันทึกเส้นผ่าศูนย์กลางใบ ความยาวใบ และความยาวไหล

2.4.2 วิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนจากโลหะหนักที่ตกค้างในบวบ โดยสุ่มตัวอย่างบวบที่อายุ 60 วัน หลังย้ายปลูก เก็บตรงกลางแปลงพื้นที่ 1 ตารางเมตร นำบวบที่ได้ใช้ทั้งใบและก้าน นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง และนำไปเตรียมสารสกัดบวบโดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีที่พัฒนาโดย Chow et al. (1995) นำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์สารปนเปื้อนโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและเหล็ก ไปสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะมาตรฐานแต่ละชนิด หาความสัมพันธ์ที่แสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ($Y = mX \pm C$) จากสมการเส้นตรงที่คำนวณได้ เมื่อนำค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่วัดได้จากตัวอย่าง บวบสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแต่ละชนิด มาคำนวณเปรียบเทียบกับสมการเส้นตรงดังกล่าว จะสามารถคำนวณเป็นค่าปริมาณโลหะที่ทำการศึกษาในตัวอย่างบวบได้



2.4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ หลังย้ายปลูก เก็บตรงกลางแปลงพื้นที่ 1 ตารางเมตร นำบัวบกที่ได้ใช้ทั้งใบและก้าน นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง มาวิเคราะห์หาการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งประกอบด้วย 4 วิธี ดังนี้

1) การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ใช้วิธี Folin-Ciocalteu's assay ซึ่งดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Namjooyan et al. (2010) เมื่อได้สารละลายบัวบก นำสารละลายที่เตรียมได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่างน้ำหนักแห้ง 1 กรัม (mgGAE/g DW)

2) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (DPPH radical scavenging assay) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Singh et al. (2002) และวิธี ABTS (ABTS radical scavenging assay) เมื่อได้สารละลายนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารตัวอย่าง (As) มาคำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของเมทานอลที่เป็นหลอดควบคุม (Ac) ซึ่งแสดงค่าร้อยละการยับยั้งคำนวณได้จากสมการ $\% \text{ inhibition} = [(Ac-As) \div Ac] \times 100$

3) การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ดัดแปลงจากวิธีของ Thaipong et al. (2006) โดยเตรียมสารละลาย ABTS เมื่อได้สารละลายนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารตัวอย่าง (As) มาคำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของเมทานอลที่เป็นหลอดควบคุม (Ac) ซึ่งแสดงค่าร้อยละการยับยั้ง คำนวณได้จากสมการ $\% \text{ inhibition} = [(Ac-As) \div Ac] \times 100$

4) การทดสอบปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ การวิเคราะห์หาปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Rafamantanana et al. (2009) นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ไป วิเคราะห์ปริมาณเอเชียติโคไซด์ด้วยเครื่อง HPLC (high performance liquid chromatography)

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางชีวภาพเพื่อหาค่าความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยแต่ละตำหรับการทดลองในแต่ละฤดูกาลโดยใช้ค่า F-test โดยวิธี Least-Significant Difference (LSD)

สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

ทำการทดลองที่แปลงเกษตรกรปลูกบัวบก ตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2566 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567

ผลการวิจัย

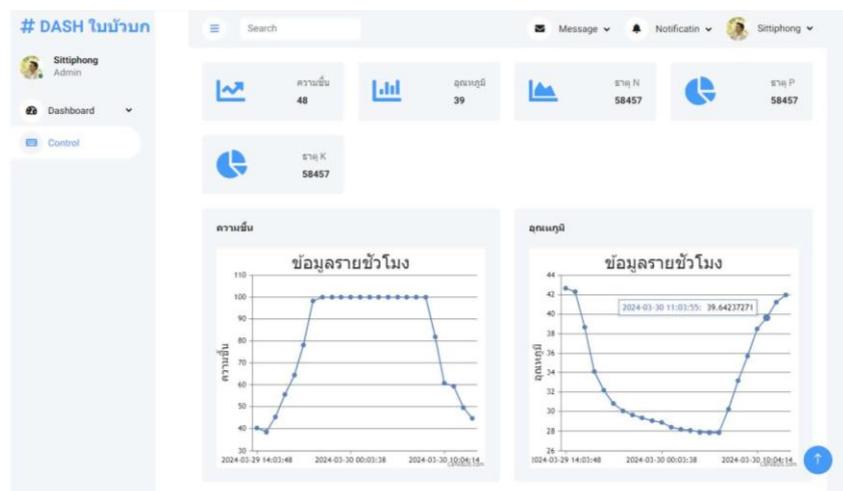
วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีในการปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตบัวบกที่ไม่มีการปนเปื้อนสารพิษ และได้ผลผลิตบัวบกตามความต้องการของตลาดสารสกัดแห้ง มีผลการทดลองดังนี้

จากการออกแบบระบบ มีชุดเซนเซอร์ที่วัดในโรงเรือน ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดแสงความเข้มแสง Ambient Light lux Sensor(BH1750FVI) จำนวน 3 ชุด, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (AM2302) จำนวน 3 ชุด เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของดิน Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2 จำนวน 3 ชุด วัดความถี่ทุก 1 นาที วัด ทั้งหมด 3 จุด ดังภาพที่ 1 ระบบที่พัฒนาขึ้นเชื่อมต่อกับ NetPie server เชื่อมต่อสื่อสารในรูปแบบอินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสรรพสิ่ง ซึ่งพัฒนาโดยศูนย์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และผู้วิจัยได้ทำการดึงข้อมูลจาก NetPie server มาแสดงที่ AI server ดังภาพที่ 2 และ AI server ทำงานร่วมกับ Xiaomi Camera Server นำภาพจากใบบัวบกในโรงเรือน ให้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น พยากรณ์ภาพใบบัวบก ขนาดใบเล็ก ใบกลาง และใบใหญ่ เพื่อกำหนด Profile ในการกำหนด

อุณหภูมิ ความชื้นที่เหมาะสมกับใบบัวบก โดยสามารถกำหนดการทำงานให้อัตโนมัติ หรือผู้ใช้สามารถสั่งการควบคุมปมน้ำและระบบหมอก เมื่ออุณหภูมิ ภายในโรงเรือนสูงกว่ากำหนด เกิน 35 องศาเซลเซียส จะทำการสั่งให้ระบบหมอกทำงาน หรือเมื่อความชื้นในดินต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จะทำการสั่งให้ระบบปมน้ำทำงาน ในการทดสอบมีการปลูกบัวบก 3 ถาด พบว่า ในฤดูหนาวมีอุณหภูมิอยู่ที่ 23 – 27°C ความชื้นในดิน 70.00 เปอร์เซ็นต์ ถาดร้อนมีอุณหภูมิอยู่ที่ 31.33 – 33.77°C ความชื้นในดิน 55.55 เปอร์เซ็นต์ และฤดูฝนมีอุณหภูมิอยู่ที่ 29.64 – 31.48°C ความชื้นในดิน 70.00 เปอร์เซ็นต์ จึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการปลูกนอกโรงเรือน



ภาพที่ 1 ระบบควบคุมพร้อมเซ็นเซอร์ในโรงเรือน



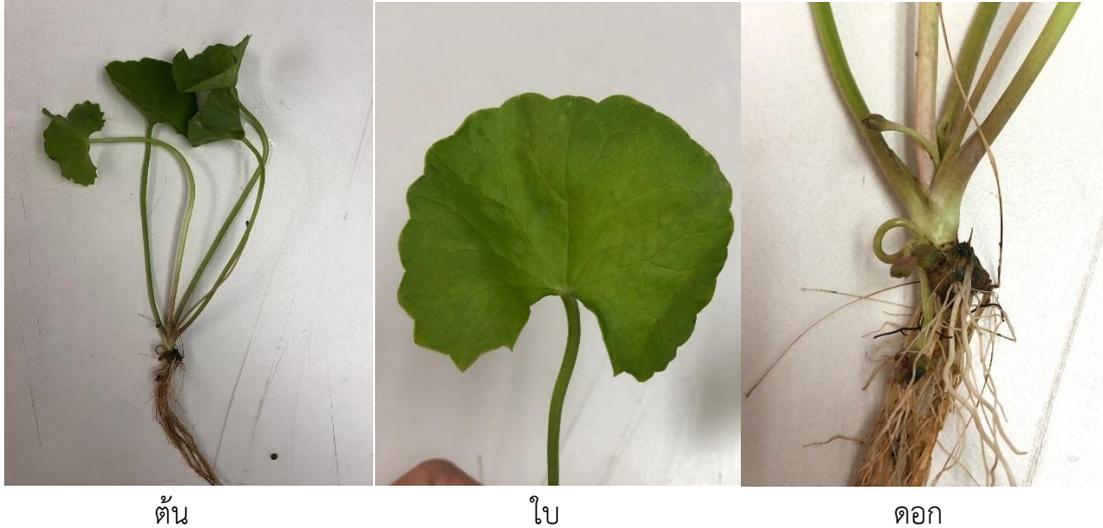
ภาพที่ 2 ข้อมูลจาก NetPie server แสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อศึกษาหาคุณภาพของใบบัวบกที่ปลูกในโรงเรือนอัจฉริยะในระบบอินทรีย์ ได้แก่ บักบกที่ไม่มีสารปนเปื้อน สารสกัดบัวบกที่มีการออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดี และปริมาณสาร Asiaticoside มีผลการทดลองดังนี้

1. ลักษณะสัณฐานวิทยาของใบบัวบกแต่ละพันธุ์

ในการทดลองครั้งนี้ ได้รับพันธุ์มาจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิจิตร ซึ่งเป็นแปลงรวบรวมพันธุ์ที่พบในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์นครปฐม พันธุ์อุบลราชธานี และพันธุ์ระยอง จากการปลูกทดลอง พบว่า ทั้ง 3 พันธุ์มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน ดังนี้

พันธุ์นครปฐม ใบเดี่ยว คล้ายรูปไต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบเฉลี่ย 5.34 เซนติเมตร ขอบใบหยักเล็กน้อย ตรงรอยหยักมีลักษณะปลายโค้ง โคนใบเว้าเล็กน้อย ก้านใบสีเขียวอมม่วงยาวเฉลี่ย 17.84 เซนติเมตร ช่อดอกเป็นแบบร่มออกที่ซอกใบ จำนวน 2-3 ช่อ ดอกอยู่รวมกัน 2-5 ดอก/ช่อ ใหลสีเขียว ความยาวใหลเฉลี่ย 11.12 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3



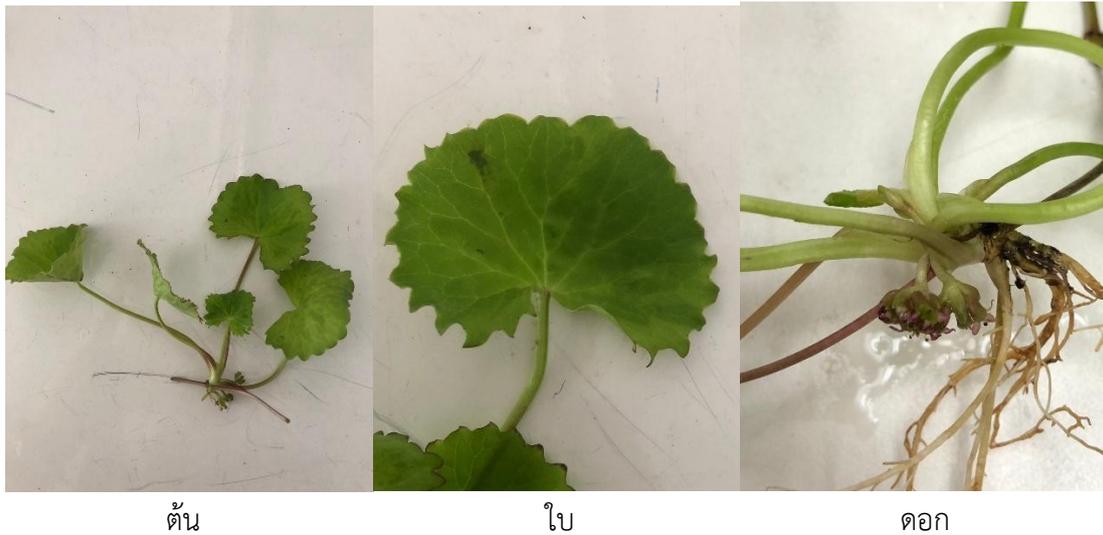
ภาพที่ 3 ลักษณะต้น ใบ และดอก บัวบกพันธุ์นครปฐม

พันธุ์อุบลราชธานี ใบเดี่ยว คล้ายรูปไต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบเฉลี่ย 6.93 เซนติเมตร ขอบใบหยักเล็กน้อย ตรงรอยหยักมีลักษณะปลายแหลม โคนใบขนานกับใบ ก้านใบสีเขียวยาวเฉลี่ย 23.07 เซนติเมตร ส่วนติดกับโคนต้นมีสีน้ำตาลอมม่วง ช่อดอกออกที่ซอกใบ จำนวน 3 ช่อ ดอกอยู่รวมกัน 2-3 ดอก/ช่อ ก้านช่อดอกยาวเฉลี่ย 1.50 เซนติเมตร ใหลสีเขียวอ่อน ความยาวใหลเฉลี่ย 16.72 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ลักษณะต้น ใบ และดอก บัวบกพันธุ์อุบลราชธานี

พันธุ์ระยอง ใบเดี่ยว คล้ายรูปไต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบเฉลี่ย 5.11 เซนติเมตร ขอบใบหยักเล็กน้อย โคนใบเว้าเล็กน้อย ก้านใบยาวเฉลี่ย 5.84 เซนติเมตร ก้านใบส่วนติดกับใบมีสีเขียว ส่วนติดกับโคนต้นสีน้ำตาลอมม่วง ช่อดอกออกที่ซอกใบจำนวน 3 ช่อ มีจำนวน 2-5 ดอก/ช่อ ใหลสีเขียวอมม่วง ความยาวใหลเฉลี่ย 12.75 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ลักษณะต้น ใบ และดอก บัวบกพันธุ์ระยอง

เมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาบางอย่างของบัวบกแต่ละพันธุ์พบว่า ลักษณะใบ สีก้านใบ ลักษณะช่อดอกของแต่ละพันธุ์ มีลักษณะทางสัณฐานวิทยา เหมือนกับการศึกษาของ อนันต์ พิริยะภัทรกิจ และคณะ (2562) การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของบัวบกแต่ละสายพันธุ์ที่เก็บรวบรวมจาก 12 จังหวัด แต่สิ่งที่ต่างกันคือ ความยาวของก้านใบ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการแปลงปลูก และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ต่างกัน จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโต พบว่า ใบบัวบกทั้ง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในการทดลองนี้ มีการเจริญเติบโตที่ ดีกว่า มีความยาวก้านใบ เส้นผ่านศูนย์กลางใบ และความยาวของไหลมากกว่า ดังตารางที่ 1

พันธุ์	เส้นผ่านศูนย์กลางใบ		ความยาวก้านใบ	ความยาวไหล (cm)
	(cm)	(cm)		
นครปฐม	5.34	17.84	11.12	
อุบลราชธานี	6.93	23.07	16.72	
ระยอง	5.11	5.84	12.75	

2. ปริมาณสารปนเปื้อนจากโลหะหนักที่ตกค้างในบัวบก

ผลการวิเคราะห์สารปนเปื้อนโลหะหนักพบว่าจากตัวอย่างบัวบกที่ปลูกในระบบโรงเรือนอัจฉริยะตรวจพบโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานการปนเปื้อนเนื่องจากปริมาณตะกั่วและอื่น ๆ หากเปรียบเทียบกับมาตรฐานทั่วไปของ Thai Herbal Pharmacopoeia (Thai Herbal Pharmacopoeia Volume 1, 0, 1998 2000) ที่กำหนดไว้ว่าสมุนไพรรวมโดยทั่วไปไม่ควรมียุทธศาสตร์สูงมากกว่า 10 ไมโครกรัม/กรัม (Cu, Zn) ปลูกในร่ม มีค่าเท่ากับ $0.273 \pm 0.0009, 13.194 \pm 0.0109$ ตามลำดับ (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98, 2529) ตามมาตรฐานระบุว่าต้องมีปริมาณทองแดงและสังกะสีไม่ควรมากกว่า 20 และ 100 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ (Fe) สำหรับปริมาณเหล็กยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานใด ๆ ดังตารางที่ 2 จึงไม่ได้ทำการเปรียบเทียบในที่นี้ และปริมาณเหล็กในตัวอย่างบัวบกจะมีปริมาณที่สูงมากกว่าโลหะตัวอื่น ๆ เมื่อพิจารณากระบวนการปลูกแบบเคมีและอินทรีย์ พบว่า บัวบกทุกพันธุ์ที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ มีสารปนเปื้อนโลหะหนักน้อยกว่าการปลูกที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ ทั้งนี้คุณสมบัติของถ่านชีวภาพมีรูพรุนจำนวนมากและมีขนาดเล็ก มีค่าการดูดซับที่สูง เมื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน จะดูดซับสารพิษและโลหะหนักไว้ ส่งผลให้ไม่มีการสะสมหรือสะสมในผลผลิตน้อยกว่าแปลงที่ไม่มีการใส่ถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 2 แสดงผลวิเคราะห์สารปนเปื้อนโลหะหนักในบัวบก (ไมโครกรัม/กรัม)

พันธุ์ปลูก	การจัดการปุ๋ย	ทองแดง Cu ^b	เหล็ก Fe ^c	ตะกั่ว Pb ^a	สังกะสี Zn ^b
นครปฐม	ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	0.72	12.27	0.55	12.70
นครปฐม	ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	0.82	13.11	0.61	11.93
อุบลราชธานี	ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	1.94	13.85	0.51	13.15
อุบลราชธานี	ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	0.70	11.11	0.61	12.66
ระยอง	ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	1.13	14.84	0.50	15.60
ระยอง	ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	1.70	14.61	0.26	11.11

^a(Pb) ตามมาตรฐานทั่วไปของ Thai Herbal Pharmacopoeia Volume I, I (1998, 2000) กำหนดไว้ไม่เกินกว่า 10 ไมโครกรัมต่อกรัม

^b(Cu,Zn) ตามมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98, 2529. กำหนดไว้ว่าต้องมีปริมาณทองแดงและสังกะสีไม่เกินกว่า 20 และ 100 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ

^c(Fe) ยังไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับปริมาณเหล็กในสมุนไพรหรืออาหาร

3. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในบัวบก

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) การศึกษาพันธุ์บัวบกต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ปลูกในแต่ละฤดู พบว่า พันธุ์ระยอง มีการผลิตสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าทุกพันธุ์ และมีมากที่สุดที่ปลูกในฤดูร้อน 10.59 mgGAE/g DW การจัดการปุ๋ย พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ เกษตรกร และปลูกในฤดูร้อน มีการผลิตสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ซึ่งสอดคล้องกับพันธุ์ (ตารางที่ 3)

ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoids) การศึกษาพันธุ์บัวบกต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดที่ปลูกในแต่ละฤดู พบว่า พันธุ์ระยอง มีการผลิตสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงกว่าทุกพันธุ์ และมีมากที่สุดที่ปลูกในฤดูร้อน 105.38 mgQEC/g DW การจัดการปุ๋ย พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ที่ปลูกในฤดูร้อนมีการผลิตสารประกอบฟลาโวนอยด์ 105.57 mgQEC/g DW สูงกว่าใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำเกษตรกร ซึ่งสอดคล้องกับพันธุ์ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของพันธุ์บัวบกและการจัดการปุ๋ยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

ปัจจัย	Total Flavonoids					
	Total Phenolic (mgGAE/g DW)			(mgQEC/g DW)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
นครปฐม	5.30	7.47 b	2.18 b	58.85	104.23 a	33.88 b
อุบลราชธานี	4.62	6.43 b	2.06 b	56.88	90.74 b	26.69 c
ระยอง	5.08	10.59 a	2.389 a	56.74	105.38 a	37.45 a
F-test	ns	**	**	ns	**	**
ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	4.72 b ^{1/}	9.01 a	3.17 a	62.63 a	94.67 b	35.89 a

ปัจจัย	Total Flavonoids (mgQEC/g DW)					
	Total Phenolic (mgGAE/g DW)			Total Flavonoids (mgQEC/g DW)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	5.27 a	7.32 b	1.58 b	52.11 b	105.57 a	29.45 b
F-test	*	**	**	*	**	**
AxB	*	*	**	*	**	**
C.V. (%)	9.20	8.87	7.97	2.28	0.09	2.77

หมายเหตุ ^{1/}ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

4.ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การศึกษาพันธุ์ใบบัวบกต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ที่ปลูกในแต่ละฤดู พบว่า พันธุ์ระยะงอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าทุกพันธุ์ และมีค่า IC50 มากที่สุดที่ปลูกในฤดูฝน 4.73 การจัดการปุ๋ย พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำเกษตรกร มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน และปลูกในฤดูร้อน มีค่า IC50 4.61 (ตารางที่ 4)

5.ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS

การศึกษาพันธุ์ใบบัวบกต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ที่ปลูกในแต่ละฤดู พบว่า พันธุ์ระยะงอกที่ปลูกในฤดูร้อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าทุกพันธุ์ และมีค่า IC50 มากที่สุด 9.20 การจัดการปุ๋ย พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำเกษตรกร ที่ปลูกในฤดูร้อน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน และมีค่า IC50 มากที่สุด 9.87 (ตารางที่ 4)

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่า พันธุ์ระยะงอกที่ปลูกในฤดูร้อนมีฤทธิ์การยับยั้งที่ดีกว่าการปลูกในฤดูอื่น ทั้งนี้เพราะระบบการปลูกในโรงเรือนที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมในหมดสมกับการเจริญเติบโตของบัวบก ส่งผลให้มีการสร้างสารสำคัญต่าง ๆ ออกมาในปริมาณที่สูง จึงมีฤทธิ์ในการยับยั้งกระบวนการทางชีวภาพหรือชีวเคมีที่มากกว่า

ค่า IC50 (Inhibitory Concentration 50%) คือ ความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการยับยั้งกระบวนการทางชีวภาพหรือชีวเคมีที่เฉพาะเจาะจงได้ 50% เป็นการวัดประสิทธิภาพและความแรงของสารยับยั้ง เช่น ยา ว่าต้องใช้มากเท่าใดจึงจะลดประสิทธิภาพของกระบวนการนั้นลงครึ่งหนึ่ง ยิ่งค่า IC50 ต่ำ แสดงว่าสารนั้นมีฤทธิ์แรงกว่า เพราะต้องใช้ปริมาณน้อยกว่าในการยับยั้งเป้าหมายได้ 50% ในบัวบก ถ้าบริโภคหรือนำมาสกัดมาใช้ในการผลิตยาและเครื่องสำอาง เพียงใช้ปริมาณผลผลิตแห้งที่น้อย สามารถมีฤทธิ์ยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ ได้ดีกว่าการใช้สารตั้งต้นในปริมาณที่สูง

ตารางที่ 4 ผลของพันธุ์ใบบัวบกและการจัดการปุ๋ยต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS

ปัจจัย	DPPH (IC50)			ABTS (IC50)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
นครปฐม	4.51 c ^{1/}	5.36 a	5.45 a	11.00 c	13.37 a	14.77 a
อุบลราชธานี	5.46 a	4.50 b	5.36 b	17.70 a	12.05 b	14.13 b
ระยอง	4.93 b	4.48 c	4.73 c	14.45 b	9.20 c	10.75 c
F-test	**	**	**	**	**	**
ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	4.68 b	4.61 b	4.75 b	13.74 b	9.87 b	11.88 b
ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	5.25 a	4.95 a	5.62 a	15.06 a	13.20 a	14.55 a
F-test	**	**	**	**	**	**
AxB	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	0.58	0.08	0.83	1.25	0.04	0.25

หมายเหตุ ^{1/}ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

6. ปริมาณสารเอเชียติโคไซด์

การศึกษาพันธุ์บัวบกต่อปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ที่ปลูกในแต่ละฤดู พบว่า พันธุ์ระยองมีปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ที่ปลูกในฤดูฝนมีปริมาณมากที่สุด 34.48 % ซึ่งมีเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 3 % และทุกพันธุ์มีปริมาณสารที่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด และสอดคล้องกับ ประพนอม ใจอ้าย (2556) ที่ทำการศึกษาปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ในบัวบกแต่ละพันธุ์ พบว่า พันธุ์ระยองมีปริมาณสารมากที่สุด แต่ยังมีปริมาณที่น้อยกว่าที่ปลูกในระบบโรงเรือนของการทดลองนี้ การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีผลต่อการสร้างสารสำคัญในพืชในการทดลองพบว่า ฤดูฝนมีการผลิตสารมากกว่าฤดูอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการปลูกในระบบโรงเรือนที่เป็นแบบปิด ใบบัวบกไม่ได้รับน้ำฝนโดยตรง จึงมีการสะสมปริมาณสารที่มาก แต่ในงานวิจัยของ Alqahtani et al. (2011) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงฤดูกาล ส่งผลต่อปริมาณสาร phenolic compounds ในบัวบก พบว่าในฤดูหนาวช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ส่งผลต่อปริมาณ Triterpenes 4 ชนิด ได้แก่ Madecassoside Asiaticoside Madecassic acid และ Asiatic acid สูงสุด และพบว่าสารต่ำสุดคือช่วงฤดูฝนในเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ทั้งนี้เพราะปลูกนอกโรงเรือน ซึ่งปริมาณน้ำสะสมในใบเยอะจึงส่งผลให้มีปริมาณสารสำคัญที่น้อยกว่าการปลูกในโรงเรือน ส่วนผลของการจัดการปุ๋ยต่อปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ พบว่า การปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ที่ปลูกในช่วงฤดูฝนให้ปริมาณสารเอเชียติโคไซด์มากที่สุดคือ 32.20 % (ตารางที่ 5) มีปริมาณที่มากกว่าการปลูกแบบไม่ใช้ดินในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่พบสารเพียง 1.69 % (อุทัยวรรณ ททรัพย์แก้ว และคณะ, 2566) ทั้งนี้เนื่องจากในปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนมีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สูง ซึ่งส่งผลในการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้มีการสะสมสารตั้งต้นในการผลิตสารสำคัญได้ เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วม พบว่า ฤดูฝนมีปริมาณสารมากที่สุด พันธุ์อุบลราชธานีที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน 39.63 % (ตารางที่ 6) จากการศึกษาพบว่า ถ้าต้องการพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง และมีการผลิตสารสำคัญสูงสามารถใช้พันธุ์อุบลราชธานี แต่ถ้าต้องการปริมาณสารสูงควรปลูกพันธุ์ระยอง เพราะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงที่สุด

ตารางที่ 5 ผลของพันธุ์ใบบัวบกและการจัดการปุ๋ยต่อปริมาณสารเอเชียติโคไซด์

ปัจจัย	% of Asiaticoside		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
นครปฐม	11.24 b ^{1/}	15.05 b	29.24 c
อุบลราชธานี	24.01 a	13.35 c	31.09 b
ระยอง	11.18 b	19.84 a	34.48 a
F-test	**	**	**
ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	18.57 a	19.11 a	31.02 b
ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	12.41 b	13.05 b	32.20 a
F-test	**	**	**
AxB	**	**	**
C.V. (%)	4.16	7.7	1.04

หมายเหตุ ^{1/}ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6 อิทธิพลร่วมของพันธุ์ใบบัวบกและการจัดการปุ๋ยต่อปริมาณสารเอเชียติโคไซด์

ปัจจัย		% of Asiaticoside		
พันธุ์	การปลูก	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
นครปฐม	ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	13.49 c ^{1/}	15.82 b	35.12 b
นครปฐม	ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	9.04 d	14.28 b	23.67 d
อุบลราชธานี	ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	28.01 a	16.14 b	22.57 e
อุบลราชธานี	ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	19.97 b	10.57 c	39.63 a
ระยอง	ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	14.16 c	25.38 a	35.37 b
ระยอง	ใส่ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน	8.21 d	14.31 b	33.59 c
F-test		**	**	**
C.V. (%)		4.16	7.7	1.04

หมายเหตุ ^{1/}ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ในใบบัวบกแต่ละพันธุ์ที่ปลูกในโรงเรือนแล้ว ยังทำการเปรียบเทียบปริมาณสารของบัวบกที่ปลูกนอกโรงเรือนที่ไม่มีการพรางแสง ในการทดลองนี้ใช้พันธุ์นครปฐม เนื่องจากมีการปลูกมากในภาคกลาง จากการศึกษพบว่า บัวบกที่ปลูกในฤดูฝนมีปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ที่มากกว่าการปลูกในฤดูหนาว ส่วนในฤดูร้อน พบว่า บัวบกที่ปลูกนอกโรงเรือนตาย เพราะสภาพอากาศที่ร้อน ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การปลูกบัวบกนอกโรงเรือนใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน มีปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ (35.82 %) สูงกว่าที่ปลูกในโรงเรือนใส่ปุ๋ยเคมีและอินทรีย์ ทั้งนี้

เนื่องจากในช่วงที่เก็บบัวบกมาวิเคราะห์นั้นตรงกับเดือนมิถุนายน ในช่วงนั้นฝนทิ้งช่วงเป็นเวลา 2 อาทิตย์ หลังจากปลูกได้ 2 เดือน จึงส่งผลให้พืชอยู่ในสภาวะเครียด ส่งผลให้มีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระที่สูง จึงส่งผลให้มีการสร้างสารเอเชียติโคไซด์สูงขึ้นด้วย (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ที่ปลูกในโรงเรือนและนอกโรงเรือน

การจัดการ		% of Asiaticoside	
		ฤดูหนาว	ฤดูฝน
ปลูกในโรงเรือน	ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	13.49 a ^{1/}	35.12 b
ปลูกในโรงเรือน	ใส่ปุ๋ยอินทรีย์	9.04 b	23.37 d
ปลูกรอกโรงเรือน	ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ	5.60 d	26.49 c
ปลูกรอกโรงเรือน	ใส่ปุ๋ยอินทรีย์	7.59 c	35.82 a
F-test		*	*
C.V. (%)		3.52	1.02

หมายเหตุ ^{1/}ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

อภิปรายผล

งานวิจัยการพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนใบบัวบกอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และการจำแนกใบบัวบกโดยการเรียนรู้เชิงลึกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกใบบัวบก สามารถดูข้อมูลจากโรงเรือนผ่านเซ็นเซอร์ อุณหภูมิและความชื้นในดินและอากาศ และธาตุ N P K สามารถกำหนด เปิด ปิด ป้อนน้ำ ระบบหมอก และควบคุมผ่านโมเดลปัญญาประดิษฐ์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านฮาร์ดแวร์ โดยเลือกใช้เทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสรรพสิ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (รัตติกานต์ วิบูลย์พานิช, 2560) โมดูลควบคุมการให้น้ำ โดยใช้ปั๊มน้ำ เป็นส่วนงานที่ทำงานโดยอัตโนมัติผ่านระบบคลาวด์ สามารถใช้ในการปลูกพืชได้ดี และจากการนำระบบโรงเรือนอัจฉริยะมาใช้ในการปลูกบัวบก พบว่าการจัดการดินและปุ๋ยในการปลูกใบบัวบกแต่ละพันธุ์ที่ปลูกทั้งแบบใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี พบว่า การปลูกใบบัวบกในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยใช้ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินกรดจัด ส่งผลให้ดินมีสมบัติทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ดี และทำให้ใบบัวบกทุกพันธุ์ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีกว่า โดยพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดีที่สุดคือ พันธุ์อุบลราชธานี และเมื่อวิเคราะห์สารตกค้างในกลุ่มของยากำจัดศัตรูพืช ไม่พบสารตกค้างในใบ และดินไม่มีปริมาณโลหะหนักเกินค่ามาตรฐาน ส่วนสารสำคัญในใบบัวบก พบว่า ใบบัวบกที่ปลูกในระบบอินทรีย์ มีสารสำคัญสูงกว่าปลูกแบบเคมี และพันธุ์ที่ให้สารสำคัญมากที่สุดคือ พันธุ์ระยอง และปริมาณสาร Asiaticoside ของใบบัวบกนั้น พบว่า เมื่อนำไปวิเคราะห์มีปริมาณที่เกินค่ามาตรฐาน 3 % ทุกพันธุ์ ดังนั้น ถ้าจะส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกใบบัวบกที่ปลอดภัยจากสารตกค้างและปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ สามารถส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกได้ทุกพันธุ์ แต่ถ้าเน้นผลผลิตและความทนต่อฤดูปลูก ควรปลูกพันธุ์อุบลราชธานี ที่ให้ผลผลิตมากที่สุด และมีปริมาณสารที่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีผลต่อการสร้างสารสำคัญในพืช ในการทดลองพบว่า ฤดูฝนมีการผลิตสารมากกว่าฤดูอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการปลูกในระบบโรงเรือนที่เป็นแบบปิด ใบบัวบกไม่ได้รับน้ำฝนโดยตรง

จึงมีการสะสมปริมาณสารที่มาก แต่ในงานวิจัยของ Alqahtani *et al.*, (2011) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงฤดูกาล ส่งผลต่อปริมาณสาร phenolic compounds ในบัวบก พบว่าในฤดูหนาวช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ส่งผลต่อปริมาณ Triterpenes 4 ชนิด ได้แก่ Madecassoside Asiaticoside Madecassic acid และ Asiatic acid สูงสุด และพบว่าสารต่ำสุดคือช่วงฤดูฝนในเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ผลของการจัดการปุ๋ยต่อปริมาณสารเอเชียติโคไซด์ พบว่า การปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน ในช่วงฤดูฝน ให้ปริมาณสารเอเชียติโคไซด์มากที่สุดคือ 32.20 % มีปริมาณที่มากกว่าการปลูกแบบไม่ใช้ดินในระบบไฮโดรโปนิคส์ 1.69% (อุทัยวรรณ ทรัพย์แก้ว และคณะ, 2566) ทั้งนี้เนื่องจากในปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนมีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สูง ซึ่งส่งผลในการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้มีการสะสมสารตั้งต้นในการผลิตสารสำคัญได้

สรุป

การพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนใบบัวบกอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT จากการนำระบบโรงเรือนอัจฉริยะมาใช้ในการปลูกบัวบก พบว่าการจัดการดินและปุ๋ยในการปลูกบัวบกแต่ละพันธุ์ที่ปลูกทั้งแบบใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี พบว่า การปลูกใบบัวบกในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยใช้ปุ๋ยหมักถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินกรดจัด ส่งผลให้ดินมีสมบัติทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ดี และทำให้ใบบัวบกทุกพันธุ์ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีกว่า โดยพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดีที่สุดคือ พันธุ์อุบลราชธานี และเมื่อวิเคราะห์สารตกค้างในกลุ่มของยากำจัดศัตรูพืช ไม่พบสารตกค้างในใบ ส่วนสารสำคัญในบัวบก พบว่า บัวบกที่ปลูกในระบบอินทรีย์ มีสารสำคัญสูงกว่าปลูกแบบเคมี และพันธุ์ที่ให้สารสำคัญมากที่สุดคือ พันธุ์ระยอง และปริมาณสาร Asiaticoside ของใบบัวบกนั้น พบว่า เมื่อนำไปวิเคราะห์มีปริมาณที่เกินค่ามาตรฐาน 3 % ทุกพันธุ์ ดังนั้น ถ้าจะส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกใบบัวบกที่ปลอดภัยจากสารตกค้างและปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ สามารถส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกได้ทุกพันธุ์ แต่ถ้าเน้นผลผลิตและความทนต่อฤดูปลูก ควรปลูกพันธุ์อุบลราชธานี ที่ให้ผลผลิตมากที่สุด และมีปริมาณสารที่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้ การพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนใบบัวบกอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT มีข้อเสนอแนะงานวิจัยดังนี้

1. ควรปรับปรุงโรงเรือนให้มีเซนเซอร์ วัดค่าอื่น ๆ และศึกษาส่งผลต่อการเติบโตของใบบัวบกและสารสำคัญ
2. ควรทดลองพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ไปใช้ในการปลูกพืชชนิดอื่น ๆ และศึกษาผลต่อการเติบโตของใบบัวบก
3. ควรทดลองเปรียบเทียบกับวิธีรดน้ำธรรมชาติกับการใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อดูว่าวิธีใดง่ายกว่าเหมาะสมกว่า ประหยัดกว่า และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของใบบัวบกด้วย

เอกสารอ้างอิง

นราธิป ทองปาน และธนาพัฒน์ เทียงภักดี. (2559). ระบบรดน้ำอัตโนมัติผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.

วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม, 3(1), 35 – 43.

นันทวัน บุญยะประภัสร์. (2542). *สมุนไพรไม้พื้นบ้าน*. กรุงเทพฯ: ประชาชน.

ประนอม ใจอ้าย. (2556). *วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบัวบก*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.



- รัตติกานต์ วิบูลย์พานิช. (2560). การออกแบบตัวต้นแบบระบบโรงเรือนอัจฉริยะเพื่อส่งเสริมความ
สะดวกสบายให้กับผู้สูงอายุโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสรรพสิ่ง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย
นอร์ทกรุงเทพ.
- สุรพงษ์ อนุตธโต. (2566). การวิจัยพันธุ์บัวบกเพื่อเพิ่มผลผลิตและสารสำคัญ. พิจิตร: ศูนย์วิจัยและ
พัฒนาการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- อนันต์ พิริยะภัทรกิจ, พรกมล รูปเลิศ, กนกอร อัมพรายน์ และณัฐพงศ์ จันจุฬา. (2562). การศึกษาลักษณะ
สัณฐานวิทยาของบัวบกสายพันธุ์ต่าง ๆ. *Thai Journal of Science and Technology*, 8(1), 55 – 65.
- อนันต์ พิริยะภัทรกิจ, พชร เดชเลย์, พรกมล รูปเลิศ และปัญญาพัฒน์ พลพิมพ์. (2565). การเจริญเติบโตและ
ผลผลิตบัวบกจาก 5 แหล่งปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์. *วารสารวิชา*, 46(2), 128 – 140.
- อุทัยวรรณ ทรัพย์แก้ว ไกรสิงห์ชุตี เพ็ญจันทร์สุทธานุกูล และพงษ์รวี นามวงศ์. (2563). การเพิ่มศักยภาพการ
ผลิตบัวบกคุณภาพเพื่อเป็นพืชสมุนไพรปลอดสารพิษและโลหะหนัก. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- อุทัยวรรณ ทรัพย์แก้ว ไกรสิงห์ชุตี เพ็ญจันทร์สุทธานุกูล และพงษ์รวี นามวงศ์. (2566). การเพิ่มศักยภาพใ
บัวบกคุณภาพสูงเพื่อเป็นพืชสมุนไพรปลอดสารพิษและโลหะ. *วารสารเกษตรและการจัดการ*, 6(1),
69 – 78.
- อุทัยวรรณ ทรัพย์แก้ว. (2563). การเพิ่มศักยภาพการผลิตบัวบกคุณภาพเพื่อเป็นพืชสมุนไพรปลอดสารพิษ.
กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- Alqahtani A., Tongkao-on, W., Li, K. M., Razmovski-Naumovski, V., Chana, K. & and Lia, G. Q.
(2014). Seasonal variation of triterpenes and phenolic compounds in australian
Centella asiatica (L.) Urb. *Phytochem. Anal*, 26, 436-443.
- Chew, Y.L., Lim, Y.Y., Omar, M. & Khoo, K.S. (2008). Antioxidant activity of three edible seaweeds
from two areas in South East Asia. *LWT - Food Science and Technology*, 41(6), 1067-
1072, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.013>
- Srithongkul, J., Kanlayanarat, S., Srilaong, V., Uthairatanakij, A. & Chalermglin, P. (2011). Effects
of light intensity on growth and accumulation of triterpenoids in three accessions of
Asiatic pennywort (*Centella asiatica* (L.) Urb.). *Journal of Food, Agriculture &
Environment*, 2(1), 360-363.