ประเภทงานวิจัยประยุกต์

การเพิ่มศักยภาพการผลิตบัวบกคุณภาพเพื่อเป็นพืชสมุนไพรปลอดสารพิษ และโลหะหนัก

Production Capability Enhancemence on *Centella asiatica* Quality for Medicinal Plant Nontoxic and Heavy Metals

อุทัยวรรณ ทรัพย์แก้ว[1], พงษ์รวี นามวงศ์[2], เพ็ญจันทร์ สุทธานุกูล[1] และไกรสิงห์ ชูดี[1]

Uthaiwan Sapkaew[1], Pongrawee Namwong[2], Penchan Suthanukool[1] and Kraising Choodee[1]

บทคัดย่อ

บัวบก (*Centella asiatica* (Linn.) Urban) เป็นผักพื้นบ้านที่พบเห็นได้ทั่วไป และเป็นพืชสมุนไพรที่มีการใช้ประโยชน์ทางด้านเภสัชวิทยาอย่างมาก แต่พบว่าปริมาณสารสำคัญ และผลผลิตไม่คงที่เนื่องจากวัตถุดิบบัวบกมีความแปรปรวนจากฤดูกาลผลิต และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง รวมทั้งพบสารพิษตกค้าง และโลหะหนักที่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นสารสกัดมาตรฐานได้ จึงศึกษาการผลิตบัวบกในระบบโรงเรือนและการปลูกพืชไม่ใช้ดิน ภายใต้สภาพโรงเรือนแบบระบบกึ่งปิด เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตบัวบกให้มีคุณภาพสูง ปลอดจากสารพิษตกค้าง และโลหะหนัก โดยการเปรียบเทียบวัสดุปลูก และสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตบัวบกในระบบปลูกพืชที่ไม่ใช้ดิน วางแผนการทดลองแบบ split-plot จำนวน 4 ซ้ำ Main-plot ได้แก่ สูตรสารละลายธาตุอาหาร Enshi, Hoagland และสูตรการค้า A,B Sub-plot ได้แก่ วัสดุปลูกทรายหยาบ:ถ่านแกลบ อัตราส่วน 1:1 ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 ถ่านแกลบ:ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 เพอร์ไลท์ (Perlite): เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) 2:1 ผลการทดสอบพบว่า กรรมวิธีสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้า A,B ร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 ส่งผลต่อเจริญเติบโตบัวบก ปริมาณผลผลิต และปริมาณสาร Asiaticoside และ Madecassoside ของบัวบกมีแนวโน้มสูงกรรมวิธีอื่น ๆ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินกับเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกร พบว่าการผลิตบัวบกภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน บัวบกมีการเจริญเติบโต ความยาวไหล ปริมาณผลผลิต และปริมาณสาร Asiaticoside และ Madecassoside สูงกว่ากรรมวิธีเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญ และทั้งสองกรรมวิธีไม่พบสารพิษตกค้าง แต่เทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกรพบปริมาณโลหะหนักเหล็กและตะกั่วเกินเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจระยะเวลา 5 ปี พบว่าทั้งสองเทคโนโลยีมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ แต่เทคโนโลยีของเกษตรกรสามารถใช้ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี 5 เดือน เร็วกว่าเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินที่ใช้ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 3 เดือน เมื่อเปรียบเทียบกระแสเงินสดสุทธิ พบว่าเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินมีกระแสเงินสดสุทธิสูงกว่าการผลิตตามเทคโนโลยีของเกษตรกรมากกว่า 13 เท่าในปีที่ 3

คำสำคัญ: บัวบก ระบบปลูกพืชที่ไม่ใช้ดิน สารละลายธาตุอาหารพืช ไกลโคไซด์

---

[1] ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย 64190

[1] Sukhothai Horticulture Research Centre, Si Satchanalai, Sukhothai, 64190.

[2] ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ 235 ม.3 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

[2] Chiang Mai Agricultural Engineering Research Center, Mueang District, Chiang Mai, 50100.

Abstract

Gotu kola (*Centella asiatica* (Linn.) Urban) is an indigenous medicinal plant that has been greatly used for pharmacological purpose. However, inconstant yield and active ingredients were generally found from crude extract of fresh Gotu kola according to the variation of season and climate. Moreover, the contamination of toxic residues and heavy metals are critical problems in traditional production. In the view of this, we would like to increase production potential for high quality and free from toxic residues and heavy metals by using greenhouse and soilless planting system. The comparison of planting materials and formula of the nutrient solution were conducted in a split-plot design with 4 replicates. Main-plot experiment was arranged, i.e. Enshi Hoagland nutrient solution and commercial formula A, B. Sub-plots were planting materials i.e., 1:1 coarse sand: rice husk charcoal, 1:1 coarse sand: coconut coir, 1:1 rice husk charcoal: coconut coir and 1:1 perlite: vermiculite. The results showed that the application of commercial solution with planting material of 1:1 coarse sand: coconut coir affected the best growth of Gotu kola yield compared to the others. Besides, Asiaticoside and Madecassoside content tend to show the highest tendencies in this treatment. A comparison between greenhouse technology under soilless culture conditions and farmers' production was evaluated. The results revealed that under greenhouse condition and soilless application could increase the length of stolon, yield and Asiaticoside and Madecassoside content significantly higher than farmers' production technology. Additionally, the pesticide residue analysis in all processes showed no pesticide residues, whereas the farmers' production had level of heavy metals, iron, and lead, exceeded the standard level for Gotu kola. The five-year analysis of the economic value of technology shows that these both technologies are economic value added. However, farmers' production could recover the cost within a year and five months earlier than the production technology under greenhouse conditions which could recover the cost in three years and three months. Furthermore, the comparison of net cash flow in the third year, the results showed that the production technology under greenhouse conditions had higher net cash flow than farmers' production about 13 times.

Keywords: Gotu Kola, Soilless plant system, Nutrient solution, Triterpene

คำนำ

บัวบก (*Centella asiatica* (Linn.) Urban) เป็นผักพื้นบ้านที่พบเห็นได้ทั่วไป คนไทยนิยมบริโภคบัวบกมานาน มีการใช้ประโยชน์จากบัวบกทางด้านเภสัชวิทยาพบว่า มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ แบคทีเรียและเชื้อรา สามารถใช้รักษาโรคผิวหนัง และเร่งการสร้างเนื้อเยื่อและคอลลาเจน จึงช่วยสามารถสมานแผลได้ นอกจากนี้สารสกัดจากใบบัวบกมีฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งบางชนิดได้ และยังสามารถรักษาเยื่อหุ้มสมองอักเสบ ส่งเสริมการทำงานของสมอง เอกรินทร์ และคณะ (2548) มีการพัฒนาสารสกัด

มาตรฐานบัวบก (ECa 233) ที่สามารถกระตุ้นการเรียนรู้และความจำ และสารสกัดมาตรฐานที่มีฤทธิ์สมานแผลได้ โดยได้ใช้บัวบกที่มีคุณภาพสดจำนวน 1,000 กิโลกรัม ทำให้แห้งจะเหลือ 200 กิโลกรัม และนำไปหั่นละเอียด และสกัดออกมาเป็นผงสีขาว เป็นสารออกฤทธิ์ในอัตราประมาณ 2 กิโลกรัม ซึ่งใช้บัวบกสดที่นำมาสกัดสารมาตรฐานค่อนข้างมากในการนำไปแปรรูปเป็นสารสกัดสมุนไพร และพบว่าปริมาณสารสำคัญและผลผลิตไม่คงที่ เนื่องจากวัตถุดิบบัวบกมีความแปรปรวนจากฤดูกาลผลิต และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง จึงส่งผลให้สารสกัดบัวบกภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดในปัจจุบัน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง จึงมีความจำเป็นต้องนำเข้าสารสกัดบัวบกในรูปสารสกัดบริสุทธิ์ หรือกึ่งบริสุทธิ์ ซึ่งพบว่าการนำเข้าสารสกัดบัวบกในรูปสารออกฤทธิ์ที่มีราคาค่อนข้างสูง ในประเทศไทยบัวบกที่นำมาใช้ประโยชน์เป็นพืชสมุนไพรจึงนิยมจำหน่ายในรูปสารสกัดแห้งเป็นผง น้ำซึ่งพบว่าบัวบกแห้งนั้นต้องใช้บัวบกสด 5 กิโลกรัม เมื่อทำให้แห้งเหลือน้ำหนักเพียง 1 กิโลกรัม (อัตราส่วนน้ำหนักบัวบกสด:น้ำหนักบัวบกแห้ง 5:1) ราคาขายบัวบกแห้งประมาณ 750 บาท แต่ถ้าขายแบบผักสดกินใบราคาเฉลี่ยเพียงแค่ 20 บาทต่อกิโลกรัม และมีการสุ่มตรวจกลุ่มของผักพื้นบ้านพบว่า “ใบบัวบก” เป็นผักที่มีสารพิษตกค้างอยู่ในอันดับต้น ๆ โดยพบสารพิษตกค้าง 5-18 ชนิด ที่ตกค้างร่วมกันต่อ 1 ตัวอย่าง และพบทั้งกลุ่มสารกำจัดแมลง ไปจนถึงสารกำจัดวัชพืช และโลหะหนัก บัวบกในท้องตลาดทั่วโปจึงไม่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบและสารสกัดสมุนไพรที่ได้มาตรฐานได้ รวมทั้งกระบวนการจัดการเพื่อผลิตบัวบกแห้งมีขั้นตอนยุ่งยาก เกษตรกรขาดความรู้และความเข้าใจในขั้นตอนการผลิตรวมทั้งต้นทุนในการจัดการทำให้แห้ง การผลิตพืชในระบบโรงเรือนและการปลูกพืชไม่ใช้ดิน เป็นเทคโนโลยีการปลูกพืชปราศจากการใช้สารเคมีหรือใช้ปริมาณน้อย ควบคุมหรือเร่งการเจริญเติบโตของพืช ต้องการพืชที่มีคุณภาพสูง โรงเรือนปลูกพืชแบบควบคุมสภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิและความชื้น อาจรวมถึงควบคุมแสงให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะโรงเรือนแบบปิดที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อม ลดการเกิดโรคและแมลงเข้าทำลายที่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้ โดยอาศัยเครื่องมืออุปกรณ์ เช่น ระบบแผ่นระเหยน้ำ หรือระบบพ่นหมอกช่วยลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน ระบบการให้น้ำพืชช่วยการดูดซึมธาตุอาหารของพืชได้เหมาะสม ระบบการให้ปุ๋ยทางน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย ระบบเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสง ดังนั้นการการผลิตบัวบกในระบบโรงเรือนและการปลูกพืชไม่ใช้ดินสามารถเพิ่มศักยภาพการผลิตให้บัวบกมีคุณภาพสูง และปลอดจากสารพิษตกค้าง รวมทั้งส่งผลให้บัวบกมีการเจริญเติบโตให้ผลผลิตเร็ว มีปริมาณสารสำคัญและผลผลิตสูง

ดังนั้นการผลิตบัวบกในระบบโรงเรือนและการปลูกพืชไม่ใช้ดิน มีวัตถุประสงค์เพิ่มศักยภาพการผลิตให้บัวบกมีคุณภาพสูง ปลอดจากสารพิษตกค้างและโลหะหนัก เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตบัวบกคุณภาพในโรงเรือน ตรงตามมาตรฐานให้เป็นพืชสมุนไพรสำหรับผลิตสารสกัดมาตรฐานบัวบก ECa 233 ที่มีสาร Asiaticoside ไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. **เปรียบเทียบวัสดุปลูก และสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตบัวบกในระบบปลูกพืชที่ไม่ใช้ดิน**

   วางแผนการทดลอง split-plot จำนวน 4 ซ้ำ โดยจัดวางการทดลองแบบ RCB

Main-plot ประกอบด้วย สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน 3 สูตร ได้แก่ สารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi (A) (สูตรผักกินใบ) สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland solution (B) (สูตรดีที่สุดของสตรอว์เบอร์รีในระบบไฮโดรโปรนิกส์) (จำนงค์ และโสระยา, 2556) และสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้า (C) (ผักบุ้งจีน คะน้า กวางตุ้ง) (สูตรที่มีระบุปริมาณสารละลายธาตุอาหารของ Stock A และ Stock B)

Sub-plot ประกอบด้วย วัสดุปลูกชนิดต่างๆ ได้แก่ 1. ทรายหยาบ:ถ่านแกลบ อัตราส่วน 1:1 (T1) 2. ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 (T2) 3. ถ่านแกลบ :ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 (T3) 4. เพอร์ไลท์ (Perlite): เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) 2:1 (T4)

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

การออกแบบและติดตั้งโครงสร้างอุปกรณ์โรงเรือนที่ควบคุมสภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิ และความชื้น ความเข้มแสง โดยอ้างอิงข้อมูลจากรายงานการวิจัย Srithongkul *et al*., (2011) การพรางแสงระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเข้มแสงประมาณ 362.5 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที หรือใกล้เคียง อุณหภูมิ 24-27องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 70-85 เปอร์เซ็นต์ ใช้เซนเซอร์เป็นตัววัดค่าความชื้นและอุณหภูมิชุดควบคุมการเปิดปิดของพัดลมและระบบพ่นหมอกเพิ่มความชื้น ออกแบบพัดลมระบายอากาศสำหรับโรงเรือน โดยเลือกใช้พัดลมสำหรับโรงเรือน ขนาด 36 นิ้ว 2 ตัวอัตราการไหลของอากาศ 16,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

เตรียมต้นพันธุ์บัวบก โดยใช้พันธุ์ในพื้นที่จังหวัดนครปฐมเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เป็นแหล่งผลิตมากสุด คือ สายพันธุ์นครปฐม เตรียมดินสำหรับชากล้าบัวบก โดยใช้ดินสำหรับเพาะชำที่มีส่วนผสมคือ ดินร่วน แกลบเผา ทรายหยาบ อัตราส่วน 1:1:1 โดยปริมาตร นำต้นพันธุ์บัวบกที่ทำการขุดออกจากแปลง มาแยกลงถุงเพาะที่เตรียมไว้ โดยการแยกต้นให้เหลือเพียง 1 ต้น แล้วทำการชำลงถุงๆ ละ 1 ต้น เป็นเวลา 15 วัน เตรียมกระบะปลูกคลุมด้วยพลาสติก ขนาด กว้าง 1 เมตร x ยาว 2 เมตร x ลึก 0.3 เมตร เตรียมวัสดุปลูกตามกรรมวิธีที่กำหนด นำต้นพันธุ์บัวบกที่ทำการเพาะชำไว้ มาปลูกในกระบะ ระยะปลูก 10 x 10 เซนติเมตร ช่วงเวลาในการปลูก คือช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2564 เตรียมสารละลายธาตุอาหารตามกรรมวิธีที่กำหนด ติดตั้งและวางระบบน้ำหยดเพื่อให้สารละลายธาตุอาหารเข้าสู่กระบะปลูกในแต่ละกรรมวิธี โดยเริ่มให้หลังจากปลูกบัวบก 1 สัปดาห์ และให้สารละลายธาตุอาหารสัปดาห์ละ 3 วัน (วันเว้นวันต่อสัปดาห์) ให้ครั้งละ 2 นาที ใช้ทั้งหมด 14.17 ลิตร/แปลง/วัน

2. เปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินกับเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกร

ไม่มีการวางแผนการทดลองทางสถิติ

กำหนดให้ 1 กระบะ และ 1 แปลงต่อหน่วยการทดลอง (experimental unit) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย t-test จำนวน 10 ซ้ำ (กระบะ/แปลงย่อย) เปรียบเทียบ 2 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 เทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน

วิธีการดำเนินงาน เช่นเดียวกับการทดลองเปรียบเทียบวัสดุปลูก และสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตบัวบกในระบบปลูกพืชที่ไม่ใช้ดิน โดยเตรียมวัสดุปลูก และสูตรสารละลายธาตุอาหารที่ดีที่สุดจากการทดลองดังกล่าว

กรรมวิธีที่ 2 เทคโนโลยีการผลิตบัวบกของเกษตรกร

ทำการเตรียมแปลงปลูกบัวบกที่อยู่ด้านนอกโรงเรือน โดยไถพรวนดินให้ร่วนซุยแล้วตากแดดทิ้งไว้ประมาณ 10 วัน ยกแปลงปลูกกว้าง 3 เมตร x ยาว 2 เมตร ระหว่างแปลงปลูกจัดเป็นร่องน้ำหรือทางเดินกว้าง 50 เซนติเมตร ลึก 15 เซนติเมตร เตรียมพันธุ์โดยการปักชำไหลที่มีต้นอ่อนและมีรากงอก มุงหลังคาด้วยวัสดุพรางแสง (ซาแลน) ความสามารถในการกรองแสง 50 เปอร์เซ็นต์ ปลูกลงหลุมปลูกระยะปลูก 15x15 เซนติเมตร ช่วงเวลาในการปลูก คือช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม 2564 ใส่ปุ๋ยดูแลบำรุงรักษา ให้น้ำบัวบกทุกวันเช้า - เย็น

การบันทึกข้อมูล

1. ข้อมูลการเจริญเติบโต ความยาวไหล (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนต้นแม่ถึงส่วนที่ยาวที่สุดของไหลด้วยไม้บรรทัด จำนวนไหลต่อต้น (ไหล) โดยนับจำนวนไหลที่แตกจากต้นแม่ จำนวนต้นต่อไหล โดยนับจำนวนต้นที่เกิดในไหลที่แตกจากต้นแม่ จำนวนใบต่อต้น โดยนับจำนวนใบทั้งหมดของต้นแม่

2. ข้อมูลค่า EC คือค่าการนำไฟฟ้าของเกลือในสารละลาย (หน่วยวัดเป็น มิลลิซีเมน/เซนติเมตร; mS/cm) และค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร โดยค่า EC และ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชกินใบคือ 1.8-2.4 มิลลิซีเมน/เซนติเมตร และค่า pH 5.5-6.5

3. เก็บเกี่ยวบัวบกในส่วนของใบ และก้านใบ เก็บเกี่ยวครั้งแรกที่อายุเก็บเกี่ยว 60 วัน (ครั้งที่ 1) และเก็บเกี่ยวครั้งที่สองห่างจากครั้งแรก 30 วัน (ครั้งที่ 2) โดยอ้างอิงความถี่ในการเก็บเกี่ยวบัวบกของ Rahajanirina *et al.,* (2016) เก็บข้อมูลผลผลิตในพื้นที่ 2 ตารางเมตร/หน่วยการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้ น้ำหนักสด (ก.) โดยชั่งน้ำหนักสดต้น ใบ และราก น้ำหนักแห้ง (ก.) ชั่งน้ำหนักแห้งต้น ใบและราก ภายหลังการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 72 ชั่วโมง จนมวลแห้งคงที่ วิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญของผลผลิตเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 Triterpenes 4 ชนิด ได้แก่ Madecassoside, Asiaticoside, Madecassic acid และ Asiatic acid ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ปรับจากขั้นตอนการวิเคราะห์ของ Alqahtani *et al.,* (2011) และสารพิษตกค้าง ทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่ 1. Organochlorine group 2. Organophosphate group 3. Pyrethroid group และ 4. Carbamate group โลหะหนัก ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) วิเคราะห์โดย บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

เวลาและสถานที่การทดลอง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึงตุลาคม พ.ศ. 2564 ณ ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของวัสดุปลูก และสูตรสารละลายธาตุอาหาร ต่อการผลิตบัวบกในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน

เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของบัวบกช่วงเวลาเติบโตสูงสุดก่อนการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 1 อายุ 60 วัน พบว่า กรรมวิธีสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้า ร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 ส่งผลต่อเจริญเติบโตของบัวบกจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น มีแนวโน้มสูงสุด ที่ 12.22 ใบ จำนวนไหลต่อต้น 2.67 ไหล มีแนนโน้มสูงสุด จำนวนต้นต่อไหล 2.46 ต้น แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ถ่านแกลบ อัตราส่วน 1:1 ในสารละลายธาตุอาหารชนิดเดียวกัน มี 1.72 ต้น ความยาวไหล สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland solution ร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก เพอร์ไลท์ (Perlite): เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) 2:1 มีความยาวไหลแนวโน้มสูงสุด 34.43 เซนติเมตร รองลงมาคือสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก เพอร์ไลท์ (Perlite): เวอร์มิคูไลท์

(Vermiculite) 2:1 มีความยาวไหล 34.35 เซนติเมตร ไม่แตกต่างทางสถิติกับวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 มีความยาวไหล 34.21 เซนติเมตร โดยมีความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยหลัก และปัจจัยรองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Table 1) ผลผลิตบัวบกโดยเก็บเกี่ยวรวม 2 ครั้ง พบว่า กรรมวิธีสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว 1:1 ส่งผลการเจริญเติบโตแนวโน้มสูงสุด ข้อมูลเฉลี่ยน้ำหนักสดรวมสูงสุด 2.10 กิโลกรัม/ตารางเมตร แตกต่างทางสถิติกับวัสดุปลูกทรายหยาบ: ถ่านแกลบ อัตราส่วน 1:1 และถ่านแกลบ: ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยหลักและปัจจัยรอง (Table 2) ในด้านปริมาณสารสำคัญ พบว่ากรรมวิธีสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว 1:1 มีสาร Madecassoside 1.41 %DW และ Asiaticoside 1.69 %DW มีแนวโน้มสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 2)

ผลการเปรียบเทียบวัสดุปลูก และสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตบัวบกในระบบปลูกพืชที่ไม่ใช้ดินต่อการเจริญเติบโตบัวบกพบว่า สารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว 1:1 ส่งผลการเจริญเติบโตแนวโน้มสูงสุด รองลงมาคือสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland solution ร่วมกับวัสดุเพอร์ไลท์ (Perlite): เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) 2:1 ทั้งนี้เนื่องจากสูตรสารละลายธาตุสูตรการค้าเป็นสูตรสำหรับผักกินใบความเข้มข้นในส่วนของไนโตรเจนค่อนข้างสูงและเหมาะสมต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางใบและการเกิดจำนวนไหลต่อต้น จำนวนต้นต่อไหล ซึ่งสูตรสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland solution เป็นสูตรที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสตรอว์เบอร์รีในระบบไฮโดรโปรนิกส์ จึงส่งผลให้ความยาวไหลสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบผลผลิต และปริมาณสารสำคัญ พบว่า สารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว 1:1 มีแนวโน้มสูงสุด สอดคล้องกับการเจริญเติบโต ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าซึ่งเป็นสูตรที่มีการปรับสูตรที่เหมาะสมกับพืชผักกินใบ เช่น กวางตุ้ง และคะน้า และเมื่อพิจารณาจากสูตรสารละลายธาตุอาหารส่วนใหญ่อัตราส่วนของปุ๋ยไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ค่อนข้างสูงกว่าสูตรเปรียบเทียบอื่น ซึ่งไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเจริญเติบโตของพืช เพราะไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ และคลอโรฟิลล์ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารประกอบที่สำคัญมากต่อขบวนการเมตาโบลิซึมของพืช พืชที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะมีการเจริญเติบโตดี ใบมีสีเขียวเข้ม ซึ่งบัวบกผลผลิตที่ต้องการก็คือส่วนใบและลำต้น ถึงแม้ว่าสูตร Enshi จะมีสูตรสารละลายที่ใกล้เคียงกับสูตรการค้า ธาตุอาหารรองส่วนใหญ่ของสูตรการค้าสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด แต่สูตรสารละลายอื่นธาตุอาหารรองบางชนิดต้องใช้เป็นสารเคมีที่มีความจำเพาะหาซื้อตามท้องตลาดไม่ได้ และราคาค่อนข้างสูงโดยเฉพาะ Hoagland ราคาค่อนข้างสูง และพบปัญหาผลผลิตต่ำสุดเมื่อปลูกในวัสดุที่มีถ่านแกลบเป็นส่วนผสม เนื่องจากสูตรปุ๋ยในกลุ่มของธาตุอาหารรอง มี $MnCl_2$ ที่แตกต่างจากสูตรชนิดอื่น ๆ ซึ่งอาจจะส่งผลให้วัสดุปลูกเค็ม และทำปฏิกิริยากับถ่านแกลบส่งผลให้ที่มีความแปรปรวนของค่า pH สูง และค่า EC มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรสารละลายธาตุอาหารอื่น ๆ

การใช้วัสดุปลูก พบว่าวัสดุปลูกที่เหมาะสมคือทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว 1:1 ทั้งนี้เนื่องจากทรายหยาบ ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอาหารพืชและอายุการใช้งานนาน ถึงแม้จะมีปัญหาการอัดตัวแน่นเมื่อใช้เป็นเวลานาน แต่เมื่อผสมกับขุยมะพร้าวที่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดีมาก สามารถระบายน้ำและอากาศ เพราะมีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2.0 มิลลิเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การซาบ

ซึมน้ำ 0.15 เซนติเมตรต่อวินาที ความพรุนทั้งหมด 95.53 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดเล็กน้อย pH ประมาณ 6.2 (วันเพ็ญ, 2552) ส่งผลทำให้บัวบกดูดซึมสารละลายธาตุอาหารได้อย่างเหมาะสม

2. การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินกับเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกร

เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของบัวบกที่อายุ 8 สัปดาห์ พบว่ากรรมวิธีเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินกรรมวิธีที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 คือ กรรมวิธีสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้า ร่วมกับวัสดุปลูกทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 (กรรมวิธีทดสอบ) บัวบกมีการเจริญเติบโตทุกด้านมากกว่ากรรมวิธีเทคโนโลยีการผลิตบัวบกของเกษตรกร (กรรมวิธีของเกษตรกร) โดยมีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น 11.32 ใบ และมีความยาวไหล 59.02 เซนติเมตร แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีของเกษตรกร ซึ่งมีจำนวนใบ 9.37 ใบ และความยาวไหล 36.12 เซนติเมตร (Table 3) เก็บเกี่ยวผลผลิต รวม 2 ครั้ง กรรมวิธีทดสอบบัวบกให้ผลผลิตน้ำหนักสดรวม 2.49 กิโลกรัม/ตารางเมตร และน้ำหนักแห้งรวม 0.36 กิโลกรัม/ตารางเมตร มากกว่ากรรมวิธีของเกษตรกรซึ่งได้ผลผลิตน้ำหนักสดรวม 1.30 กิโลกรัม/ตารางเมตร และน้ำหนักแห้งรวม 0.19 กิโลกรัม/ตารางเมตร อย่างมีนัยสำคัญ (Table 3) ซึ่งพบว่าการเจริญเติบโต และผลผลิตของกรรมวิธีทดสอบสูงกว่ากรรมวิธีเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกร ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตบัวบกภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินพร้อมให้สารละลายธาตุอาหารสูตรที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชทางใบ ใบมีขนาดค่อนข้างใหญ่และยืดยาวกว่าเทคโนโลยีการผลิตบัวบกของเกษตรกร ซึ่งในช่วงการผลิตเป็นช่วงฤดูฝน ทำให้การเจริญเติบโตของบัวบกภายในโรงเรือนและนอกโรงเรือนไม่แตกต่างกัน แต่พบโรคพืชเข้าทำลายค่อนข้างมากในกรรมวิธีการผลิตของเกษตรกรจนทำให้ผลผลิตได้น้อยกว่า

ปริมาณสารสำคัญของบัวบกภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน โดยเฉพาะสาร Asiaticoside สูงถึง 2.05%DW และสาร Madecassoside 1.73%DW สูงกว่ากรรมวิธีเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกร 0.45%DW และ 0.35%DW ทั้งนี้เนื่องจาก Asiaticoside และ Madecassoside เป็นสารประกอบประเภทไตรเทอร์พีนอยด์ไกลโคไซด์ ซึ่งพบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นปริมาณการสร้างสารสำคัญของพืชจะขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ที่พืชได้รับ (Murshidul *et al.,* 2004) การผลิตพืชโดยการใช้สารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสม และปลูกในวัสดุปลูกที่พืชสามารถดูดซึมสารละลายธาตุอาหารไปใช้ได้เพียงพอ จึงทำให้พืชสามารถสร้างสารสำคัญให้สูงขึ้นได้ โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Siddiqui *et al.,* (2011) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหมักความเข้มข้น 50 % ปริมาตร 1 ลิตรร่วมกับปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำช่วยทำให้สารสำคัญในบัวบกที่ปลูกในประเทศมาเลเซีย ได้แก่ Asiaticoside, Madecassoside และ Asiatic acid ในส่วนของใบ ก้านใบและรากมีค่าสูงสุด ทั้งนี้น่าจะเกี่ยวข้องกับจุลธาตุ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ที่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์น้ำหมัก ซึ่งร่วมกับมหธาตุ ที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีจึงทำให้บัวบกที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์น้ำหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีมีสารสำคัญสูงที่สุด เช่นเดียวกับการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ปริมาณมหธาตุ และจุลธาตุ เหมาะสมต่อการสร้างสารสำคัญ และการปลูกพืชในโรงเรือนสภาพแวดล้อมทั้งอุณหภูมิที่สูง การพรางแสงที่ 50 เปอร์เซ็นต์ พืชเกิดสภาวะเครียด มีการลดอัตราการหายใจ การเพิ่มพื้นที่ใบ ปรับลักษณะ

สัณฐานวิทยาของใบส่วนใหญ่ให้มีขนาดใหญ่ และที่สำคัญมีการสร้างสารทุติยภูมิที่สำคัญไว้สำหรับในการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะเครียดจากร่มเงา (นวรัตน์, 2558)

ผลการตรวจสอบของสารพิษตกค้าง และโลหะหนักในใบบัวบก พบว่าทั้งสองกรรมวิธี และแปลงเกษตรกร อ.บางเลน ไม่พบสารพิษตกค้างทั้ง 4 กลุ่ม (Table 4) เมื่อสัมภาษณ์เกษตรกร พบว่าในช่วงฤดูฝนจะพบปัญหาโรคพืชเข้าทำลายจึงใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืชค่อนข้างมาก แต่จะพ่นก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต 7-10 วัน จึงทำให้เป็นสาเหตุของการนำไปตรวจวิเคราะห์ไม่พบสารพิษตกค้าง และผลตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในใบบัวบก พบว่ากรรมวิธีของเกษตรกร มีปริมาณของเหล็กค่อนข้างสูง คือ 132 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เกินมาตรฐาน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มาตรฐานของ Thai Herbal Pharmacopoeia, Vol1-2 (ชำนาญ และคณะ, 2548) และตะกั่วที่ค่า 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เกินมาตรฐาน 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2563) และเมื่อนำผลผลิตบัวบกของแปลงเกษตรกร อ.บางเลน ตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักพบว่ามีปริมาณไม่เกินมาตรฐาน (Table 5) แต่พบว่างานวิจัย บุษบา และคณะ (2563) แปลงเกษตรกร อ. บางเลน มีปริมาณโลหะหนักในดินที่มีค่าค่อนข้างสูงคือ มีปริมาณตะกั่ว 21.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคดเมียม 0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณสารหนู 7.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน เปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการผลิตบัวบกของเกษตรกร

วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีโดยนำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 5 ปี พบว่า ทั้งสองเทคโนโลยีมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โดยจากการคำนวณค่า NPV ที่ได้มีค่ามากกว่า 0 ค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน B/C Ratio ที่ได้มีค่ามากกว่า 1 มีความเป็นไปได้และให้ผลตอบแทนทางการเงินที่คุ้มค่าต่อการลงทุน และค่า IRR ผลตอบแทนภายในของการประกอบการภายในมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำของธนาคารพาณิชย์ โดยกำหนดอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำของธนาคารพาณิชย์ ไว้ที่ร้อยละ 7.0 (Table 6) เป็นไปตามหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ทุกประการ (บัณฑิตพงษ์ และคณะ, 2560) แต่ระยะเวลาคืนทุนการผลิตตามเทคโนโลยีของเกษตรกรสามารถคืนทุนประมาณ 1 ปี 5 เดือน เร็วกว่าเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินในพื้นที่ 1 ไร่ จำนวน 8 โรงเรือน โรงเรือนขนาด 8x20 เมตร พื้นที่ให้ผลผลิต 96 ตารางเมตรต่อโรงเรือน สามารถคืนทุน 3 ปี 3 เดือน เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวมีแหล่งทุนคงที่ในการสร้างโรงเรือนค่อนข้างสูง แต่เมื่อเปรียบเทียบกระแสเงินสดสุทธิในปีที่ 3 พบว่าเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินมีกระแสเงินสดสุทธิสูงกว่าการผลิตตามเทคโนโลยีของเกษตรกรมากกว่า 13 เท่า เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพสูงขึ้นทำให้สามารถขายวัตถุดิบสมุนไพรแห้งเพื่อนำไปสู่การสกัดสารมาตรฐานบัวบกได้ในราคาสูง แต่การผลิตของเกษตรกรไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในการผลิตได้จึงทำให้ผลผลิตตลอดปีไม่สามารถควบคุมให้มีจำนวนเท่ากันและสูงขึ้นได้ และปัญหาสารพิษตกค้างจึงไม่สามารถขายเป็นวัตถุดิบสมุนไพรแห้งเพื่อนำไปสู่การสกัดสารมาตรฐานบัวบกได้

สรุปผลการทดลอง

การเปรียบเทียบวัสดุปลูก และสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตบัวบกในระบบปลูกพืชที่ไม่ใช้ดิน ภายใต้สภาพโรงเรือนแบบระบบกึ่งปิด ในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ย 32.14 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเฉลี่ย 54.73 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มแสงเฉลี่ย 286.50 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าการผลิตบัวบกในสารละลายธาตุอาหารสูตรการค้าร่วมกับการปลูกในวัสดุปลูก ทรายหยาบ:ขุยมะพร้าว 1:1 ส่งผลการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และปริมาณสาร Asiaticoside และ Madecassoside มีแนวโน้มสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินกับเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกร พบว่าการผลิตบัวบกภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน บัวบกมีการเจริญเติบโตแนวโน้มสูงกว่าเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกร ในด้านผลผลิต และปริมาณสาร Asiaticoside และ Madecassoside สูงกว่ากรรมวิธีเทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญ และทั้งสองกรรมวิธีไม่พบสารพิษตกค้าง แต่เทคโนโลยีการผลิตของเกษตรกรพบปริมาณโลหะหนักเหล็กและตะกั่วเกินเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจระยะเวลา 5 ปี พบว่าทั้งสองเทคโนโลยีมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ แต่เทคโนโลยีของเกษตรกรสามารถใชระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี 5 เดือน เร็วกว่าเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินที่ใช้ระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 3 เดือน เมื่อเปรียบเทียบกระแสเงินสดสุทธิ พบว่าเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพภายใต้สภาพโรงเรือนในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดินมีกระแสเงินสดสุทธิสูงกว่าการผลิตตามเทคโนโลยีของเกษตรกรมากกว่า 13 เท่าในปีที่ 3

การนำไปใช้ประโยชน์

กลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่บัวบกในจังหวัดนครปฐมสามารถนำเทคโนโลยีการผลิตบัวบกคุณภาพจากการผลิตในโรงเรือนด้วยระบบปลูกแบบไม่ใช้ดิน และกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกพืชในโรงเรือนด้วยระบบไม่ใช้ดินเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตบัวบกให้ปลอดจากสารพิษตกค้าง และโลหะหนัก รวมทั้งส่งผลให้บัวบกมีการเจริญเติบโตให้ผลผลิตเร็ว มีปริมาณสารสำคัญและผลผลิตสูง ตรงตามมาตรฐานของพืชสมุนไพร และพัฒนาแปรรูปบัวบกแห้งเพื่อเข้าสู่อุตสาหกรรมการผลิตสารสกัดมาตรฐาน ทดแทนการปลูกบัวบกในพื้นที่ธรรมชาติทั่วไปที่ขายแบบพืชผักกินใบ

คำขอบคุณ

ได้รับทุนอุดหนุนการพัฒนาการวิจัยการเกษตร จากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 และศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร รวมทั้งคณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยในการให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางดำเนินงานและแก้ไขปัญหาตลอดจนเจ้าหน้าที่ พนักงานราชการที่มีส่วนเกี่ยวข้องช่วยเหลือทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

จำนงค์ อุทัยบุตร และโสระยา ร่วมรังษี. 2556. การปลูกสตรอเบอรี่ในระบบไฮโดรโพนิกส์.

ชำนาญ ภัตรพานิช และสุวรรณา เหลืองชลธาร. 2548. การศึกษาเพื่อกำหนดมาตรฐานของสมุนไพรบัวบก และสิ่งสารสกัดที่มีฤทธิ์ทางยา. รายงานการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์นาและเครื่องสำอางที่มีมาตรฐานจากสมุนไพรบัวบกสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรม. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2546-2548.

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ. 2558. สรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะเครียด. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 237 หน้า.

บุษบา รู้น้อม, นัทฐา ทักษ์รัตนศรัณย์, ฐนชนก คำขจร, ศิริวรรณ แดงภักดี และสุธี ภู่อร่าม.2563. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของบัวบกตามมาตรฐานเกษตรดีที่เหมาะสม (GAP) ในพื้นที่จังหวัดนครปฐม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน).

บัณฑิตพงษ์ ศรีอำนวย,ศราวุธ ราชมณี, ศิสิวิมล พราหมณี, กนกภรณ์ อ่วมพราหมณ์. 2560. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทอง. การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยศิลปวัฒนธรรม ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. 2563. มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 137 ตอนพิเศษ 118 ง วันที่ 20 พฤษภาคม 25. หน้า 18.

วันเพ็ญ สุขการณ์. 2552. สูตรสารละลายและวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกแคนตาลูปโดยไม่ใช้ดินในภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขา วิทยาศาสตร์การเกษตร (พืชศาสตร์). มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ.

เอกรินทร์ สายฟ้า มยุรี ตันติสิริระ บุญยงค์ ตันติสิริระ ชำนาญ ภัตรพานิช รุทธ์ สุทธิศรี และสุวรรณา เหลืองชลธาร. 2548. การวิจัยและพัฒนาสารสกัดมาตรฐานบัวบก อีซีเอ 233 : จากต้นน้ำสู่ปลายน้ำ. รายงานการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์นาและเครื่องสำอางที่มีมาตรฐานจากสมุนไพรบัวบกสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรม. ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2546-2548.

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.

Murshidul, H., Ajwa, H., and Mou, B. 2004. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer effects on nutritional composition of lettuce. 101st Annual international conference of the American society for Horticultural Science, Austin, Texus. Horticultural Science 39(4): 872.

Rahajanirina V., Faramalala M. H., Roger E., Zebrowski C., Leong Pock TSY J. M. and Danthu P. 2016. Effects of harvest frequency on leaf biomass and triterpenoid content of *Centella asiatica* (L.) Urb from Madagascar. Journal of Medical and Biological Science Research Vol. 2 (1): pp. 18.

Siddiqui, Y., Islam, T.M., Naidu, Y., and Meon, S. 2011. “The Conjunctive Use of Compost Tea and Inorganic Fertilizer on the Growth, Yield and Terpenoid Content of Centella asiatica (L.) Urban”. Scientia Horticulturae 130: 289-295.

Srithongkul, J., S. Kanlayanarat, V.Srilaong, A. Uthairatanakij and P. Chalermglin. 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 Vol.9 (1): 360-363.

Table 1 Growth of *Centella asiatica* at 60 days after planting when using different nutrient solutions and different planting media at Sukhothai Horticultural Research Center during summer season in 2021

TREATMENT (T)	FERTILIZER (F)											
	Enshi				Hoagland				Commercial			
	Number of leaf	Number of stolon	Number Plant/stolon[1/]	The length of stolon (cm.)	Number of leaf	Number of stolon	Number Plant/stolon	The length of stolon (cm.)	Number of leaf	Number of stolon	Number Plant/stolon[1/]	The length of stolon (cm.)
T1	9.74	2.19	1.93ab	30.27a	9.00	2.33	1.88ab	30.54a	8.21	2.41	1.72b	28.59
T2	9.94	2.27	2.37a	30.80a	9.44	2.25	2.32a	34.11a	**12.22**	**2.67**	**2.46a**	34.21
T3	8.75	2.41	1.70b	22.63b	8.45	2.08	1.37b	19.62b	10.24	2.51	2.23ab	29.31
T4	8.97	2.14	2.34a	33.00a	10.14	1.91	2.40a	**34.43a**	12.05	2.34	2.25ab	**34.35**
F-MEAN	9.35	2.25	2.08	29.18	9.26	2.14	1.99	29.67	10.68	2.48	2.16	31.61

The leaf number /plant cv (a) = 32.1%; cv (b) = 17.0%; The stolon number /plant cv (a) = 33.9%; cv (b) = 19.7%;

The plant number / stolon cv (a) = 44.2%; cv (b) = 27.2%; The length of stolon cv (a) = 15.8%; cv (b) = 27.5%

[1/] In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Note: T1; Coarse sand: Rice husk charcoal, ratio 1:1

T2; Coarse sand: Coconut coir ratio 1:1

T3; Rice husk charcoal: Coconut coir ratio 1:1

T4; Perlite: Vermiculite ratio 2:1

Table 2 Total fresh weight (kg/rai) and triterpenes content (%DW) of 4 types of *Centella asiatica* at the second harvest when different nutrient solution formulations were used with different planting media at Sukhothai Horticultural Research Center during summer season in 2021

TREATMENT (T)	FERTILIZER (F)														
	Enshi					Hoagland					Commercial				
	Total fresh weight (kg/m^2)	Madecassoside	Asiaticoside	Madecassic acid	Asiatic acid	Total fresh weight (kg/m^2)[1/]	Madecassoside	Asiaticoside	Madecassic acid	Asiatic acid	Total fresh weight (kg/m^2)	Madecassoside	Asiaticoside	Madecassic acid	Asiatic acid
T1	1.09	0.98	1.35	0.28	0.20	0.75b	0.90	1.04	0.13	0.11	1.90	0.65	0.78	**0.42**	**0.24**
T2	1.35	1.09	1.51	0.14	0.10	1.89a	1.28	1.28	0.11	0.08	**2.10**	**1.41**	**1.69**	0.35	0.21
T3	1.16	0.84	0.99	0.11	0.09	0.74b	0.93	0.95	0.36	0.21	1.88	1.33	1.12	0.35	0.16
T4	1.50	1.26	1.58	0.11	0.08	1.54a	1.10	1.18	0.14	0.09	2.09	1.22	1.13	0.24	0.14

Yield C.V. (a) = 15.0%; C.V. (b) = 26.4%

[1/] In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Note: T1; Coarse sand: Rice husk charcoal, ratio 1:1

T2; Coarse sand: Coconut coir ratio 1:1

T3; Rice husk charcoal: Coconut coir ratio 1:1

T4; Perlite: Vermiculite ratio 2:1

Table 3 Growth and yield of *Centella asiatica* at 60 days after planting compared between 2 production technologies at Sukhothai Horticultural Research Center during rainy season in 2021

TREATMENT (T)	Growth of *Centella asiatica*				Yield	
	Number of leaf	Number of stolon	Number Plant/stolon	The length of stolon (cm.)	Total dry weight (kg/ m^2)	Total fresh weight (kg/m^2)
T1	11.32	2.49	2.64	59.02	0.36	2.49
T2	9.37	2.46	2.45	36.12	0.19	1.30
T-test	*	ns	ns	*	*	*

Table 4 Triterpenes content (%DW) of 4 types of *Centella asiatica* at the second harvest compared between 2 production technologies at Sukhothai Horticultural Research Center during rainy season in 2021

TREATMENT (T)	Madecassoside	Asiaticoside	Madecassic acid	Asiatic acid
T1	1.73	2.05	0.71	0.32
T2	0.35	0.45	0.47	0.23
T-test	*	*	*	ns
Farmer plot [1/]	0.44	0.35	0.67	0.42

Table 5 Pesticide residues and heavy metals of *Centella asiatica* at the second harvest compared between 2 production technologies at Sukhothai Horticultural Research Center during rainy season in 2021

TREATMENT (T)	Pesticide residues 4 group	Iron (mg/kg)	Lead (mg/kg)	Arsenic (mg/kg)	Cadmium (mg/kg)	Mercury (mg/kg)
T1	Not Detected	15	< 0.050	0.036	< 0.018	Not Detected
T2	Not Detected	132	0.13	0.67	0.085	< 0.018
Farmer plot [1/]	Not Detected	28.2	< 0.050	0.057	0.025	< 0.018

T1: The production technology under greenhouse conditions in a soilless system

T2: The production technology of farmers

[1/] Farmers plot, Bang Len District, Nakhon Pathom Province

Table 6 Comparison of the economic value of *Centella asiatica* production technology for a period of 5 years

TREATMENT (T)	Total fresh weight (kg/rai/year)	Total dry weight (kg/rai/year)	Fixed Cost (baht/rai)	Variable Cost (baht/rai)	Income (baht/rai)	Net Income 1 year (baht/rai)	Net Present Value; NPV (baht)	Internal Rate of Return; IRR (%)	Benefit Cost Ratio; B/C Ratio	Payback Period	Net Cash Flow 3 years (baht)
T1	17,242	2,500	2,176,000	416,000	1,250,000	-1,342,000	556,277.33	29.70	1.13	3 years 3 months	2,066,800
T2	7,800	1,200	71,330	101,780	156,000	-17,110	117,291.63	267.96	1.25	1 years 3 months	146,420
Farmer plot [2/]	6,000	-	65,000	75,330	120,000	-20,330	82,867.43	169.73	1.22	1 years 5 months	115,010

T1: The production technology under greenhouse conditions in a soilless system

T2: The production technology of farmers

[2/] Farmers interviewed in Bang Len District, Nakhon Pathom Province (2021)

Note; T1; The income is the sale of dried medicinal raw materials for the extraction of standard *Centella asiatica*. Price is 500 baht/ kg

T2, Farmer plot; The income is the sale of fresh vegetables. Price is 20 baht/ kg

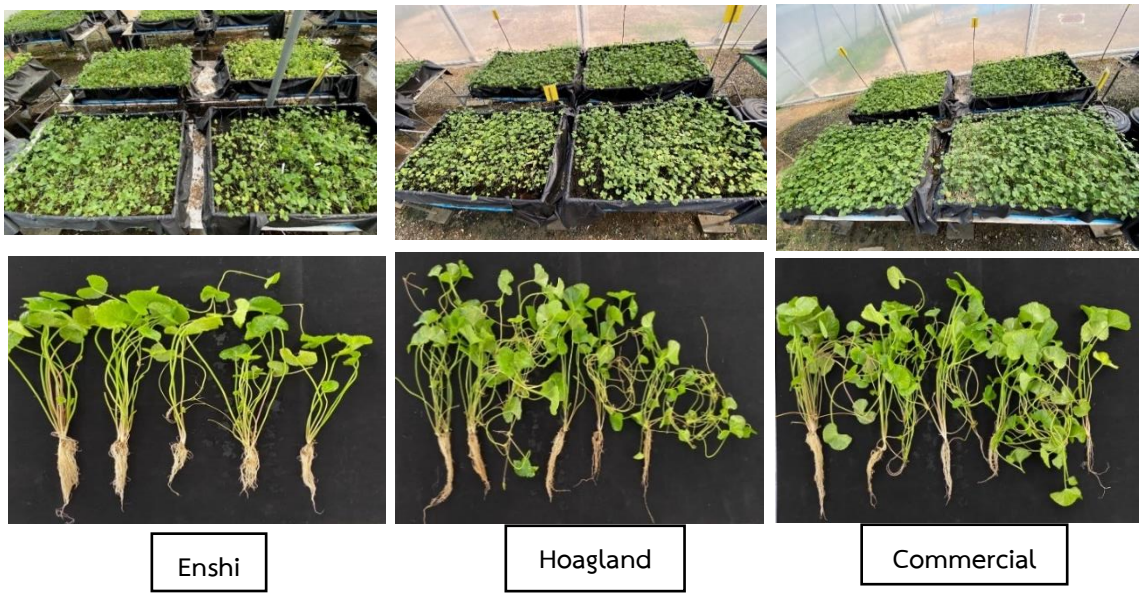

Figure 1 Growth of *Centella asiatica* at 60 days after planting when using different nutrient solutions and different planting media at Sukhothai Horticultural Research Center during summer season in 2021

Figure 2 Growth of *Centella asiatica* 60 days after planting compared between 2 production technologies at Sukhothai Horticultural Research Center during rainy season in 2021

T1: The production technology under greenhouse conditions in a soilless system

T2: The production technology of farmers