วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

# ชีวภัณฑ์ทางเลือกของสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชในโรงเรือนเมล่อน

# Biological control agents as alternative of chemical insecticides in melon greenhouse

**วรางคณา จันดา[1], คณิตา ตังคณานุรักษ์[1] และ อลงกรณ์ อำนวยกาญจนสิน[2]***

**Varangkana Junda[1], Kanita Tungkananuruk[1] and Alongkorn Amnuaykanjanasin[2]***

*[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900*
*[1]Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkhen Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900*
*[2] ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 113 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ. พหลโยธิน คลองหลวง ปทุมธานี 12120*
*[2]National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, National Science and Technology Development Agency, 113 Thailand Science Park, Phahonyothin Rd., Khlong Luang, Pathum Thani 12120*

**บทคัดย่อ:** เมล่อนเป็นพืชเศรษฐกิจมูลค่าสูงของไทย การควบคุมแบบชีววิธีโดยใช้จุลินทรีย์ เป็นอีกแนวทางหนึ่งของการจัดการศัตรูพืช เพื่อรองรับตลาดเกษตรอินทรีย์และเกษตรปลอดภัยรวมไปถึงตลาดการส่งออก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ชีวภัณฑ์ราบิวเวอเรีย *Beauveria bassiana* BCC 2660 ราเมตาไรเซียม *Metarhizium* sp. BCC 4849 และราไตรโคเดอร์มา *Trichoderma asperellum* TBRC 4734 เพื่อจัดการแมลงศัตรูพืชและโรคพืชในเมล่อนภายใต้สภาพโรงเรือน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการใช้สารเคมี รวมถึงตรวจสอบการตกค้างของสารเคมี Clothianidin ในผลเมล่อนสดและดิน จากการทดสอบพบแมลงศัตรูเมล่อน 3 ชนิด คือ ไรแดง (*Eutetranychus africanus*) แมลงหวี่ขาวยาสูบ (*Bemisia tabaci*) และเพลี้ยไฟเมล่อน (*Thrips palmi*) ข้อมูลจำนวนประชากรแมลงจากการตรวจนับโดยตรงใต้ใบเมล่อนพบว่า ประชากรแมลงศัตรูเมล่อนทั้งสามข้างต้นในกรรมวิธีชีวภัณฑ์อย่างเดียว ลดลงไป 34.8, 0.3, 18.7% และ 66, 0.3, 8.9% เมื่อเทียบกับกรรมวิธีชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และกรรมวิธีสารเคมีอย่างเดียว ตามลำดับ สำหรับการตรวจสอบแมลงบนกับดักกาวเหนียว พบแมลงศัตรูเมล่อน 2 ชนิด คือ แมลงหวี่ขาวยาสูบ และเพลี้ยไฟเมล่อน โดยกรรมวิธีชีวภัณฑ์อย่างเดียวมีจำนวนแมลงศัตรูเมล่อนลดลงไป 6.5, 17.7% และ 7.3, 21.5% เทียบกับกรรมวิธีชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และกรรมวิธีสารเคมีอย่างเดียว ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าชีวภัณฑ์สามารถส่งเสริมให้อินทรียวัตถุในดินสูงถึง 15% ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืชมากขึ้น เมื่อตรวจสอบการตกค้างพบว่ามีสารเคมี Clothianidin ตกค้างในผลเมล่อนสด 0.023 มก./กก. และตกค้างในดินสูงที่สุด 1.607 มก./กก. ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยสารเคมี โดยพบการตกค้างเพียงเล็กน้อยในกรรมวิธีชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี (ผลสด 0.0008 มก./กก. และ 0.258 มก./กก. ในดิน) และไม่พบการตกค้างในแปลงที่ใช้ชีวภัณฑ์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ชีวภัณฑ์ทดแทนสารเคมีในการจัดการศัตรูพืชเมล่อนในสภาพโรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้นี้แสดงถึงชีวภัณฑ์สามารถใช้เป็นทางเลือกของสารเคมี และมีศักยภาพในการจัดการศัตรูพืชสำหรับเกษตรอินทรีย์และเกษตรปลอดภัย

**คำสำคัญ:** เมล่อน; ชีวภัณฑ์; การจัดการศัตรูพืช; ราแมลง; สารเคมีตกค้าง

**ABSTRACT:** Melon is an important fruit crop in Thailand. Biological control by microorganisms is a pest management method intended for organic agriculture, good agricultural practice (GAP), and crop export. This study aimed to evaluate the biocontrol effectiveness of three biocontrol agents (BCAs), including *Beauveria bassiana* BCC 2660, *Metarhizium* sp. BCC 4849 and *Trichoderma asperellum* TBRC 4734 for pest and disease control in melon plantation

* Corresponding author: alongkorn@biotec.or.th
Received: date; June 8, 2022 Accepted: date; August 19, 2022 Published: date; October 12, 2022

in greenhouse, compared with synthetic pesticides, and to investigate clothianidin residues in melon and soil. Three damaging pests in melon included red mite (*Eutetranychus africanus)*, tobacco whitefly (*Bemisia tabaci*), and melon thrip (*Thrips palmi*). The populations of the three pests on the undersides of the leaves in the BCA treatment decreased by 34.8, 0.3, 18.7% and 66, 0.3, 8.9%, respectively, compared with those in the BCA-synthetic and synthetic treatments. On the yellow traps, the whiteflies and thrips were found. The whitefly and thrip populations in the BCA treatment also decreased by 6.5, 17.7% and 7.3, 21.5%, respectively, compared with those in the BCA-synthetic and synthetic treatments. Furthermore, the BCAs also enriched the soil organic matter by 15%, compared with the synthetic treatment, which potentially enhances the nutrient availability for crop growth and development. For the synthetic treatment, we detected 0.023 and 1.607 mg/kg clothianidin residues in melon fruits and in the soil, respectively using LC-MS method. For synthetic-BCA combined treatment, there were markedly low residues at 0.0008 and 0.258 mg/kg in melon and soil, respectively. There were no chemical residues found in the BCA treatment. Our data indicate that the BCAs can be used effectively as an alternative of synthetic pesticides and would have the potential in pest management for organic agriculture and GAP.
**Keywords:** melon; biological control agent; pest management; entomopathogenic fungi; pesticide residue

**บทนำ**

เมล่อน (*Cucumis melo* L.) เป็นผลไม้ที่นิยมรับประทานอย่างแพร่หลายทั่วโลก และยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญให้ผลตอบแทนสูงของประเทศไทย เมล่อนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตอากาศอบอุ่น (Zhang et al., 2021) มีแนวโน้มความต้องการของตลาดสูงเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติหวานกรอบเนื้อฉ่ำและมีกลิ่นหอม (Tabara et al., 2021) การเพาะปลูกเมล่อนเริ่มแพร่หลายไปทั่วประเทศ โดยมีพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ 2,332 ไร่ ผลผลิตรวมทั้งประเทศ 44,587 ตัน การปลูกเมล่อนในประเทศไทยให้ผลผลิตดีแต่ยังประสบปัญหาถูกรบกวนด้วยแมลงศัตรูพืชและโรคพืช แมลงศัตรูพืชที่พบมากในเมล่อน ได้แก่ เพลี้ยไฟและแมลงหวี่ขาว (Palumbo and Kerns, 1998) ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อลำต้น ใบ และผล ทำให้สูญเสียผลผลิตจำนวนมาก และโรคพืชที่พบบ่อยในเมล่อน ได้แก่ โรคราแป้ง โรคใบด่าง โรครากเน่าโคนเน่า เกษตรกรจึงนิยมใช้สารเคมีเพื่อควบคุมและกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากการใช้สารเคมีนั้นสามารถลดการรบกวนของแมลงศัตรูพืชได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลผลิตสูง ได้ผลเมล่อนที่สวยงาม และขายได้ราคาดี ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชมากเป็นอันดับ 5 ของโลก อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีมากเกินไป ไม่เพียงเพิ่มต้นทุนการผลิตเท่านั้น ยังส่งผลเสียต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยพบว่าสารเคมีเหล่านี้จะตกค้างในดิน อากาศ น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินทั่วประเทศ ก่อให้เกิดความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่เป้าหมายตั้งแต่จุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ รวมถึงปลาและนก สารตกค้างยังกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยพบรายงานถึงความเป็นพิษที่ตกค้างจากการสัมผัส สูดดม และบริโภค ซึ่งทำให้เกิดโรคต่าง ๆ แบบเฉียบพลัน เช่น คลื่นไส้ อาเจียน หายใจติดขัด ตาพร่า และแบบเรื้อรังซึ่งเกิดจากการสะสมจนก่อให้เกิดโรคเรื้อรัง เช่น มะเร็ง เบาหวาน อัมพฤกษ์ อัมพาต เป็นต้น (Akutse et al., 2020; Mahmood et al., 2015)

ปัจจุบันมีการศึกษาการควบคุมทางชีวภาพโดยใช้ชีวภัณฑ์ทดแทนการใช้สารเคมี (อลงกรณ์ และคณะ, 2021) ราแมลงจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เริ่มมีการใช้มากขึ้นในการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยราแมลงที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ราบิวเวอเรีย (*Beauveria bassiana*) เป็นจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะสร้างสปอร์สีขาว (Conidia) ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญที่ใช้เข้าทำลายและก่อโรคกับแมลงศัตรูพืช โดยราบิวเวอเรียสามารถใช้ควบคุมแมลงได้หลายชนิดเช่น เพลี้ยอ่อน เพลี้ยแป้ง เพลี้ยไฟ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล แมลงหวี่ขาว ไรแดง หนอนแมลงศัตรูพืช และราเมตาไรเซียม (*Metarhizium* sp.) หรือที่รู้จักกันว่าราเขียว เป็นราแมลงที่มีลักษณะการสร้างสปอร์เป็นสีเขียว-เขียวเข้ม สามารถเข้าทำลายแมลงศัตรูพืชสำคัญ เช่น ไรแดง เพลี้ยชนิดต่าง ๆ รวมถึงด้วงปีกแข็ง และแมลงวันผลไม้ ราแมลงจะมีกลไกการเข้าทำลายแมลงผ่านสปอร์ โดยสปอร์ของเชื้อราจะเข้าสู่ตามข้อต่อของแมลง หรือสร้างเอนไซม์ย่อยผนังลำตัวของแมลงศัตรูพืช จากนั้นจะงอกเส้นใยเข้าไปในลำตัวของแมลงทำให้อ่อนแอและตายไปในที่สุด (Amnuaykanjanasin et al., 2013) จากการทดลองการใช้เชื้อราบิวเวอเรียในมะเขือเทศ (Al-mazra'awi et al., 2009) และถั่วเขียว (Castineiras et al., 1996) พบว่าชีวภัณฑ์ให้ผลอย่างมีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยไฟ นอกจากนี้ การศึกษาราเมตาไรเซียมพบว่า

ให้ผลดีในการควบคุมไรแดงและแมลงและแมงศัตรูพืชหลายชนิด รวมทั้งสามารถเก็บรักษาได้ยาวนานหลายเดือนอีกด้วย (Wasuwan et al., 2022)

สำหรับชีวภัณฑ์กำจัดโรคพืชที่โดดเด่นได้แก่ เชื้อราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma asperellum*) ที่มีความสามารถในการควบคุมและทำลายเชื้อราก่อโรคพืชได้หลายชนิด โดยเฉพาะเชื้อราที่อยู่ในดิน โดยอาศัยกลไก การเบียดเบียน หรือเป็นปรสิต และการแข่งขันแย่งชิงพื้นที่และสารอาหารที่ราเชื้อโรคต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถผลิต สารปฏิชีวนะ และสารพิษ ตลอดจนเอนไซม์เพื่อย่อยผนังเส้นใยของเชื้อราโรคพืชได้อีกด้วย

ดังนั้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์ อันจะเป็นทางเลือกที่ปลอดภัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และมีต้นทุนต่ำ สำหรับป้องกันและกำจัดศัตรูพืช งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ชีวภัณฑ์จากเชื้อราทั้งสามชนิดข้างต้น คือ ราบิวเวอเรีย (*B. bassiana* BCC 2660) ราเมตาไรเซียม (*Metarhizium* sp. BCC 4849) และ ราไตรโคเดอร์มา *(T. asperellum* TBRC 4734) โดยราทั้งสามสายพันธุ์นี้ได้ถูกคัดแยกและศึกษาประสิทธิภาพโดยศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ เปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชของเมล่อน เพื่อเป็นทางเลือกในการควบคุมศัตรูพืชให้ได้ตามมาตรฐานความปลอดภัย นอกจากนี้ยังได้ออกแบบแผนการใช้ชีวภัณฑ์จากเชื้อราทั้งสามชนิดเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย รวมถึง วิเคราะห์เปรียบเทียบการตกค้างของสารเคมีในผลผลิตและดินระหว่างแปลงที่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและชีวภัณฑ์เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในคุณภาพและความปลอดภัยของชีวภัณฑ์แก่เกษตรกรและผู้บริโภค นำไปสู่การลดใช้สารเคมีจากภาคการเกษตรและเกิดการทำเกษตรอย่างยั่งยืน

**วิธีการศึกษา**

**สถานที่ดำเนินการทดสอบและขนาดพื้นที่**

การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์ในแปลงเมล่อน ดำเนินการในระดับโรงเรือน ณ ตำบลนาคู อำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พิกัด 14°27'59.4"N, 100°15'37.8"E โรงเรือนขนาด 6 x 20 x 5 ม. (กว้าง x ยาว x สูง) (**Figure 1**) เมล่อนพันธุ์ลูกผสม F1 Hybrid บิวตี้กรีน (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cucumis melo*) จำนวน 300 ต้น ทั้งหมด 3 แปลง แปลงละ 100 ต้น แบ่งการทดสอบออกเป็น 6 บล็อก แต่ละบล็อกเว้นระยะห่าง 20 ต้น ระยะปลูกระหว่างแถว 1 ม. ระหว่างต้น 0.3 ม. (**Figure 2**) เริ่มสำรวจประชากรแมลงเมื่อเมล่อนอายุ 7 วัน หลังย้ายต้นกล้าลงปลูกในโรงเรือน

**การเตรียมชีวภัณฑ์สำหรับใช้ในแปลงทดสอบ**

การเตรียมหัวเชื้อราบิวเวอเรีย สายพันธุ์ BCC 2660 และเมตาไรเซียม สายพันธุ์ BCC 4849 แบบสารแขวนลอยสปอร์ ถูกเตรียมโดยชั่งข้าวสาร 28 กรัม ใส่ในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 มล. เติมน้ำกลั่น 30% w/v ปิดด้วยฟอยด์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°ซ ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว 20 นาที จากนั้นนำราบิวเวอเรียที่เลี้ยงบนอาหารแข็ง Potato Dextrose Agar (PDA) เป็นระยะเวลา 7-10 วัน และราเมตาไรเซียมที่เลี้ยงบนอาหาร PDA เป็นเวลา 10-14 วัน ตัดเป็นชิ้นขนาด 2 x 2 ซม. ใส่ลงในข้าวสารในขวดแก้วรูปชมพู่ คลุกเคล้าชิ้นราให้สัมผัสกับข้าวสารอย่างทั่วถึง ปิดขวดรูปชมพู่ด้วยสำลีและฟอยด์ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25°ซ เป็นเวลา 7-10 วัน สำหรับราบิวเวอเรีย และ 7-14 วันสำหรับราเมตาไรเซียม จะสังเกตเห็นราบิวเวอเรียขึ้นปกคลุมเมล็ดข้าวเป็นผงแป้งสีขาว และราเมตาไรเซียมเป็นสีเขียว ทำการล้างสปอร์ออกจากเมล็ดข้าวเพื่อผลิตเป็นชีวภัณฑ์ โดยเติม 0.1% Tween-80 ปลอดเชื้อ (สำหรับราบิวเวอเรีย) และ 0.2% Tween-80 (สำหรับราเมตาไรเซียม) ลงไปในขวดแก้วรูปชมพู่ที่มีราบิวเวอเรีย หรือราเมตาไรเซียมเจริญอยู่ ล้างสปอร์ที่ขึ้นปกคลุมเมล็ดข้าวให้สะอาด จากนั้นเจือจางสารแขวนลอยสปอร์ให้ได้จำนวนสปอร์ $1x10^8$ โคนิเดีย/มล.

สำหรับการผลิตก้อนเชื้อสด ชั่งข้าวสาร 200 กรัม ลงในถุงขนาด 8x16 นิ้ว เติมน้ำ 30% w/v ปิดด้วยสำลีและฟอยด์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°ซ ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว 20 นาที นำหัวเชื้อสปอร์ที่มีความหนาแน่นสปอร์ $1x10^8$ โคนิเดีย/มล. ใส่ลงในวัสดุเลี้ยงเชื้อถุงละ 10 มล. และผสมให้หัวเชื้อกระจายทั่วเม็ดข้าว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25°ซ เป็นเวลา 7-10 วัน สำหรับราบิวเวอเรียและ 7-14 วันสำหรับราเมตาไรเซียม การเตรียมราไตรโคเดอร์มา สายพันธุ์ TBRC 4734 ทำเช่นเดียวกับการเตรียมราบิวเวอเรียและบ่มเชื้อในที่ที่มีแสง

**การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์ ในการควบคุมแมลงและโรคพืชในสภาพโรงเรือน**

การทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์เชื้อราบิวเวอเรียและราเมตาไรเซียมในการควบคุมแมลงศัตรูเมล่อนภายใต้สภาวะโรงเรือนนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจทั้งหมดสองรอบการผลิตคือ รอบที่ 1 เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 และรอบที่ 2 เริ่มทดสอบตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2565 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี (Treatment) กรรมวิธีละ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีจำนวนต้นเมล่อน 50 ต้น ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ชีวภัณฑ์ บิวเวอเรีย เมตาไรเซียม และ ไตรโคเดอร์มา

กรรมวิธีที่ 2 ชีวภัณฑ์ บิวเวอเรีย เมตาไรเซียม และ ไตรโคเดอร์มา + สารเคมี 0.015% Clothianidin

กรรมวิธีที่ 3 สารเคมี 0.05% Clothianidin

ในกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ ใช้อัตราฉีดพ่นชีวภัณฑ์ที่ 200 กรัม/น้ำ 10 ลิตร โดยกรรมวิธีที่มีการใช้ชีวภัณฑ์จะฉีดพ่นสลับสัปดาห์เว้นสัปดาห์ หรือทุก ๆ 7 วัน ระหว่างราบิววาเรียและราเมตาไรเซียมซึ่งเป็นราควบคุมแมลง สลับกับราไตรโคเดอร์มาซึ่งเป็นราควบคุมโรคพืช กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี Clothianidin เป็นสารเคมีที่ใช้สำหรับควบคุมแมลง ความเข้มข้น 0.015% อัตราฉีดพ่นสารเคมีคือ 1.25 กรัม ผสมชีวภัณฑ์ 200 กรัม/น้ำ 10 ลิตร และกรรมวิธี 0.05% Clothianidin อัตราการฉีดพ่น 5 กรัม/น้ำ 10 ลิตร ตามฉลากและวิธีการใช้ของสารเคมีชนิดนี้ และกรรมวิธีที่ใช้ทุกกรรมวิธีจะทำการฉีดพ่นทุก ๆ 7 วัน และมีการฉีดพ่นน้ำทั่วพื้นที่ปลูกก่อนประมาณ 1 ชั่วโมง

**Figure 1** Field site at Nakhu, Phak Hai, Phra Nakhon Si Ayutthaya province, Thailand. (A) Greenhouse size was 6 m x 20 m x 5 m. (B) The melon plants were 6 weeks old in the greenhouse

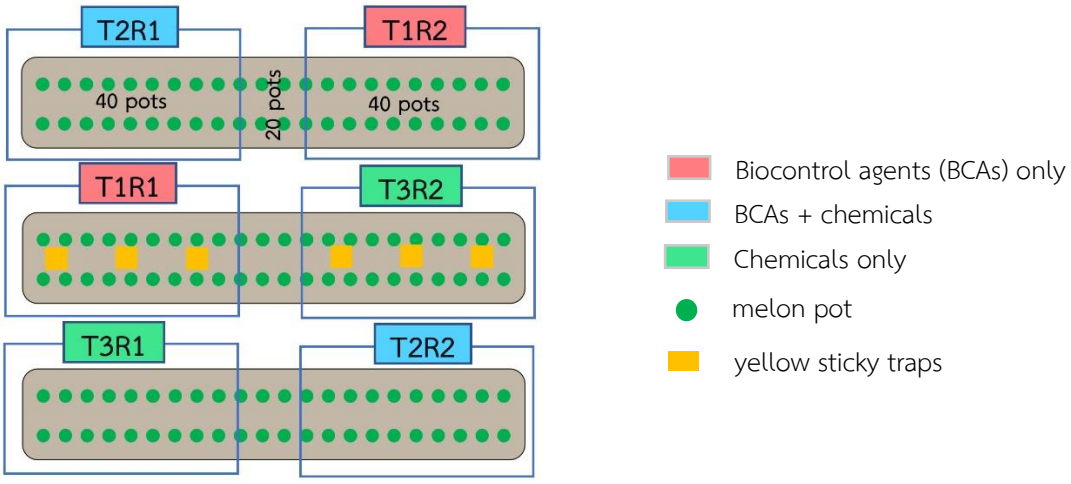


**Figure 2** Experimental plot design of the three treatments: T1, Biocontrol agents (BCAs) only; T2, BCAs combined with chemicals; and T3, Chemical only

**กรรมวิธีการสำรวจแมลงในโรงเรือนเมล่อน**

การสุ่มตัวอย่างแมลงทำโดยวิธีการตรวจนับโดยตรง (Direct sampling) และการใช้กับดักกาวเหนียว (Relative Sampling) เพื่อเป็นตัวแทนของประชากรแมลงในแปลงทดลองตลอดระยะเวลาการปลูก ตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ระยะติดดอก ระยะติดผล และระยะการเจริญทางผล สำหรับวิธีนับตรง ทำโดยการสุ่มเก็บตัวอย่างใบเมล่อน บล็อกละ 3 ต้น แต่ละต้นเก็บจำนวน 3 ใบ ให้ครอบคลุมทั้งทรงยอดพุ่ม กลางพุ่ม และส่วนใต้ทรงพุ่ม และการใช้กับดักกาวเหนียวสีเหลืองขนาด 6x9 นิ้ว จำนวนบล็อกละ 3 แผ่น ติดตั้งตรงกลางระหว่างแถวแต่ละบล็อกที่ความสูง 30 ซม. เหนือต้นพืช แต่ละซ้ำห่างกันประมาณ 4 เมตร (**Figure 1**) นำตัวอย่างใบเมล่อนและกับดักกาวเหนียวกลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจนับแมลงศัตรูพืชและแมลงศัตรูธรรมชาติที่เป็นประโยชน์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ การสำรวจแมลงนี้จะทำทุก ๆ 7 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต

**เก็บบันทึกข้อมูลผลผลิตเมล่อนเชิงปริมาณและคุณภาพ**

เพื่อประเมินผลกระทบของชีวภัณฑ์และสารเคมีต่อคุณภาพผลผลิต หลังสัปดาห์ที่ 7 ของการทดลอง ได้ตรวจนับจำนวนผลผลิตทั้งหมดและสุ่มผลเมล่อนจำนวน 20 ลูกต่อกรรมวิธี มาบันทึกขนาด น้ำหนัก (กก.) และเส้นรอบวงผล (ซม.) รวมไปถึงตรวจวัดความหวานของเมล่อนจากปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (%brix) ด้วยเครื่อง refractometer

**การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน**

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำโดยการเก็บดินร่วนชั้นบนด้วยพลั่ว ขุดดินในลักษณะตัววี (V-shape) ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. จากผิวดิน จำนวน 5 จุด แล้วนำมาผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำมาผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้องและทำการบดเม็ดดิน ร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินโดยใช้สัดส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:2 (Rebecca, 2004) แล้วตรวจวัด pH ด้วย pH meter ตรวจวัดปริมาณอินทรียวัตถุด้วยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1947) วัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ด้วยวิธีของ Bray และ Kurtz (1945) และการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (Available N) โดยการนำดินไปสกัดด้วย 2 M KCl และวิเคราะห์ด้วยวิธีของ Carter และ Gregorich (2008) สำหรับการวัดปริมาณโพแทสเซียม สกัดดินด้วยสารละลาย 1M $NH_4OAc$ pH 7.0 และวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer (AAS)

**การตรวจสอบสารเคมีตกค้างในดินและผลเมล่อน**

วิธีการสกัด Clothianidin ที่ตกค้างในดินทำการศึกษาตามงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Xia Wang, 2019) โดยนำตัวอย่างดินที่ผ่านการตากแห้งที่อุณหภูมิห้องมาบดและร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. นำดินจำนวน 10 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 100 มล. เติม acetonitrile 40 มล. จากนั้นนำไปเขย่า 5 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ความเร็ว 4,800 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที ตัวอย่างส่วนใสด้านบนจะถูกย้ายไปยังหลอดทดลองอันใหม่ แล้วเติม Sodium chloride 5-7 กรัม นำไปเขย่า 2 นาที และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นดูดสารละลายส่วนบนปริมาตร 20 มล. ไปทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporators) จนเหลือปริมาตร 2 มล. และนำไปกรองผ่านฟิลเตอร์ความถี่ 0.22 ไมโครเมตร ตัวอย่างที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Liquid chromatography–mass spectrometry (LCMS/MS)

การตรวจสอบสารเคมีตกค้างในผลเมล่อน ทำการการสกัดตัวอย่างผลสดเมล่อนด้วยวิธี QuEChERS (Quick Easy Cheap Effective Rugged and Safe) official method AOAC 20017.01 และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Liquid chromatography–mass spectrometry (LC-MS)

**วิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลวิจัย**

ข้อมูลทั้งหมดของงานวิจัยนี้ถูกวิเคราะห์ความแปรปรวน (One way ANOVA) โดยโปรแกรมทางสถิติ SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธี

**ผลการศึกษา**

**ชีวภัณฑ์ราบิวเวอเรียและราเมตาไรเซียมในการควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูเมล่อน**

**การตรวจนับแมลงใต้ใบเมล่อน**

สำหรับการสำรวจประชากรแมลงตัวอ่อนทั้งกลุ่มแมลงศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติบนใบ พบว่าแมลงศัตรูหลักของเมล่อนคือ ไรแดง (*Eutetranychus africanus*) แมลงหวี่ขาวยาสูบ (*Bemisia tabaci*) และเพลี้ยไฟ ในกลุ่มThysanoptera: Thripidae เช่น เพลี้ยไฟเมล่อน (*Thrips palmi*) และเพลี้ยไฟพริก (*Scirtothrips dorsalis*) (**Figure 4**) โดยแมลงกลุ่มนี้จะเข้าทำลายทั้งใบ ดอก และผลอ่อนของเมล่อน ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของต้น เป็นพาหะนำโรคไวรัสและยังทำให้ผลผลิตเสียหายอีกด้วย ส่วนกลุ่มแมลงศัตรูธรรมชาติพบเพียงชนิดเดียวคือ ไรแดงตัวห้ำ ผลการตรวจนับแมลงบนใบเมล่อนทั้งสองรอบการผลิตพบว่า กรรมวิธีที่ฉีดพ่นชีวภัณฑ์สามารถควบคุมประชากรแมลงศัตรูพืชทั้งสามชนิดข้างต้นได้ดีที่สุด โดยพบว่าจำนวนประชากรไรแดงในกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และกรรมวิธีที่ใช้สารเคมี คือ 77.1 111.9 และ 143.1 ตัว/ใบ ตามลำดับ โดยพบการลดลงของประชากรไรแดง ในแปลงที่ใช้ชีวภัณฑ์อย่างเดียวมากกว่ากรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว 35% และ 66% ตามลำดับ ซึ่งกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์พบไรแดงน้อยกว่ากรรมวิธีที่ใช้สารเคมีถึง 2 เท่า (**Table 1**) อย่างไรก็ตาม ในการปลูกรอบที่ 2 ไม่พบไรแดงเลย

ผลการตรวจสอบประชากรเพลี้ยไฟในการเพาะปลูกรอบแรก สัปดาห์ที่ 7 พบประชากรเพลี้ยไฟเพียงเล็กน้อยในแปลงที่ใช้ชีวภัณฑ์คือ 7.9 ตัว/ใบ กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมีจำนวน 24.4 ตัว/ใบ และกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีมากที่สุด คือ 34.1 ตัว/ใบ (**Table 2**) ประชากรเพลี้ยไฟเฉลี่ยตลอดการเพาะปลูกในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์อย่างเดียว ต่ำกว่า กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว 19% และ 9% ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลนี้สอดคล้องกันในการทดลองทั้งสองรอบการผลิต โดยเฉพาะประชากรเพลี้ยไฟในสัปดาห์ที่ 4 พบในแปลงที่มีการใช้ชีวภัณฑ์น้อยที่สุด และน้อยกว่ากรรมวิธีที่ใช้สารเคมีถึง 4 เท่า แต่ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าในสัปดาห์ที่ 7 ประชากรเพลี้ยไฟจะเพิ่มสูงขึ้นในทุกกรรมวิธี แต่กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ก็มีจำนวนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกรรมวิธี จากข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าชีวภัณฑ์จากราบิวเวอเรียและราเมตาไรเซียมมีแนวโน้มที่จะควบคุมจำนวนเพลี้ยไฟได้ดีกว่าสารเคมี

ประชากรแมลงหวี่ขาวยาสูบพบได้น้อยมากทั้งสองรอบการปลูก โดยพบเพียงสัปดาห์ที่ 7 ของการเพาะปลูกเท่านั้นโดยพบเฉพาะกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีร่วมกับชีวภัณฑ์ และกรรมวิธีที่ใช้สารเคมี พบประชากรแมลงหวี่ขาวยาสูบเพียง 0.1 และ 0.4 ตัว/ใบ ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์นั้นไม่พบแมลงหวี่ขาวยาสูบเลย เช่นเดียวกับการทดสอบในรอบที่สองของการเพาะปลูกที่พบแมลงหวี่ขาวยาสูบในช่วงสัปดาห์ที่ 7 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

**Table 1** The populations of insect pests per leaf (mean ± s.e.m.) observed on melon leaves in plantation round 1

| Insect pest / Treatment | Mean of individual insect per leaf * | | |
|---|---|---|---|
| | Week 1 | Week4 | Week 7 |
| **African red mite (*Eutetranychus africanus)*** | | | |
| Biocontrol agents (BCAs) only | 0.1[a] ±0.1 | 3.2[a] ±3.1 | 77.1[a] ±57.3 |
| BCAs+chemicals | 0.0[a] ±0.0 | 11.7[a] ±3.1 | 111.9[a] ±107.1 |
| Chemicals only | 0.4[a] ±0.2 | 18.6[a] ±12.0 | 143.1[a] ±18.7 |
| **Tobacco whitefly *(Bemisia tabaci)*** | | | |
| Biocontrol agents (BCAs) only | 0.0[a] ±0.0 | 0.0[a] ±0.0 | 0.0[a] ±0.0 |
| BCAs+chemicals | 0.0[a] ±0.0 | 0.0[a] ±0.0 | 0.1[a] ±0.1 |
| Chemicals only | 0.0[a] ±0.0 | 0.0[a] ±0.0 | 0.4[a] ±0.5 |
| **Thrips, (Thysanoptera: Thripidae)** | | | |
| Biocontrol agents (BCAs) only | 0.1[a] ±0.2 | 0.2[a] ±0.2 | 7.9[a] ±0.4 |
| BCAs+chemicals | 0.0[a] ±0.0 | 0.1[a] ±0.1 | 24.4[a] ±7.7 |
| Chemicals only | 0.1[a] ±0.1 | 0.8[a] ±1.0 | 34.1[a] ±12.4 |

* Mean in the same column with different letters are significantly different ($p > 0.05$; DMRT)

**Table 2** The populations of insect pests per leaf (mean ± s.e.m.) found on melon leaves in plantation round 2

| Insect pest / Treatment | Mean of individual insect per leaf * | | |
|---|---|---|---|
| | Week 1 | Week4 | Week 7 |
| **Tobacco whitefly *(Bemisia tabaci)*** | | | |
| Biocontrol agents (BCAs) only | 0.2[a] ± 0.2 | 0.0[a] ± 0.0 | 0.1[a] ± 0.2 |
| BCAs+chemicals | 0.0[a] ± 0.0 | 0.0[a] ± 0.0 | 0.5[a] ± 0.5 |
| Chemicals only | 0.0[a] ± 0.0 | 0.1[a] ± 0.1 | 0.3[a] ± 0.2 |
| **Thrips, (Thysanoptera: Thripidae)** | | | |
| Biocontrol agents (BCAs) only | 0.0[a] ± 0.0 | 0.8[a] ± 0.2 | 57.6[a] ± 13.3 |
| BCAs+chemicals | 0.3[a] ± 0.1 | 4.0[a] ± 3.0 | 78.5[a] ± 47.5 |
| Chemicals only | 0.3[a] ± 0.2 | 4.2[a] ± 5.4 | 49.1[a] ± 3.9 |

* Mean in the same column with different letters are significantly different ($p > 0.05$; DMRT)

**การตรวจนับแมลงระยะตัวเต็มวัยบนกับดัก**

เมื่อตรวจนับประชากรแมลงศัตรูพืชระยะตัวเต็มวัยบนแผ่นกับดักสีเหลืองภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบแมลงศัตรูพืชเพียง 2 ชนิด คือ แมลงหวี่ขาวยาสูบ และเพลี้ยไฟ (**Figure 4**) ในการทดสอบรอบแรก ระยะการปลูกสัปดาห์ที่ 7 พบประชากรแมลงหวี่ขาวยาสูบและเพลี้ยไฟในกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์มีน้อยที่สุด คือ 1.2 และ 14.2 ตัว/กับดัก ตามลำดับ และพบแมลงทั้งสองชนิดในกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียวมากกว่าใช้ชีวภัณฑ์ถึง 7 เท่า คือ พบแมลงหวี่ขาวยาสูบ 7.7 ตัว/กับดัก และเพลี้ยไฟ 20.3 ตัว/กับดัก ในขณะที่แปลงที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมีพบ แมลงหวี่ขาวยาสูบ 4.5 ตัว/กับดัก และพบเพลี้ยไฟ 15.3 ตัว/กับดัก (**Figure 3**)

สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์รอบที่สอง พบข้อมูลประชากรแมลงศัตรูพืชเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรอบแรก โดยพบประชากรของแมลงหวี่ขาวยาสูบบนกับดักกาวเหนียวตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 7 มีจำนวนน้อยที่สุดในกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์อย่างเดียว โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 7 ตรวจพบแมลงหวี่ขาวยาสูบ 7.6 ตัว/กับดัก ซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธีที่ใช้สารเคมีถึง 2 เท่า และยังพบว่ากรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมีและกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีนั้นมีจำนวนมากใกล้เคียงกัน คือ 17.3 และ 15.6 ตัว/กับดัก ตามลำดับ สำหรับประชากรเพลี้ยไฟบนกับดักกาวเหนียวพบว่ากรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์มีจำนวนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ คือพบ 61.3 ตัว/กับดัก ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมีและกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีมีจำนวนประชากรใกล้เคียงกัน คือ 95.5 และ 98.1 ตัว/กับดัก ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติ (**Figure 3**) สำหรับการตรวจสอบแมลงบนกับดักกาวเหนียว กรรมวิธีชีวภัณฑ์อย่างเดียวพบประชากรเพลี้ยไฟ และแมลงหวี่ขาวลดลงไป 6.5%, 17.7% และ 7.3%, 21.5% เทียบกับกรรมวิธีชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และกรรมวิธีสารเคมีอย่างเดียว ตามลำดับ

จากข้อมูลประชากรแมลงทั้งจากใต้ใบเมล่อนและบนแผ่นกับดักแสดงให้เห็นว่า ชีวภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะควบคุมแมลงศัตรูเมล่อนในภาวะโรงเรือน คือ ไรแดง แมลงหวี่ขาวยาสูบ และเพลี้ยไฟได้ดี ถึงแม้ว่าจะพบการเพิ่มขึ้นของแมลงศัตรูทั้ง 3 ชนิดในทุกกรรมวิธีอย่างชัดเจน ณ สัปดาห์ที่ 7 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการเพาะปลูก ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะแวดล้อมในช่วงสัปดาห์หลังที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง คือ 80.5% และมีอุณหภูมิ 27.6 ℃ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแมลง จึงส่งเสริมการเพิ่มจำนวนของแมลงศัตรูพืชทั้ง 3 ชนิดนี้ รวมทั้งยังเป็นระยะที่ต้นเมล่อนโตเต็มที่ ทำให้มีต้นและใบที่เหมาะสมกับการแพร่กระจายของแมลง อย่างไรก็ตามพบแมลงศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูพืชในโรงเรือนทดสอบด้วย ได้แก่ แมลงกลุ่มแตนเบียน กลุ่มด้วงตัวห้ำและกลุ่มแมงมุม จำนวน 1.33-7.83, 0.24-2.33 และ 0.50-7.00 ตัว/กับดัก ตามลำดับ ซึ่งแมลงศัตรูธรรมชาติเหล่านี้เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะช่วยควบคุมประชากรของแมลงศัตรูพืชให้สมดุลและไม่เกิดการระบาดจนส่งผลเสียต่อผลผลิตของเกษตรกร

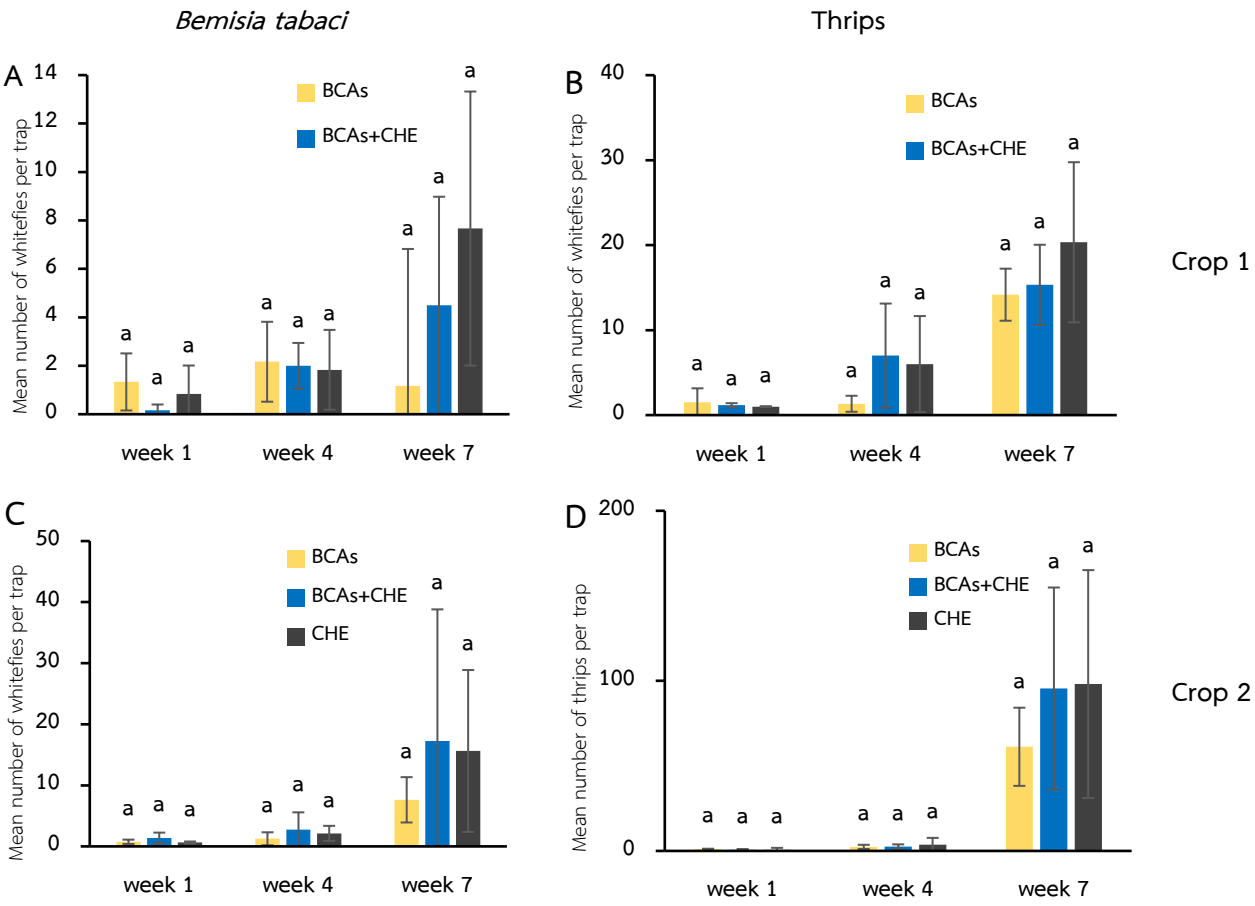


**Figure 3** Insect pest population observed on yellow sticky traps (**A**) *Bemisia tabaci* in crop 1. (**B**) Thrips (Thysanoptera: Thripidae) in crop 1. (**C**) *Bemisia tabaci* in crop 2. (**D**) Thrips, (Thysanoptera: Thripidae) in crop 2. Treatments were BCAs, Biocontrol agents (BCAs) only ; BCAs+CHE, BCAs+chemicals ; and CHE, Chemicals only. Data shown are mean ± s.e.m. Different letters indicate statistical significance among the treatments (DMRT, $p < 0.05$).

**Figure 4** Major insect pests found in melon. (**A-D**): (**A**) African red mite (*Eutetranychus africanus)*. (**B**) Chilli thrips *(Scirtothrips dorsalis)*. (**C**) Melon thrips (*Thrips palmi)*. (**D**) Tobacco whitefly (*Bemisia tabaci)*. Mycelial formation and conidiation of entomopathogenic fungi on insect cadavers. (**E-G**). (**E and F**) *Bemisia tabaci* and *Thrips palmi* infected by *Beauveria bassiana* BCC 2660, respectively. (**G**) *Scirtothrips dorsalis* infected by *Metarhizium* sp. BCC 4849. Bars, 500 µm.

**คุณภาพของผลผลิตจากการทดสอบ 3 กรรมวิธี**

การศึกษาผลของการใช้ชีวภัณฑ์ต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตเมล่อนนี้ ได้นับจำนวนผลเมล่อนทั้งหมดที่เก็บเกี่ยวได้ และประเมินเปรียบเทียบคุณภาพผลผลิตที่สมบูรณ์อ้างอิงตามมาตรฐานของตลาด คือ มีลักษณะลายบนลูกที่เด่นชัด สุขภาพดี เมื่อสุ่มผ่าดูด้านในเนื้อเนียน ฉ่ำน้ำ สีสม่ำเสมอ ไม่มีการเน่าหรือร่องรอยของโรคเกิดขึ้น (**Figure 5**) ผลการศึกษาพบว่าการทดสอบในรอบที่ 1 กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมีและกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีตรวจเจอผลผลิตที่เสียหายด้วยโรคเมล่อนน้อยที่สุด คิดเป็น 23% (ผลเน่าเสียหาย 23 ผลจากทั้งหมด 100 ผล) (**Table 3**) ส่วนกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์มีจำนวนผลผลิตที่เสียหายด้วยโรค มากกว่าเล็กน้อยที่ 29% แต่ผลการทดสอบรอบที่ 2 พบว่ากรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ และกรรมวิธีที่ใช้สารเคมี มีผลผลิตเสียหายที่ 27, 28 และ 33% ตามลำดับ ซึ่งกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีมีผลผลิตที่เสียหายจากโรคมากกว่ากรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ 4.9% ซึ่งโรคพืชที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้แก่ โรครากเน่า ผลเน่าจากเชื้อรา *Fusarium* sp. และโรคผลเน่าจากเชื้อรา *Exserohilum* sp. (**Figure 6**)

การตรวจวัดคุณภาพของผลผลิต ขนาดและน้ำหนักผลสดจะถูกประเมินโดยการวัดเส้นรอบวงและชั่งน้ำหนักผลพบว่า ขนาดและน้ำหนักผลในทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยพบเส้นรอบวงผลตั้งแต่ 43.79 - 50.67 ซม. และมีน้ำหนัก 1.37 - 1.79 กก. การตรวจวัดความหวานหรือรสชาติของเมล่อนซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญ ทำได้โดยการตรวจวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ พบว่าในการทดสอบรอบที่ 1 ทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่า 12-13.5 %brix แต่ในการทดสอบรอบที่ 2 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์มีค่าของแข็งละลายน้ำมากที่สุดถึง 16.04 %brix แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (**Table 4**)

**Figure 5** Desirable characteristics of melons included well-developed netting, succulent flesh and desirable flavor

**Table 3** Preharvest loss of melons caused by fungal diseases (in percentage) in different treatments

| Plantation round | Treatment | No. of plants/ block | No. of healthy plants bearing a melon fruit[1] | No. of infected plants bearing no good melon fruit | Preharvest production loss (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Crop 1 | Biocontrol agents (BCAs) only | 100 | 71 | 29 | **29** |
| | BCAs+chemicals | 100 | 77 | 23 | **23** |
| | Chemicals only | 100 | 77 | 23 | **23** |
| Crop 2 | Biocontrol agents (BCAs) only | 151 | 109 | 42 | **28** |
| | BCAs+chemicals | 155 | 113 | 42 | **27** |
| | Chemicals only | 150 | 101 | 49 | **33** |

[1] One melon plant produces one fruit

**Table 4** Three melon qualities, including fruit length, weight, and total soluble solids (TSS) (20 melon fruits measured in a treatment)

| Crop | Treatment | Fruit length* (cm.) | Wet weight * (kg.) | TSS[1] * (%brix) |
|---|---|---|---|---|
| Crop 1 | Biocontrol agents (BCAs) only | $44.0^{a} \pm 0.4$ | $1.4^{a} \pm 0.1$ | $13.0^{a} \pm 0.3$ |
| | BCAs+chemicals | $43.8^{a} \pm 1.1$ | $1.4^{a} \pm 0.1$ | $13.5^{a} \pm 0.2$ |
| | Chemicals only | $44.0^{a} \pm 0.3$ | $1.4^{a} \pm 0.0$ | $12.0^{a} \pm 2.4$ |
| Crop 2 | Biocontrol agents (BCAs) only | $50.0^{a} \pm 1.6$ | $1.7^{a} \pm 0.1$ | $16.1^{a} \pm 1.4$ |
| | BCAs+chemicals | $50.7^{a} \pm 0.1$ | $1.8^{a} \pm 0.1$ | $14.4^{b} \pm 2.0$ |
| | Chemicals only | $49.0^{a} \pm 1.6$ | $1.6^{a} \pm 0.1$ | $14.6^{b} \pm 0.4$ |

* Mean in the same column with different letters are significantly different ($p > 0.05$; DMRT)

[1] Total Suspended Solids

**Figure 6** The fungal diseases of melons in our greenhouse trials. (A) *Fusarium* crown rot (B) Fruit rot caused by the *Fusarium* sp. (C) Fruit crack caused by *Exserohilum* sp.

**ชีวภัณฑ์และสารเคมีส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน**

คณะผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของดิน พบว่าดินในโรงเรือนมีสภาพเป็นกลาง โดยมีค่า pH เท่ากับ 6.9 – 7 และเมื่อตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารสำคัญที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด 4 ธาตุอาหาร คือไนเตรท ($NO_3^-$) แอมโมเนียม ($NH_4^+$) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) พบว่าการทดสอบในรอบแรก ดินกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์มีแนวโน้มของปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยในดินสูงกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างชัดเจน โดยมีปริมาณ แอมโมเนียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงที่สุด คือ 145.4 421.3 และ 2800 มก./กก. ตามลำดับ ยกเว้นไนเตรทที่พบว่ากรรมวิธีที่ฉีดพ่นชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมีให้ผลสูงที่สุด คือ 1187 มก./กก. สำหรับผลการทดสอบในรอบการปลูกที่สอง ตรวจพบการลดลงของธาตุอาหารเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรอบแรก อย่างไรก็ตามยังมีแนวโน้มสอดคล้องกับการเพาะปลูกรอบแรก คือพบปริมาณไนเตรท แอมโมเนียและฟอสฟอรัสในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ คือ 165.6 62.2 และ 95.2 มก./กก. ตามลำดับ

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter) พบว่าทุกกรรมวิธีมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่า 4% จัดอยู่ในเกณฑ์สูง อ้างอิงตามการแปรผลของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ถึงคุณภาพดินที่ดี อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณของทั้ง 2 รอบของการทดสอบ พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ มีปริมาณสูงกว่ากรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และกรรมวิธีที่ใช้เคมีเพียงอย่างเดียว คือในรอบแรกมีปริมาณอินทรียวัตถุ 15% 14.8% และ 13.9% ตามลำดับ ในรอบที่สองมีปริมาณอินทรียวัตถุ 8% 7.1% และ 6.1% ตามลำดับ (**Table 5**) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

**Table 5** pH and the concentrations of nitrate ($NO_3^-$), ammonium ($NH_4^+$), available potassium, available potassium, and soil organic matter in topsoils (0 – 15 cm) in each treatment

| Crop | Treatment | Chemical properties of soil* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | pH | $NO_3^-$ (mg/kg) | $NH_4^+$ (mg/kg) | Available P (mg/kg) | Available K (mg/kg) | Soil organic matter (%) |
| 1 | Biocontrol agents (BCAs) only | 6.9[a] | 938.4[a]±328.0 | 145.4[a]±60.9 | 421.3[a]±49.6 | 2800[a]±151.8 | 15.0[a]±2.7 |
| | BCAs+chemicals | 6.9[a] | 1187[a]±345.7 | 117.8[a]±41.8 | 360.5[a]±76.0 | 2534[a]±159.6 | 14.8[a]±2.2 |
| | Chemicals only | 7.0[a] | 988.5[a]±164.6 | 133.8[a]±49.8 | 396.6[a]±40.8 | 2650[a]±204.0 | 13.9[a]±2.1 |
| 2 | Biocontrol agents (BCAs) only | 7.0[a] | 165.6[a]±169.9 | 62.2[a]±90.2 | 95.2[a]±19.4 | 980[a]±132.6 | 8.0[a]±2.2 |
| | BCAs+chemicals | 6.9[a] | 97.2[a]±59.6 | 50.3[a]±102.2 | 66.9[a]±6.8 | 1091[a]±135.5 | 7.1[a]±1.1 |
| | Chemicals only | 7.0[a] | 113.6[a]±122.8 | 51.4[a]±124.2 | 86.1[a]±14.6 | 1126[a]±200.3 | 6.1[a]±0.5 |

* Mean in the same column with different letters are significantly different (p > 0.05; DMRT)

**การตกค้างของสารเคมี**

ผลการศึกษาสารเคมี Clothianidin ที่ตกค้างในผลสดเมล่อน พบการตกค้างของสารเคมีเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งสองรอบการผลิตคือ ตรวจเจอการตกค้างในผลเมล่อนสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยสารเคมี คิดเป็น 0.023 มก./กก. รองลงมาคือกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี มีค่าตกค้างที่ 0.005 มก./กก. และไม่พบการตกค้างของสารเคมีในกรรมวิธีที่ฉีดด้วยชีวภัณฑ์ภายในโรงเรือนเดียวกันเลย (**Figure 7**) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาการตกค้างของสารเคมี Clothianidin ในดิน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 4 และ7 พบว่า กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยสารเคมีมีสารเคมี Clothianidin ตกค้างในสัปดาห์ที่ 1 สูงที่สุด 1.607 มก./กก. มากที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในทุกสัปดาห์ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์มีการตกค้างน้อยที่สุดในทุกสัปดาห์ (**Figure 7**)

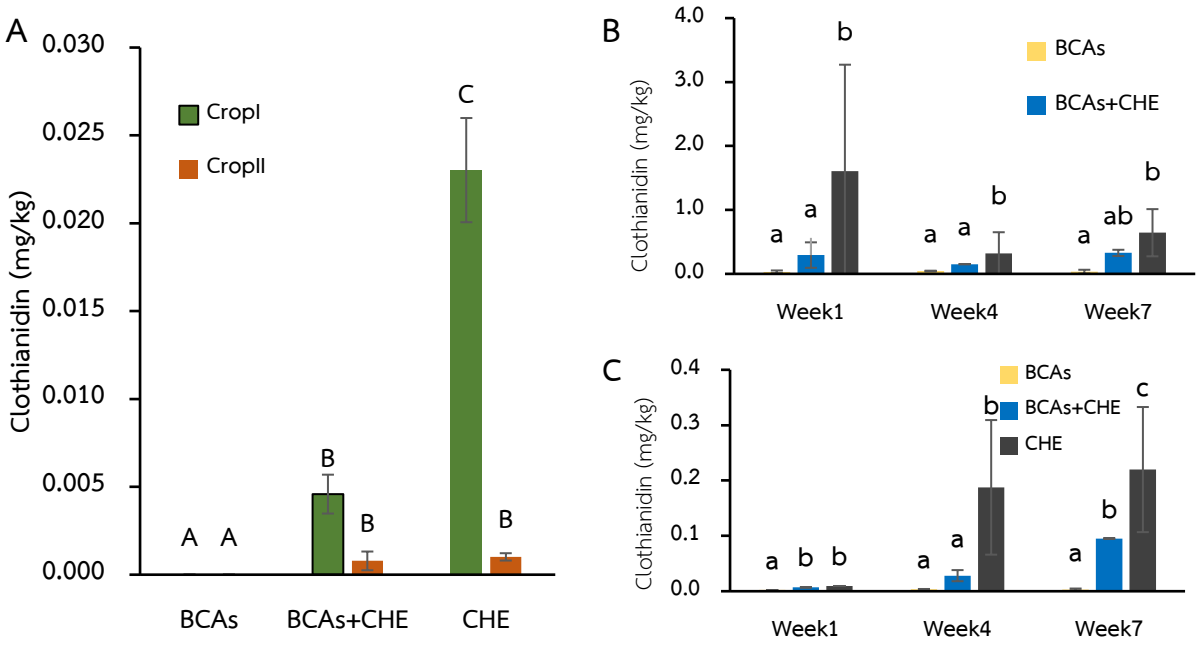


**Figure 7** Residues of clothianidin. (**A**) Residues of clothianidin on melon crop 1 and crop 2 (**B**) Residues of clothianidin in soil crop 1. (**C**) Residues of clothianidin in soil crop 2. Treatments were: BCAs, Biocontrol agents (BCAs) only ; BCAs+CHE, BCAs+chemicals ; and CHE, Chemicals only. Data shown are mean ± s.e.m. Different letters indicate statistical significance among the treatments (DMRT, $p < 0.05$)

**สรุปและวิจารณ์**

ในการศึกษานี้ คณะผู้วิจัยได้สาธิตถึงประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์ในการควบคุมแมลงและโรคพืชในเมล่อน ผลไม้สำคัญทางเศรษฐกิจของไทย โดยผลต่อแมลงศัตรูพืช ซึ่งตรวจสอบโดยการนับตรงใต้ใบเมล่อน พบแมลงศัตรูพืชสำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ ไรแดง แมลงหวี่ขาวยาสูบ และเพลี้ยไฟ ในการทดสอบรอบที่ 1 ส่วนในรอบที่ 2 พบเฉพาะ แมลงหวี่ขาวยาสูบ และเพลี้ยไฟ ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบในรอบที่ 1 เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 เป็นระยะที่ฝนเริ่มทิ้งช่วง อากาศร้อน แห้งแล้ง และมีลมพัดแรง ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการพัฒนาของแมงประเภทไร (วัฒนา และคณะ, 2544) แต่ในการทดสอบรอบที่ 2 ซึ่งเริ่มจากเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2565 ไม่พบไรแดงเลย เนื่องจากอากาศชื้น ฝนตกชุก สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมในการขยายพันธุ์ ทำให้ไม่พบไรแดงในโรงเรือน ผลการตรวจนับแมลงศัตรูพืชจากการทดสอบทั้ง 2 รอบ พบว่า ทั้งการนับแมลงบนใบและบนกับดักกาว กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์มีประสิทธิภาพควบคุมแมลงทั้งสามชนิดได้ดีที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ร่วมกับสารเคมี และกรรมวิธีสารเคมี โดยอ้างอิงจากจำนวนประชากรแมลงทั้งสามชนิดที่พบน้อยที่สุดในเมล่อนที่ใช้ชีวภัณฑ์ นอกจากนี้ ประชากรเพลี้ยไฟในกรรมวิธีสารเคมียังสูงกว่ากรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์ถึง 4 เท่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาการใช้ชีวภัณฑ์ในพืชผักของนาวินและคณะ (2559) ที่ได้รายงานประสิทธิภาพของสารชีวภัณฑ์เชื้อรา *Metarhizium anisopliae* ไอโซเลท 4849 และเชื้อรา *Beauveria bassiana* ไอโซเลท 533 สามารถควบคุมด้วงหมัดผักแถบลายในผักเบบี้ฮ่องเต้ภายใต้โรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน ข้อมูลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าชีวภัณฑ์สามารถควบคุมแมลงศัตรูพืชในแปลงเมล่อนสภาพโรงเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้น ชีวภัณฑ์มีความปลอดภัยไม่เป็นอันตรายต่อแมลงศัตรูธรรมชาติ และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สามารถคงอยู่ในธรรมชาติได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Zimmermann, 1993) โดยในโรงเรือนทดสอบของการศึกษานี้ พบแมลงศัตรูธรรมชาติที่เป็นประโยชน์หลายชนิด ได้แก่ แตนเบียน แมงมุม ด้วงก้นกระดก และไรตัวห้ำ แต่ไม่พบความแตกต่างของจำนวนที่พบระหว่างกรรมวิธี ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า แมลงเหล่านี้เคลื่อนย้ายรวดเร็ว สามารถข้ามจากบล็อคชีวภัณฑ์ ไปยังบล็อคของสารเคมีที่อยู่ในโรงเรือนเดียวกันได้

ในด้านคุณภาพของผลผลิตเมล่อน พบว่าเส้นรอบวงผลเมล่อนมีขนาดตั้งแต่ 43.79 - 50.67 ซม. และน้ำหนักผลสดเมล่อนอยู่ในช่วง 1.37 - 1.79 กก. ซึ่งทั้งเส้นรอบวงและน้ำหนักผลสดของการทดสอบทั้ง 2 รอบ ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามในการทดสอบรอบที่ 2 พบว่ากรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์มีปริมาณความหวานมากที่สุดถึง 16.04 %brix เมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อมูลนี้อาจแสดงว่าชีวภัณฑ์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาผลผลิตทำให้ผลผลิตมีความหวานมากขึ้น เช่นเดียวกับการรายงานของ Harman at al. (2004) และ Ghazanfar at al. (2018) ซึ่งพบว่าเชื้อราไตรโคเดอร์มานอกจากจะเป็นราที่สามารถคุมเชื้อราก่อโรคในพืชได้แล้ว ยังช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและการพัฒนาของรากพืช ส่งเสริมให้พืชมีผลผลิตเพิ่มขึ้น เพิ่มความต้านทานต่อความเครียดจากสิ่งมีชีวิตอื่น กระตุ้นการต้านทานของพืช และช่วยการดูดซึมสารอาหารของพืชให้ดีขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาผลกระทบของชีวภัณฑ์ต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน พบว่ากรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์สามารถส่งเสริมให้กิจกรรมการย่อยสลายในดินเกิดมากขึ้น เนื่องจากตรวจพบปริมาณไนเตรท แอมโมเนียม โพแทสเซียม ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ที่มากที่สุด และปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่สูงขึ้นด้วย รายงานก่อนหน้าระบุว่า ชีวภัณฑ์ราไตรโคเดอร์มาสามารถผลิตกรดอินทรีย์ เช่น กรดกลูโคนิก กรดซิตริก หรือกรดฟูมาริก ที่ช่วยลด pH ของดินและช่วยให้เกิดการละลายของฟอสเฟตและไอออนบวก เช่น เหล็ก แมงกานีส และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่พืชจำเป็นต้องใช้ ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้งานได้ จึงมีประโยชน์สำหรับกระบวนการสังเคราะห์พลังงานของพืช (Benítez., et al., 2004; Harman., et al, 2004; Birkhofer et al., 2008) และมีการศึกษาการทำเกษตรอินทรีย์ในระยะยาว พบว่าสามารถส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าการทำเกษตรแบบดั้งเดิมคือการใช้สารเคมี มากกว่า 18%

นอกเหนือจากแง่มุมการจัดการโรคและแมลงรบกวนแล้ว ความปลอดภัยจากสารเคมีตกค้างก็เป็นข้อกังวลต่อสังคมและผู้บริโภคเช่นกัน ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบสารเคมีตกค้างทั้งในผลเมล่อนสดซึ่งส่งผลกระทบกับผู้บริโภคโดยตรง และศึกษาผลการตกค้างในดินเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการตกค้างของสารเคมีในแปลงเป็นปัจจัยเริ่มต้นของการปนเปื้อนของสารเคมีสู่แหล่งน้ำและห่วงโซ่อาหารต่อไป (Bommuraj et al., 2019) ผลการวิเคราะห์สารเคมี Clothianidin ตกค้างในผลสดเมล่อนพบว่ามีสารเคมีตกค้างสูงถึง 0.023 มก./กก. ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยสารเคมี ซึ่งมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex Alimentarius Commission) ได้กำหนดค่า ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (maximum residue limit for pesticide; MRL) ของสาร Clothianidin ที่ตกค้างในผักผลไม้ทั่วไปอยู่ที่ 0.050 มก./กก. หมายถึงเมล่อนที่ทดสอบในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยสารเคมี ซึ่งฉีดพ่นด้วยความเข้มข้นที่แนะนำตามฉลากข้างขวด คือ 0.05% w/v และงดการฉีดสารเคมี 10 วันก่อนการเก็บเกี่ยวนี้ ไม่เกินค่ามาตรฐานที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO) และองค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) ได้กำหนดไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Abdallah at all (2019) ที่ตรวจสอบการตกค้างของสารเคมี Clothianidin ในถั่วเขียว พริกไทย และแตงโม พบว่าค่าครึ่งชีวิตของสาร Clothianidin เท่ากับ 1.9, 2.07 และ 1.87 วันตามลำดับ และแนะนำให้บริโภคได้ หลังการหยุดใช้สารเคมีเป็นเวลา 5-7 วัน จึงจะปลอดภัยต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตามแม้ว่าการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงจะยังอยู่ในมาตรฐาน แต่ผู้วิจัยพบว่า กรรมวิธีที่ใช้ชีวภัณฑ์เพียงอย่างเดียวไม่มีการตกค้างของสารเคมีเลย ทำให้สามารถใช้ชีวภัณฑ์ในการควบคุมแมลงและโรคได้ตลอดอายุการปลูกเมล่อน ไม่จำเป็นต้องรอระยะเวลาให้สารเคมีสลายตัว ไม่เพียงแต่การเพาะปลูกเมล่อน แต่รวมไปถึงกลุ่มพืชที่รับประทานทั้งผล ถือว่าเป็นทางเลือกสำหรับผู้ทำเกษตรอินทรีย์และเกษตรปลอดภัย (good agricultural practice; GAP) ที่ดี สำหรับผลการศึกษาสารเคมีตกค้างในดิน พบการตกค้างในสัปดาห์ที่ 1 สูงสุดที่ 1.607 มก./กก. ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยสารเคมี เนื่องจากในสัปดาห์แรกๆ นั้น มีโอกาสที่สารเคมีจะตกค้างสู่ดินได้สูงที่สุดเนื่องจากต้นเมล่อนยังมีขนาดเล็ก สารเคมีที่ฉีดพ่นจึงตกลงไปสู่ดินมากกว่าต้นเมล่อนที่พัฒนาเป็นต้นใหญ่ สารเคมี Clothianidin สามารถตกค้างอยู่ได้ในหลายส่วนของสิ่งแวดล้อม ทั้ง ดิน น้ำ ฝุ่น รวมไปถึงน้ำหวานจากเกสรดอกไม้ และน้ำผึ้ง (Bonmatin et al., 2003; Bommuraj et al., 2019; Hano et al., 2019; Wang et al., 2019)

โดยสรุป งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ชีวภัณฑ์เพื่อควบคุมศัตรูเมล่อนในสภาพโรงเรือนได้ผล อย่างน้อยเทียบเคียงกับสารเคมี ทั้งในด้านของการควบคุมแมลง ด้านคุณภาพและปริมาณของผลผลิต และสารตกค้างที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมศัตรูพืชนี้จำเป็นต้องทำแบบผสมผสาน (integrate pest management; IPM) ซึ่งประกอบด้วยวิธีการที่

หลากหลาย นำมาใช้ร่วมกัน ผสมผสานกัน ให้ถูกตามหลักการ ถูกต้องตามสถานการณ์ และเหมาะสมกับสภาพพื้นที่นั้น ๆ การนำชีวภัณฑ์มาใช้ควบคุมศัตรูพืช ยังสามารถทำการผสมสารชีวภัณฑ์กับสารเคมีในปริมาณที่ลดลงซึ่งไม่ทำให้แมลงเกิดการดื้อยานั้น ถือเป็นทางเลือกที่ดีในกรณีระบาดรุนแรง ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าชีวภัณฑ์บางชนิด อาทิ เช่น ราไตรโคเดอร์มา ยังมีคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชต้านทานโรคได้ดี ดังนั้นผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถแสดงให้เห็นว่าสารชีวภัณฑ์และแผนการควบคุมศัตรูพืชแบบผสมผสาน (IPM) นี้มีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับใช้ควบคุมศัตรูพืชและดูแลเมล่อน โดยมีข้อดีคือลดการใช้สารเคมี เพิ่มความปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค รวมไปถึงการยกระดับความเชื่อมั่นในคุณภาพและความปลอดภัยของชีวภัณฑ์แก่เกษตรกรและผู้บริโภคอีกด้วย

**คำขอบคุณ**

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

**เอกสารอ้างอิง**

นาวิน สุขเลิศ, จิราพร กุลสาริน, ไสวบรูณพานิชพันธุ์ และวีรเทพ พงษ์ประเสริฐ. 2559. ประสิทธิภาพของสารชีวภัณฑ์เชื้อรากำจัดแมลงในการควบคุมด้วงหมัดผักแถบลายในเบบี้ฮ่องเต้บนพื้นที่สูงของจังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร. 32(2): 171-180.

วัฒนา จารณศรี, มานิตา คงชื่นสิน, เทวิน กุลปิยะวัฒน์ และพิเชฐ เชาวน์วัฒนวงศ์. 2544. ไรศัตรูพืชและการป้องกันกำจัด. กรมวิชาการเกษตร กองกีฏและสัตววิทยา กลุ่มงานวิจัยไรและแมงมุม. กรุงเทพฯ.

อลงกรณ์ อำนวยกาญจนสิน, รัศมี หวะสุวรรณ, เชษฐ์ธิดา ศรีสุขสาม, ธงชัย ตั้งใจดี, กัลยารัตน์ รัตนะจิตร, เสาวนีย์ ปานประเสริฐกุล ,ยุวนันท์ สันติทวีฤกษ์, กฤษดา บำรุงวงศ์, สุชาดา มงคลสัมฤทธิ์, เจนนิเฟอร์ เหลืองสะอาด และมรกต ตันติเจริญ. 2564. ภาพลักษณ์ของราแมลงและการใช้ประโยชน์ในสังคมไทย. วารสารมนุษยศาสตร์ปริทรรศน์. 43(1): 111-123.

Abdallah, O.I., R.M. Abd El-Hamid, and E.H. Abdel Raheem. 2019. Clothianidin Residues in Green Bean, Pepper and Watermelon Crops and Dietary Exposure Evaluation Based on Dispersive Liquid-Liquid Microextraction and Lc–Ms/Ms. Journal of Consumer Protection and Food Safety. 14(3): 293-300.

Aktar, M.W., D. Sengupta, and A. Chowdhury. 2009. Impact of Pesticides Use in Agriculture: Their Benefits and Hazards. Interdisciplinary toxicology. 2(1): 1-12.

Akutse, K.S., F.M. Khamis, F.C. Ambele, J.W. Kimemia, S. Ekesi, and S. Subramanian. 2020. Combining Insect Pathogenic Fungi and a Pheromone Trap for Sustainable Management of the Fall Armyworm, Spodoptera Frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Invertebrate Pathology. 177: 107477.

Al-mazra'awi, M., A. Al-Abbadi, M. Shatnawi, and M. Ateyyat. 2009. Effect of Application Method on the Interaction between Beauveria Bassiana and Neem Tree Extract When Combined for Thrips Tabaci (Thysanoptera: Thripidae) Control. Journal of Food Agriculture and Environment. 7: 869-873.

Amnuaykanjanasin, A., J. Jirakkakul, C. Panyasiri, P. Panyarakkit, P. Nounurai, D. Chantasingh, and M. Tanticharoen. 2013. Infection and colonization of tissues of the aphid Myzus persicae and cassava mealybug Phenacoccus manihoti by the fungus Beauveria bassiana. Journal of the International Organization for Biological Control. 58(3): 379-391.

Benítez, T., A.M. Rincón, M.C. Limón, and A.C. Codón. 2004. Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains. International microbiology: the official journal of the Spanish Society for Microbiology. 7(4): 249-260.

Birkhofer, K., T.M. Bezemer, J. Bloem, M. Bonkowski, S. Christensen, D. Dubois, and S. Scheu. 2008. Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. Soil Biology and Biochemistry. 40(9): 2297-2308.

Bommuraj, V., Y. Chen, H. Klein, R. Sperling, S. Barel, and J.A. Shimshoni. 2019. Pesticide and trace element residues in honey and beeswax combs from Israel in association with human risk assessment and honey adulteration. Food Chemistry. 299: 125123.

Bonmatin, J.M., I. Moineau, R. Charvet, C. Fleche, M.E. Colin, and E.R. Bengsch. 2003. A LC/APCI-MS/MS Method for Analysis of Imidacloprid in Soils, in Plants, and in Pollens. Analytical Chemistry. 75(9): 2027-2033.

Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils. Soil Science. 59(1): 39-46.

Carter, M.R., and E.G. Gregorich. 2008. Soil sampling and methods of analysis. European Journal of Soil Science. 59(5): 1010-1011.

Castineiras, A., J.E. Peña, R. Duncan, and L. Osborne. 1996. Potential of Beauveria Bassiana and Paecilomyces Fumosoroseus (Deuteromycotina: Hyphomycetes) as Biological Control Agents of Thrips Palmi (Thysanoptera: Thripidae). The Florida Entomologist. 79(3): 458-461.

Hano, T., K. Ito, N. Ohkubo, H. Sakaji, A. Watanabe, K. Takashima, and K. Mochida. 2019. Occurrence of neonicotinoids and fipronil in estuaries and their potential risks to aquatic invertebrates. Environmental Pollution. 252: 205-215.

Harman, G.E., C.R. Howell, A. Viterbo, I. Chet, and M. Lorito. 2004. *Trichoderma* species - opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology. 2(1): 43-56.

Mahmood, I., S.R. Imadi, K. Shazadi, A. Gul, and K.R. Hakeem. 2016. Effects of Pesticides on Environment. Plant Soil and Microbes. 1: 253-269.

Palumbo, J.C., and D. Kerns. 1998. Melon Insect Pest Management in Arizona. University of Arizona, College of Agriculture and Life Sciences. IPM Series. 11: 1-7.

Rebecca B., United States. Natural Resources Conservation Service., National Soil Survey Center (U.S.)., and National Soil Survey Laboratory (U.S.). 2004. Soil survey laboratory methods manual. United States Dept. of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C.

Tabara, M., Y. Nagashima, K. He, X. Qian, K.M. Crosby, J. Jifon, G.K. Jayaprakasha, B. Patil, H. Koiwa, H. Takahashi, and T. Fukuhara. 2021. Frequent asymptomatic infection with tobacco ringspot virus on melon fruit. Virus research. 293: 198266.

Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Science. 37(1): 29-38.

Wang, A., G. Mahai, Y. Wan, Y. Jiang, Q. Meng, W. Xia, and S. Xu. 2019. Neonicotinoids and carbendazim in indoor dust from three cities in China: Spatial and temporal variations. Science of The Total Environment. 695: 133790.

Wang, X., L. Xue, S. Chang, X. He, T. Fan, J. Wu, J. Niu, and B. Emaneghemi. 2019. Bioremediation and Metabolism of Clothianidin by Mixed Bacterial Consortia Enriched from Contaminated Soils in Chinese Greenhouse. Process Biochemistry. 78: 114-122.

Wasuwan, R., N. Phosrithong, B. Promdonkoy, D. Sangsrakru, C. Sonthirod, S. Tangphatsornruang, S. Likhitrattanapisal, S. Ingsriswang, C. Srisuksam, K. Klamchao, M. Suksangpanomrung, T. Hleepongpanich, S. Reungpatthanaphong, M. Tanticharoen., and A. Amnuaykanjanasin. 2022. The Fungus *Metarhizium* Sp. Bcc 4849 Is an Effective and Safe Mycoinsecticide for the Management of Spider Mites and Other Insect Pests. Insects. 13(1): 42.

Zhang, Q., C. Shan, W. Song, W. Cai, F. Zhou, M. Ning, and F. Tang. 2021. Transcriptome Analysis of Starch and Sucrose Metabolism Change in Gold Queen Hami Melons under Different Storage Temperatures. Postharvest Biology and Technology. 174: 111445.

Zimmermann, G. 1993. The entomopathogenicf ungus *Metarhizium anisopliaeand* its potential as a biocontrol agent. PesticideScience. 37(4): 375-379.