

คัดเลือกและจำแนกแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการย่อยสลายสารเคมีไซเปอร์เมทริน ที่ตกค้างในดินทางการเกษตร

Isolation and Identification of Beneficial Bacteria Degrading Cypermethrin in Agricultural Soil

ฟ้าโพลิน เกียรติชัยภา¹ ดุสิต อธิณัฐ¹ และวิลาวรรณ เชื้อบุญ^{1*}
Faphailin Kiatchaipa¹, Dusit athinuwat¹ and Wilawan Chuaboon^{1*}

บทคัดย่อ

แบคทีเรียที่มีประโยชน์ 2 ไอโซเลท จากแบคทีเรียที่คัดแยกได้ทั้งหมด 4 ไอโซเลท จากดินที่ปนเปื้อนสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ นำมาทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารเคมีไซเปอร์เมทริน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทดสอบด้วยวิธีอาหารพิษ และประสิทธิภาพการย่อยสลายสารเคมีไซเปอร์เมทรินในสภาพดินจำลอง พบว่า แบคทีเรียไอโซเลท SP-TU-C และไอโซเลท SP-TU-D สามารถเจริญได้ดีบนอาหารพิษ โดยมีขนาดความกว้างโคโลนีเท่ากับ 2.65 และ 2.15 เซนติเมตรตามลำดับ รวมทั้งมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารเคมีในสภาพดินจำลอง โดยสามารถย่อยสลายสารเคมีให้อยู่ในระดับปลอดภัยได้ภายใน 7 วัน จำแนกชนิดของแบคทีเรียทั้ง 2 ไอโซเลท โดยศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และชีวเคมีบางประการ พบว่าแบคทีเรีย ไอโซเลท SP-TU-C และ SP-TU-D มีความเหมือนกับ *Pseudomonas fluorescens* และ *Paenibacillus popilliae* ตามลำดับ

คำสำคัญ: สารเคมีตกค้าง ไพรีทรอยด์ แบคทีเรียที่มีประโยชน์

Abstract

Two of four isolates of beneficial bacteria were screened for their ability to degrade residues of the pyrethroid insecticide cypermethrin that was contaminating soil. The research was of a completely randomized design. The bacterial isolates of SP-TU-C and SP-TU-D were found to be able to grow well on cypermethrin contaminated media and formed colonies of diameter sizes 2.65 and 2.15 cm, respectively. Furthermore, it was found that isolates SP-TU-C and SP-TU-D were able to effectively degrade permethrin residues in simulated soil. They were able to reduce chemical residues in the soils to safe levels within 7 days of testing when compared to controls. The isolates SP-TU-C and SP-TU-D were classified by testing of their morphological, physiological, and biochemical characteristics, and they were found to be similar to *Pseudomonas fluorescens* and *Paenibacillus popilliae*, respectively.

Keywords: chemical residues, pyrethroid, beneficial bacteria

คำนำ

ปัจจุบันเกษตรกรในประเทศต่าง ๆ ได้ใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์กันอย่างแพร่หลายในปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี เป็นผลให้สารเหล่านั้นนอกจากจะมีสะสมในผลผลิตทางเกษตรกรรมต่าง ๆ แล้ว ยังมีพบสะสมในสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมากด้วย โดยทั่วไปสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์เป็นสารเคมีที่เป็นพิษ สลายตัวได้ยากหรือช้า ความสามารถในการเกิดพิษจึงมีอยู่ได้เป็นระยะเวลานานทำให้เกิดผลเสียหลายประการ โดยเฉพาะเกิดการเสื่อมคุณภาพของดินและยังอาจทำลายจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ต่อการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินอีกด้วย (สุภาสินี อึ้งสูงเนิน, 2558) การที่ดินมีสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ สะสมในปริมาณมากและเป็นเวลานาน ทำให้ความสมบูรณ์ของดินลดน้อยลง เมื่อเป็นเช่นนั้นนาน ๆ ส่งผลทำให้พื้นที่เหล่านั้นไม่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกหรือเกิดการเสื่อมคุณภาพของดินในที่สุด (เปรมจิตร บุญสาย, 2556) สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไพรีทรอยด์ เป็นสารที่ถูกนำมาใช้ในการทำเกษตร ไพรีทรอยด์เป็นสารเคมีสังเคราะห์ที่มีสูตรโครงสร้างคล้ายสารไพรีทรินส์ที่สกัดมาจากดอกเบญจมาศ ตระกูล *Chrysanthemum* สารไพรีทรินส์เป็นสารกำจัดแมลงที่มีประสิทธิภาพสูงปลอดภัยในการใช้ มีพิษต่อสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมต่ำ แต่ด้วยคุณสมบัติที่ไม่ทนต่อแสงของสารนี้จึงมีการผลิตสารไพรีทรอยด์

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12121

¹ Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University Rangsit Campus, Khlong Luang, Pathumthani 12121

*Corresponding author, Email: wchuaboon@gmail.com

สังเคราะห์ขึ้นแทนเนื่องจากทนต่อแสงได้นานกว่า สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์ในการกำจัดแมลงโดยเกิดพิษที่ระบบประสาทของแมลง แต่สำหรับสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมรวมทั้งมนุษย์พบว่าเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนแปลงและถูกขับถ่ายออกโดยไม่สะสมในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย สารในกลุ่มนี้ เช่น อัลเลทริน (allethrin) ไบโອัลเลทริน (bioallethrin) ไบโອเรสมิทริน (bioresmethrin) ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin) เพอร์เมทริน (permethrin) และไซฟลูทริน (cyfluthrin) เป็นต้น (ภาควิชาเกษตรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2562)

ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นทำให้การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกและจำแนกแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการย่อยสลายเคมีไซเพอร์เมทรินที่ตกค้างในดินทางการเกษตร เพื่อประโยชน์ในการฟื้นฟูและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน

วิธีการศึกษา

เก็บและแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการย่อยสลายสารเคมีไซเพอร์เมทรินตกค้างในดินทางการเกษตร

สุ่มเก็บผิวดิน 20 จุดกระจายทั่วแปลงปลูกพืช ในพื้นที่ อำเภอสามโคก จังหวัดปทุมธานี เลือกเก็บดินจากแปลงผลิตพืชที่มีประวัติการใช้สารเคมีต่อเนื่องยาวนานกว่า 15 ปี ทำการสัมภาษณ์เจ้าของแปลงเพื่อสอบถามประวัติการใช้สารเคมีก่อนเก็บตัวอย่างดิน โดยสุดลึกลงประมาณ 1-15 นิ้ว แล้วจึงนำตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บได้ในแต่ละจุดในแปลงเดียวกันคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยน้ำหนักรวมของดินเท่ากับ 1 กิโลกรัม (เปรมจิตร์ บุญสาย, 2556) ทำการสุ่มตัวอย่างดินทั้งหมด 6 แปลง จากนั้นสุ่มดินจากแต่ละตัวอย่างเพื่อแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ โดยสุ่มตัวอย่างมา 100 กรัม เติมสารเคมีในกลุ่มไพรีทรอยด์โดยการทดลองนี้ใช้ไซเพอร์เมทริน (ซูเปอร์ทรอยด์ 35[®] ปริมาณสารออกฤทธิ์ไซเพอร์เมทริน 35%) เป็นตัวแทนลงไปดิน (ตามอัตราแนะนำ 40 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร) ปริมาตรที่เติมลงไปดิน 100 กรัม เท่ากับ 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นแยกเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีดัดแปลง Dilution plate method จากวิลลาร์ธรี เชื้อบุญ (2551) นำเชื้อที่ได้ไปกระจายให้ทั่วผิวดินอาหาร glucose nutrient agar (NGA) บ่มที่อุณหภูมิห้อง (28±3 องศาเซลเซียส) นาน 24-48 ชั่วโมง ตรวจสอบการเจริญของเชื้อแบคทีเรียบนผิวดินอาหาร นำโคโลนีทั้งหมดที่เจริญ streak บนอาหาร NGA เพื่อแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการย่อยสลายสารเคมีไซเพอร์เมทริน

การเตรียมแบคทีเรียที่มีประโยชน์

เลี้ยงเชื้อที่แยกได้จากข้อ 1 ในอาหาร nutrient glucose broth (NGB) เขย่า 120 รอบ/นาที นาน 24-48 ชั่วโมง จากนั้นปรับระดับความเข้มข้นประมาณ 1×10^8 โคโลนี/มิลลิลิตรหรือที่ค่า O.D. 0.2 ด้วย spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV18002.2

อาหารพิษ (poisoning medium)

ผสมสารเคมีไซเพอร์เมทริน ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient glucose agar (NGA) ในอัตราแนะนำ (40 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร) ความเข้มข้น 700 ppm จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะอาหาร หยดสารละลายแบคทีเรียที่มีประโยชน์ลงในหลุมทดสอบหลุมละ 10 ไมโครลิตร ประเมินประสิทธิภาพแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการย่อยสลายสารเคมีหรือเจริญคลุมทับผิวดินอาหารที่ผสมสารเคมีเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมด้วยน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ หลังบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 24-48 ชั่วโมง

ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสารเคมีในดินจำลองการปนเปื้อนสารเคมี

เตรียมดินจำลองการปนเปื้อนสารเคมีไซเพอร์เมทริน โดยนำผิวดินสำหรับปลูกพืชน้ำหนัก 1 กิโลกรัม หนึ่งฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง ผสมสารเคมีไซเพอร์เมทริน ความเข้มข้น 700 ppm ด้วยวิธีการพ่น จากนั้นเติมเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์จากข้อ 2.1 แต่ละชนิดในอัตราส่วน ดินจำลอง 1 กิโลกรัม : เชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ 10 มิลลิลิตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบประสิทธิภาพแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการย่อยสลายสารเคมีในดินจำลองกับกรรมวิธีควบคุมด้วยน้ำหนึ่งฆ่าเชื้อ หลังบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 และ 14 วัน โดยตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจ GT (กอบทอง ฐปัทม, 2540; 2541) กรรมวิธีประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1 (T1) ดินจำลองการปนเปื้อนสารเคมีไซเพอร์เมทรินผสมแบคทีเรียที่มีประโยชน์

ไอโซเลท SP-TU-C

กรรมวิธีที่ 2 (T2) ดินจำลองการปนเปื้อนสารเคมีไซเพอร์เมทรินผสมแบคทีเรียที่มีประโยชน์

ไอโซเลท SP-TU-D

กรรมวิธีที่ 3 (T3) ดินจำลองการปนเปื้อนสารเคมีไซเพอร์เมทรินผสมน้ำหนึ่งฆ่าเชื้อ (กรรมวิธีควบคุม)

การจำแนกชนิดเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์

จำแนกชนิดของแบคทีเรียโดยศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการ ได้แก่ oxygen relationship, gelatin hydrolysis, catalase production, levan formation, starch hydrolysis, citrate utilization, urease test และ salt tolerance (วิลาวรรณ์ เชื้อบุญ, 2551; Schaad, 1988)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

แยกเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์

สามารถแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ได้ จำนวน 4 ไอโซเลท โดยแต่ละไอโซเลทมีลักษณะโคโลนีบนอาหาร NGA คือ A) ไอโซเลท SP-TU-A โคโลนีสีเหลืองครีม มันวาว กลมมน ขอบเรียบ B) ไอโซเลท SP-TU-B โคโลนีสีขาว มันวาว ขอบหยัก C) ไอโซเลท SP-TU-C โคโลนีสีเหลืองใส มันวาว กลมมน ขอบเรียบ D) ไอโซเลท SP-TU-D โคโลนีสีขาว ด้าน ขอบหยัก (Figure 1)

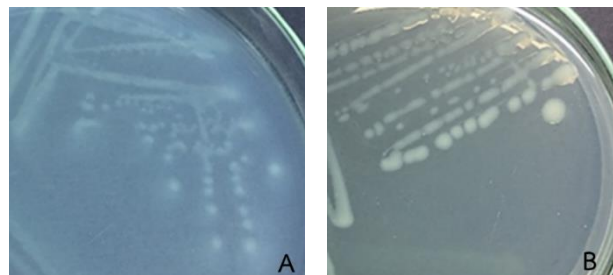


Figure 1 Characteristic bacterial colonies of isolate SP-TU-C (A) and SP-TU-D (B) on NGA incubated at room temperature with 24 hours.

ทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารเคมีไซเพอร์เมทริน

การทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารเคมีไซเพอร์เมทรินของแบคทีเรียที่มีประโยชน์จำนวน 4 ไอโซเลท พบว่าแบคทีเรียที่มีประโยชน์ไอโซเลท SP-TU-C และไอโซเลท SP-TU-D มีความสามารถในการย่อยสลายสารเคมีไซเพอร์เมทรินและเจริญได้เมื่อทดสอบบนอาหารพิซ โดยมีการเจริญคลุมทั่วผิวน้ำอาหารได้อย่างรวดเร็ว โดยมีขนาดความกว้างโคโลนีเท่ากับ 2.65 และ 2.15 เซนติเมตร ตามลำดับ และผลการทดสอบการย่อยสลายสารในสารเคมีไซเพอร์เมทรินในดินจำลองการปนเปื้อนสารเคมีโดยทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียทั้ง 2 ไอโซเลท พบว่าแบคทีเรียที่มีประโยชน์สายพันธุ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายสารเคมีตกค้างให้ดิน โดยใช้เวลาในการย่อยสลายสารเคมีตกค้างให้อยู่ในระดับปลอดภัยได้โดยใช้เวลาเพียง 7 วันเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับหลอดทดสอบควบคุมและหลอดทดสอบตัดสินซึ่งมีระดับสีที่จางกว่าตามวิธีการของ กอบทอง ฐปหอม (2541) (Figure 2) เช่นเดียวกับการรายงานของกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2561) ซึ่งกล่าวว่า มีจุลินทรีย์ในธรรมชาติบางชนิดสามารถปรับตัวให้ทนต่อสารเคมีและสามารถใช้สารเคมีที่ตกค้างเพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ เช่น จุลินทรีย์ย่อยสลายอาหารขึ้น ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืช ซึ่งมีทั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย เช่น *Pseudomonas* sp. strain ADP ที่สามารถย่อยอาหารขึ้นให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับแอมโมเนีย (สุวรรณิ แทนธานี, 2555) นอกจากนี้มีการรายงานการวิจัยแยกแบคทีเรียจากดินปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดนครราชสีมา พบว่า *Aeromonas* spp. 2 สายพันธุ์สามารถย่อยสลายพาราควอตได้ 24.36 และ 53.40% ตามลำดับ (Viriyawattana and Surachat, 2014) ยีสต์ *Lipomyces starkeyi* สามารถย่อยสลายพาราควอตในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปราศจากไนโตรเจน โดยสามารถใช้พาราควอตเป็นแหล่งไนโตรเจน (Robert et al., 1985)

จำแนกชนิดเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์

จำแนกชนิดแบคทีเรียที่มีประโยชน์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายสารเคมีไซเพอร์เมทริน คือ ไอโซเลท SP-TU-C และไอโซเลท SP-TU-D เมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่า ไอโซเลท C) ไอโซเลท SP-TU-C โคโลนีสีเหลืองใส มันวาว กลมมน ขอบเรียบ D) ไอโซเลท SP-TU-D โคโลนีสีขาว ด้าน ขอบหยัก และศึกษาคุณสมบัติทางสรีรวิทยา พบว่าไอโซเลท SP-TU-C เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ในขณะที่ ไอโซเลท SP-TU-D เป็นแบคทีเรียแกรมบวก จากนั้นนำมาศึกษาคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการเปรียบเทียบกับตำรา Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9th Edition (Holt et al., 1994) พบว่า ไอโซเลท SP-TU-C และไอโซเลท SP-TU-D มีความเหมือนกับ *Pseudomonas fluorescens* และ *Paenibacillus popilliae*

ตามลำดับ (Table 1) เช่นเดียวกับการรายงานการใช้ในการกำจัดสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ตัวอย่างเช่น *Aerobacter aerogenes*, *Trichoderma viridae*, *Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Arthrobacter* sp. และ *Bacillus* sp. สามารถกำจัดได้ดีที่ นอกจากนี้ *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Achromobacterium* sp., *Sphingomonas* sp. และ *Arthrobacter* sp. ยังสามารถกำจัดคาร์โบฟูรานซึ่งเป็นสารกลุ่มคาร์บาเมตได้ (Porto et al., 2011) Singh and Walker (2006) ได้รวบรวมจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยออกาโนฟอสฟอรัส โดยพบว่าแบคทีเรียและเชื้อราหลายชนิดสามารถย่อยได้ เช่น *Pseudomonas* spp. และ *Flavobacterium* spp. สามารถย่อยได้ทั้งคลอร์ไพริฟอส พาราไธออน เมทิลพาราไธออน และไกลโฟเซต

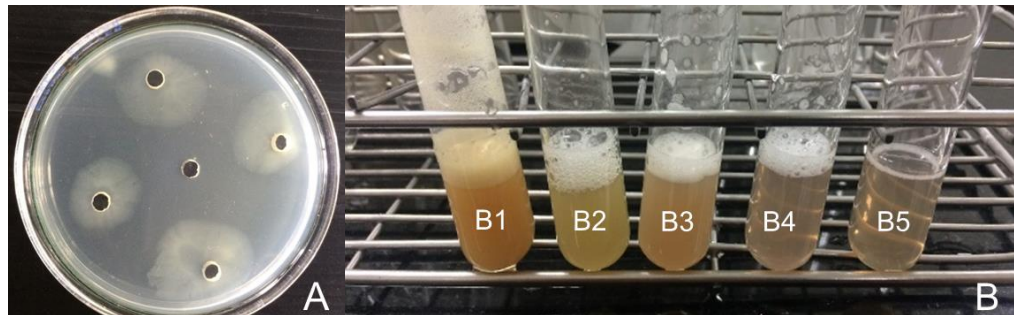


Figure 2 Efficacy of beneficial bacteria isolate SP-TU-C degraded chemical residues with poisoning medium test (A). Efficacy of beneficial bacteria to degrade of organophosphate chemical residues in soil by GT test kit (B): B1) decision marker, B2) control marker, B3) control treatment (sterilize water), B4) SP-TU-C, and B5) SP-TU-D.

Table 1 The biochemical characteristics test of beneficial strains SP-TU-C and SP-TU-D^{1/}.

Characteristics	Beneficial strains		Compared strains	
	SP-TU-C	SP-TU-D	<i>P. fluorescens</i>	<i>P. popilliae</i>
Starch hydrolysis	+	-	+	-
Catalase production	+	-	+	-
Oxygen relationship	+	+	+	+
Citrate utilization	+	-	+	-
Gelatin hydrolysis	+	-	+	-
Urease test	-	-	-	-
Indole test	-	-	-	+
Levan formation	-	-	-	-
Nitrate reduction	+	+	+	+
Salt tolerance				
5%	+	-	+	-
7%	+	-	+	-

^{1/} + = positive, - = negative reaction.

การศึกษาจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นแต่การย่อยหรือการบำบัดความเป็นพิษ ซึ่งแท้จริงแล้วจุลินทรีย์ในธรรมชาติไม่เพียงแต่ย่อยสลายสารพิษ แต่บางชนิดยังสามารถส่งเสริมการเจริญของพืชได้อีกด้วย เช่น *Acinetobacter calcoaceticus* MCm5, *Brevibacillus parabrevis* FCm9 และ *Sphingomonas* sp. RCm6 ที่สามารถย่อยสลายสารเคมีไซเพอร์เมทรินและสารกลุ่มไพรีทรอยด์ชนิดอื่นได้ดี นอกจากนี้ แบคทีเรียเหล่านี้ยังมีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของพืช จากความสามารถในการละลายฟอสเฟต การผลิต indole acetic acid (IAA) และการผลิตแอมโมเนีย (Akbar et al., 2015) ซึ่งความสามารถในการย่อยสลายสารเคมี และการส่งเสริมการเจริญของพืชดังกล่าวจะช่วยสนับสนุนการฟื้นฟูดินจากสารเคมีตกค้างโดยวิธีการทางชีวภาพ

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวัยครั้งนี้สามารถแยกเชื้อแบคทีเรียที่มีประโยชน์จากดินได้ทั้งหมด 4 ไอโซเลท และแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายสารเคมีไซเพอร์เมทรีน 2 ไอโซเลท คือ ไอโซเลท SP-TU-C และ ไอโซเลท SP-TU-D ทั้งในการทดสอบบนอาหารพืชและการย่อยสลายสารเคมีในสภาพดินจำลอง โดยสามารถย่อยสลายสารเคมีให้อยู่ในระดับปลอดภัยได้ภายใน 7 วัน เมื่อทำการจำแนกชนิดพบว่า ไอโซเลท SP-TU-C และ ไอโซเลท SP-TU-D มีแนวโน้มเป็นแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* และ *Paenibacillus popilliae* ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ กรมความร่วมมือระหว่างประเทศ (TICA) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย ในการศึกษาวัยระดับบัณฑิตศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2561. จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร. http://www.idd.go.th/WEB_WorldSoilDay/Data/Knowledge/SoilBiotechnology_TH.pdf (กันยายน 2562).
- กอบทอง ฐปัทม. 2540. ชุดตรวจสอบยาฆ่าแมลง/สารพิษตกค้าง. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรม ผลงานประดิษฐ์คิดค้นประเภททั่วไป รางวัลที่ 3 ในงานวันนักประดิษฐ์ปี 2540. กรุงเทพฯ: สำนักงานวิจัยแห่งชาติ.
- กอบทอง ฐปัทม. 2541. คู่มือชุดตรวจหาฆ่าแมลง/สารพิษตกค้าง. กรุงเทพฯ: กองอาหารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุข.
- เปรมจิตร์ บุญสาย. 2556. จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. ปทุมธานี: ศูนย์เรียนรู้การผลิตและจัดการธุรกิจ สิ่งพิมพ์ดิจิทัล.
- ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2562. สารกำจัดศัตรูพืช. 2562. http://www.pharmaco.vet.ku.ac.th/pdf_file/Pesticide_20161020.pdf (กันยายน 2562).
- วิลาวัณย์ เชื้อบุญ. 2551. ลักษณะและการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ควบคุม เชื้อ *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* สาเหตุโรคเน่าและของกะหล่ำดอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุธาสินี อึ้งสูงเนิน. 2558. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสต์เทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 9(1): 50-63.
- สุวรรณิ แทนธานี. 2555. จุลินทรีย์เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 60(190): 36-39.
- Akbar, N., Nanda, S., Belch, J., Cohen, P., and Khan, F. 2015. An important role for A20-binding inhibitor of nuclear factor-κB-1 (ABIN1) in inflammation-mediated endothelial dysfunction: an *in vivo* study in ABIN1 (D485N) mice. *Arthritis Research and Therapy* 17(22): 1-10.
- Holt, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H. A., Staley, J. T., and Williams, S. T. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 9th ed. Baltimore: The Williams and Wilkins Co.
- Porto, A. M., Melgar, G. Z., Kasemodel, M. C., and Nitschke, M. 2011. Biodegradation of pesticides, pesticides in modern world-pesticides use and management. <http://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-pesticides-use-and-management/biodegradation-of-pesticides>. (September 2019).
- Robert, J. G. C., Bilton, R. F., and Atkinson, T. 1985. Mechanism of biodegradation of paraquat by *Lipomyces starkeyi*. *Applied and Environmental Microbiology* 49(5): 1290-1294.
- Schaad, N. W. 1988. *Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria*. Saint Paul, Minnesota: Bacteriology Committee of American Phytopathological Society.
- Singh, B. K., and Walker, A. 2006. Microbial degradation of organophosphorus compounds. *FEMS Microbiology Reviews* 30: 428-471.
- Viriyawattana, N., and Surachat, S. 2014. Biodegradation of paraquat by the novel bacteria strain, *Aeromonas veronii* NK67 from cassava fields in Thailand. *Asian Journal Microbiology, Biotechnology and Environmental sciences paper* 16(1): 35-40.

วันรับบทความ (Received date) : 30 ต.ค. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 15 ม.ค. 63

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 17 ก.ค. 63