แนวทางการคงระดับประชากรเชื้อรา *Trichoderma* sp. เพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่า ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนของระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

STRATEGIC MANAGEMENT OF *TRICHODERMA* POPULATION FOR CONTROLLING PYTHIUM ROOT ROT IN THE RE-CIRCULATED NUTRIENT SOLUTION OF HYDROPONICS

คเณศ ใจเก่งกาจ

KANET JAIKENGKAJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AG-M-065-237

แนวทางการคงระดับประชากรเชื้อรา *Trichoderma* sp. เพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่า ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนของระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

STRATEGIC MANAGEMENT OF *TRICHODERMA* POPULATION FOR CONTROLLING PYTHIUM ROOT ROT IN THE RE-CIRCULATED NUTRIENT SOLUTION OF HYDROPONICS

คเณศ ใจเก่งกาจ

KANET JAIKENGKAJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AG-M-065-237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STRATEGIC MANAGEMENT OF *TRICHODERMA* POPULATION FOR CONTROLLING PYTHIUM ROOT ROT IN THE RE-CIRCULATED NUTRIENT SOLUTION OF HYDROPONICS

KANET JAIKENGKAJ

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-AG-M-065-237

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แนวทางการคงระดับประชากรเชื้อรา *Trichoderma* sp. เพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่า ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนของระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

Strategic management of *Trichoderma* sp. population for controlling Pythium root rot in re-circulated nutrient solution of hydroponics

นักศึกษา นายคเณศ ใจเก่งกาจ

รหัสประจำตัว 57604021

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เกษตรศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พรหมมาศ คูหากาญจน์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อำมร	อินทร์สังข์	
รศ.ดร.ถนิมนันต์	เจนอักษร	
รศ.ดร.สุวรินทร์	บำรุงสุข	
ดร.พรประพา	คงตระกูล	
รศ.ดร.พรหมมาศ	คูหากาญจน์	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 23 มิถุนายน 2560

สถานที่สอบ ห้องประชุม 2 (ชั้น 1 ตึกบุนนาค)

คณบดีรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑล แก่นมณี)

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

วันที่ 17 **เดือน** กรกฎาคม **พ.ศ.** 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการคงระดับประชากรเชื้อรา *Trichoderma* sp. เพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่า ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนของระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
ชื่อนักนักศึกษา	นายคเณศ ใจเก่งกาจ
รหัสนักศึกษา	57406021
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.พรหมมาศ คูหากาญจน์

บทคัดย่อ

ข้อจำกัดหนึ่งของการใช้ชีวผลิตภัณฑ์ควบคุมโรคพืช (เชื้อรา *Trichoderma harzianum*) ในการควบคุมโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ในสารละลายธาตุอาหารของระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน คือไม่สามารถรักษาระดับหรือชะลอการลดลงของเชื้อราปฏิปักษ์ดังกล่าวได้ ซึ่งส่งผลทำให้ศักยภาพของการควบคุมโรคแสดงออกได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือ เพื่อศึกษาชนิดและปริมาตรของวัสดุรองรับ และอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อประชากรและประสิทธิภาพของเชื้อรา *T. harzianum* ในการควบคุมโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนของระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดสอบเบื้องต้น

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ และผลของวัสดุรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* โดยทำการทดสอบในระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน ที่มีขวด PET (Polyethylene terephthalate) บรรจุวัสดุรองรับบางชนิด ได้แก่ เพอร์ไลท์และเวอร์มิคูไลท์ปริมาตร 1 ลิตรผสมกับชีวผลิตภัณฑ์ *T. harzianum* ในอัตรา 50 กรัม สำหรับกรรมวิธีควบคุมมีเฉพาะสารละลายธาตุอาหารผสมกับชีวผลิตภัณฑ์ในอัตราส่วนเดียวกัน ให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านวัสดุรองรับลงสู่กระบะสารละลาย และหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะแรกตรวจสอบความมีชีวิตรอดของจำนวนประชากร *T. harzianum* เป็นเวลา 7 สัปดาห์ ระยะที่สองผลของพืชต่อจำนวนประชากร *T. harzianum* โดยใส่ผักสลัดกรีนโอ๊คลงไปในระบบเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ระยะสุดท้ายตรวจสอบความมีชีวิตรอดของ *T. harzianum* หลังจากทำการเก็บผลผลิตแล้ว จากการตรวจนับจำนวนประชากร *T. harzianum* ในวัสดุรองรับและสารละลายในกระบะทุกสัปดาห์ พบว่าในช่วง 7 สัปดาห์แรกจำนวนประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T. harzianum ในภาชนะที่มีวัสดุรองรับมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยพบในช่วง 5.2-5.2 log cfu/ml ทั้งกรรมวิธีที่ใช้เพอร์ไลท์และเวอร์มิคูไลท์เป็นวัสดุรองรับ ส่วนในกรรมวิธีควบคุมมีอัตราลดลงอย่างรวดเร็วจาก 5.3 log cfu/ml เป็น 2.7 log cfu/ml ระยะที่สองในวัสดุรองรับทั้งสองลดลงเล็กน้อยในช่วง 4.9-5.0 log cfu/ml ส่วนในกรรมวิธีควบคุมลดลงเหลือ 2.6 log cfu/ml ระยะสุดท้ายในวัสดุรองรับทั้งสองลดลงเล็กน้อย 4.7-4.8 log cfu/ml ส่วนในกรรมวิธีควบคุมลดลงเหลือ 2 cfu/ml สำหรับจำนวนประชากร *T. harzianum* ในกระบะสารละลายของวัสดุรองรับทั้งสองชนิดพบจำนวนประชากร *T. harzianum* อยู่ในช่วง 3.0-3.5 log cfu/ml ซึ่งมากกว่าในกรรมวิธีควบคุมที่พบอยู่ในช่วง 2.0-2.5 log cfu/ml ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารที่มีวัสดุรองรับสามารถรักษาระดับจำนวนประชากรของ *T. harzianum* ให้มากกว่ากรรมวิธีควบคุมได้

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน ดังมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

เนื่องจากการทดลองในข้อ 1 แสดงให้เห็นว่าวัสดุรองรับสามารถรักษาระดับจำนวนประชากรของ *T. harzianum* ได้ จึงขยายขอบเขตการศึกษาไปยังวัสดุรองรับอินทรีย์ ซึ่งอาจมีสารอาหารมากกว่าวัสดุอนินทรีย์ ทดลองโดยทำการหมักวัสดุรองรับอินทรีย์ 7 ชนิด ได้แก่ เปลือกไม้สับ รำแกลบ สแฟกนั่มมอส พีทมอส ขุยมะพร้าว และเวอร์มิคูไลท์ ปริมาตร 1 ลิตร กับชีวผลิตภัณฑ์ *T. harzianum* ชนิดหัวเชื้อสดแบบผง (10^6 สปอร์ต่อกรัม) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นทดสอบในระบบสารละลายหมุนเวียนโดยนำวัสดุดังกล่าวใส่ลงในภาชนะขนาด 1.5 ลิตร ติดตั้งปั๊มให้สารละลายไหลผ่านวัสดุดังกล่าวลงสู่ถังสารละลายปริมาตร 15 ลิตร (เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 1) จากนั้นนำผักสลัดกรีนโอ๊คอายุ 3 สัปดาห์ใส่ลงในระบบ เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ (indicator) ความผิดปกติที่อาจเกิดจากผลกระทบของวัสดุรองรับ โดยเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ตรวจนับจำนวนประชากรเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าวัสดุอินทรีย์ทั้ง 7 ชนิด สามารถรักษาระดับประชากร *T. harzianum* ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สแฟกนั่มมอส ซึ่งสามารถรักษาระดับประชากรเชื้อดังกล่าวได้สูงสุดจากเริ่มต้น 5.8 เหลือ 5.6 log cfu/ml. ส่วนในกรรมวิธีอื่นๆ พบอยู่ในช่วง 4.0-5.6 log cfu/ml ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่วัสดุรองรับ) มีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วจาก 3.5 เหลือเพียง 3.0 log cfu/ml หลังจากนั้นไม่สามารถตรวจนับประชากรเชื้อดังกล่าวได้จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในส่วนของการทดสอบความสามารถในการควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. หลังการใช้งาน พบว่ายับยั้งได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีควบคุม และเมื่อพิจารณาคัดเลือกวัสดุรองรับอินทรีย์จากคุณสมบัติด้านต่างๆ เพื่อจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป โดยพิจารณาเลือกสแฟกนั่มมอส เพราะสามารถชะลอการลดลงของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ได้ดี ส่วนในด้านการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหลังการใช้งานพบว่า มีเพียงสีของวัสดุเท่านั้นที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ส่วนวัสดุอินทรีย์อีกชนิดที่ได้รับการพิจารณาคัดเลือกคือ ขุยมะพร้าว เนื่องจากสามารถลดปริมาณเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pythium sp. ได้ดี และยังคงมีปริมาณเชื้อ *Trichoderma* sp. อยู่สูง (4.0 log cfu/ml ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง) และคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุรองรับทั้งสอง ไม่มีผลกระทบเชิงลบกับพืช ดังนั้นจึงเหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเป็นระบบกรองชีวภาพต่อไป

การทดลองที่ 3 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2 แต่เปลี่ยนเป็นวัสดุรองรับอนินทรีย์ ซึ่งอาจมีความได้เปรียบในเรื่องความคงทนของวัสดุรองรับ ผลการทดลองพบว่าวัสดุรองรับอนินทรีย์ทุกชนิดสามารถทำให้จำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* มีอัตราการลดลงที่ช้ากว่าปกติได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ไม่มีวัสดุรองรับ) ประชากรเชื้อดังกล่าวในวัสดุรองรับมีการลดลงอย่างรวดเร็ว จาก 3.62 log cfu/g ในสัปดาห์แรกของการทดลอง เหลือเพียง 1.2 log cfu/g ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ในขณะที่แกลบเผามีจำนวนประชากรเชื้อดังกล่าวมากที่สุดคือ 4.8 log cfu/g และยังคงมีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง คือ 4.4 log cfu/g เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ รองลงมาคือ เพอร์ไลท์ มีประชากรเชื้อ *T. harzianum* เริ่มต้น 4.8 log cfu/g จากนั้นลดลงเหลือ 4.2 log cfu/g ส่วนกรรมวิธีอื่นๆ พบอยู่ในช่วง 3.8-4.0 log cfu/g ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง สำหรับประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารพบอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยกรรมวิธีควบคุม (ไม่มีวัสดุรองรับ) ตรวจพบน้อยที่สุดคือ 0.8 log cfu/ml ส่วนในกรรมวิธีอื่นๆ พบอยู่ในช่วง 0.9-1.1 log cfu/ml และเมื่อพิจารณาคัดเลือกวัสดุรองรับอนินทรีย์จากคุณสมบัติด้านต่างๆ เพื่อจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป โดยพิจารณาเลือก แกลบเผาและทรายหยาบ ซึ่งสามารถชะลอการลดลงของเชื้อรา *T. harzianum* และสามารถยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ได้ดี

การทดลองที่ 4 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาตรของวัสดุรองรับ ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน หลังจากได้วัสดุรองรับที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 2 และ 3 คือ สแฟกนั่มมอส ขุยมะพร้าว (วัสดุอินทรีย์) ทรายหยาบ และแกลบเผา (วัสดุอนินทรีย์) จึงนำไปทดสอบหาปริมาตรที่เหมาะสม กำหนดให้มีปริมาตร 1 และ3 ลิตร ทดสอบในระบบ solution culture พบว่า สแฟกนั่มมอส และแกลบเผา ที่ปริมาตร 3 ลิตร สามารถทำให้เชื้อรา *T. harzianum* อยู่ในระบบได้สูงสุด

การทดลองที่ 5 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. และเชื้อ *Pythium* sp.ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน วางแผนการทดลองแบบ split plot in CRD กำหนดให้ ปัจจัยหลัก คือชนิดวัสดุรองรับ (แกลบเผาและสแฟกนั่มมอส) เปรียบเทียบกับระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration: SSF) ปัจจัยรองคือ อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหาร 3 ระดับ (0.5, 1 และ 2 ลิตรต่อนาที) ทำการทดลองในระบบ solution culture เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.3 จากนั้นนำผักสลัดบัตเตอร์เฮด และเรดคอรัลอายุ 3 สัปดาห์ใส่ลงในระบบ หลังจากนั้น 1 วัน ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ที่ความเข้มข้น 10^6 propagules/ml ปริมาตร 500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร ตรวจนับปริมาณเชื้อดังกล่าวทุกสัปดาห์พร้อมทั้งประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรค ผลการทดลองพบว่า ที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที ของระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ ผักสลัดบัตเตอร์เฮดมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคน้อยที่สุดคือ 44.5 และ 16.67 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ SSF ที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที มีความรุนแรงของโรคน้อยที่สุด คือ 77.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลอื่นๆ ของ SSF

การทดลองที่ 6 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการควบคุมโรครากเน่าในระบบ solution culture การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพและระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (SSF) ในการควบคุมโรครากเน่าในระบบ solution culture (และสภาวะที่ไม่มีเชื้อสาเหตุโรคดังกล่าว) โดยนำระบบกรองชีวภาพซึ่งผ่านการพิจารณาคัดเลือกจากการทดลองต่างๆ คือ ระบบกรองชีวภาพที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ ปริมาตร 3 ลิตร อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที (BF 1) ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ ปริมาตร 3 ลิตร อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที (BF 2) เปรียบเทียบกับ SSF ที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ ที่สามารถลดการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคลงได้ 89.0 และ 96.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า ในสภาวะที่ไม่มีเชื้อก่อโรคระบบกรองชีวภาพยังส่งผลทำให้พืชทดสอบเจริญเติบโตได้ดีกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Strategic management of *Trichoderma* population for controlling Pythium root rot in the re-circulated nutrient solution of hydroponics
Student	Mr. Kanet Jaikengkaj
Student ID.	57406021
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Prommart Koohakan

Abstract

Application of antagonistic biological control product in nutrient flow system of hydroponics was limited because the population of biological control agent (BCA) continuously decreased and lost from the system. Therefore, the maintaining population of BCA in effective level was necessary. This research was conducted on various kinds of supporting materials and the volume to maintain *T. harzianum* population, also the flow rate of nutrient solution that effective to control Pythium root rot in the re-circulated nutrient solution of hydroponics. Each part of thesis was as follow.

Experiment 1, this part was studied on the possibility and effect of supporting materials to maintain *T. harzianum* population in the re-circulated nutrient solution. The experiment was done in the re-circulating system of nutrient solution (NS), installed with PET bottle (Polyethylene terephthalate) containing supporting materials (perlite or vermiculite) at the volume of 1 L mixed with 50 g of Trichoderma biocontrol product. For control, it was PET and biocontrol product without supporting material. NS was passed through the bottle and run off into the NS tank in re-circulation. Population of *T. harzianum* in supporting material and NS tank were weekly detected throughout 3 periods. At the 1stperiod, the survival of *T. harzianum* in the system was detected for 7 weeks. In the 2nd period, effect of green oak lettuce on *T. harzianum* population was evaluated for 4 weeks. Then it was continuously detected for 3 weeks in the last period without plant. The result showed that *T. harzianum* population in perlite and vermiculite of the 1st period was rather stable. It was found in range of 5.3-5.2 log cfu/ml, while in control it reduced rapidly from 5.3 to 2.7 log cfu/ml. In the 2nd period, *T. harzianum* population in perlite and vermiculite slightly decreased to 4.9-5.0 log cfu/ml, but in control it was decreased to 2.6 log

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cfu/ml. In the last period, *T. harzianum* population in supporting materials was still higher (around 4.7-4.8 log cfu/ml) than that of control (2.0 log cfu/ml). For the population in the NS tank, system with supporting material was detected in the range of 3.0-3.5 log cfu/ml which higher than control (2.0-2.5 log cfu/ml). These results indicated effect of supporting material to maintain *T. harzianum* in higher population than that of control.

The experiment 2, owing to experiment 1 revealed that supporting material could maintain the population of *T. harzianum* in the re-circulating nutrient solution system at the higher level than that without supporting material. In this experiment we expanded the study to other organic supporting materials namely; rice hull, coconut-husk dust, rice bran, chopped bark, vermiculite, peat moss and sphagnum moss. Each supporting material was mixed with *Trichoderma* bioproduct (10^6 spore/ gram) and filled into polyethylene bag for a week. Then the materials were filled into container and installed to re-circulating nutrient system consisted 15 liters of nutrient solution (NS) in the tank. The NS was passed through the container and run off to the NS tank again. After that, green oak lettuces at 3 weeks of age were transplanted to the system as a growing indicator. *T. harzianum* population were weekly detected for 6 weeks. The result showed that all supporting materials could maintain *T. harzianum* population. Especially in sphagnum moss, *T. harzianum* population changed slightly by 5.8 to 5.6 log cfu/ml. In other supporting materials they were detected by 4.0-5.6 log cfu/ml., while control reduced rapidly from 3.5 to 3.0 log cfu/ml and undetected later. For the potential to control *Pythium* sp., it was found that treatment with supporting material could control *Pythium* sp. better than control and no effect on plant growth. This result indicated the possibility to develop as biofiltration and apply to hydroponics system.

The experiment 3, this experiment was similar to experiment 2 but focused on inorganic supporting materials. The experimental materials including coarse sand, fine sand, perlite, polyethylene foam, expanded clay, rice husk charcoal and polyester fiber were used and compared with control (without supporting material). The result showed that, *T. harzianum* population in control was rapidly reduced from 3.6 to 1.2 log cfu/ml in the last week. While rice husk charcoal, it was higher than other supporting material (4.4 log cfu/ml in the last week). For perlite, it was detected at 4.2 log cfu/ml. and the other material was detected about 3.8-4.0 log cfu/ml. For *T. harzianum* population in nutrient solution, all supporting material was nearly detected about 0.9-1.1 log cfu/ml. while control, it was detected at 0.8 log cfu/ml. From this

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

experiment, rice husk charcoal and coarse sand were selected due to *T. harzianum* population were highest and the potential for controlling *Pythium* sp. was appropriate.

Experiment 4, the relationship between kind and volume of supporting material were studied. This experiment was split plot in CRD, main plot was kind of supporting material including sphagnum moss, coconut-husk dust (organic supporting material), rice husk charcoal and coarse sand (inorganic supporting material), sub plot was volume of supporting material as 1 and 3 liters. Each supporting materials were filled into container (PVC size 10×100 centimeters) and installed to the solution culture consisted with 50 liters of nutrient solution (NS) in the tank. NS was re-circulated through the container and ran off to the NS tank in continuously. Butter head and red coral lettuces (3 weeks of age) were grown in this system. The result shown that, *T. harzianum* population in sphagnum moss and rice husk charcoal were highest about 5.8 and 4.4 log cfu/ml.

Experiment 5, the aim of research was to study the relationship of supporting material in biofiltration and flow rate of nutrient solution for controlling *Pythium* sp. Experimental design was split plot in CRD, main plot was type of supporting material (rice husk charcoal and sphagnum moss) compared with SSF. Sub plot was flow rate of nutrient solution (0.5, 1 and 2 liters/minute). Each supporting materials were filled into container as same as experiment 4. One day after, *Pythium* sp. (10^6 propagules/ml) was inoculated to the top of supporting material. Disease incidence and disease severity were weekly assessed. The result revealed that, biofiltration with sphagnum moss as supporting material was lowest disease incident and disease severity about 44.5 and 16.7 percent of flow rate at 2 l/min. For SSF at flow rate 0.5 of l/min, disease severity was lowest about 77.8 percent when compared with other flow rate.

Experiment 6, the potential of biofiltration for controlling Pythium root rot in the re-circulating nutrient solution of hydroponics was assessed. Two appropriate biofiltations were selected from previous experiment together with BF1 (3 liters of rice husk charcoal and 0.5 l/min of nutrient solution flow rate), BF2 (3 liters of sphagnum moss and 2 l/min of nutrient solution flow rate) compared with SSF at flow rate 0.5 l/min (with and without pathogen in the system). The result revealed that BF 2 gave the lowest disease severity about 89.0 and 96.0 percent when compared with control. Moreover in the without pathogen condition, both BF1 and BF2 could promote plant growth.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ตลอดจนลุง ป้า ที่ส่งเสียเลี้ยงดู และอบรมบ่มนิสัยจนเป็นคนดีได้ในปัจจุบัน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ถนิมนันต์ เจนอักษร อาจารย์คนแรกผู้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ด้านโรคพืช รวมไปถึงให้คำแนะนำ อบรมบ่มนิสัยรวมไปถึงสอดแทรกแนวทางการดำรงชีวิตในชีวิตประจำวัน ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พรหมมาศ คูหากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยชี้แนะ ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวรินทร์ บำรุงสุข ผศ.ดร.อำมร อินทร์สังข์ และ ดร.พรประพา คงตระกูล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และสอบประมวลความรอบรู้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทางด้านโรคพืช อันได้แก่ อาจารย์สำเริง คำทอง รศ.ดร.เกษม สร้อยทอง รศ.ดร.นวลพรรณ งามยิ่สุน และ ผศ.ดร.นงลักษณ์ เภรินทวงค์ ผู้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ด้านโรคพืช

ขอขอบคุณ คุณสุริย์สิทธิ์ สมนึก นักวิชาการเกษตร ประจำห้องปฏิบัติการโรคพืช และคุณบุปผา จงพัฒน์ คุณสุรีวัลย์ ศรีจาด นักวิชาการเกษตร ประจำห้องปฏิบัติการประมง ที่คอยอำนวยความสะดวกในการเบิกจ่ายอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง ขอขอบคุณ คุณภัทริน วิจิตระการ ดร.ธิติ ทองคำงาม คุณสุวัฒน์ อิ่มวิชิต ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาปัญหา และเทคนิคพิเศษตลอดจนการถ่ายภาพต่างๆ และขอขอบคุณน้องๆ ทุกคน โดยเฉพาะคุณทักษพร ช้างม่วง คุณปาณิศา ประสม คุณชิติพันธ์ ทองเจริญสุขชัย คุณนคร บุญน้อย คุณณัฐพล สินประสงค์ ที่คอยช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล รวมถึงให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณณัฐหทัย อยู่ประไพ และคุณธีรเจต ตั้งจาตุรงค์รัศมี ที่คอยเป็นเพื่อนคู่คิดและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา สุดท้ายนี้หากในวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ทางผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้

คเณศ ใจเก่งกาจ

19 เมษายน 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... V
กิตติกรรมประกาศ..... VIII
สารบัญ..... IX
สารบัญตาราง..... XII
สารบัญภาพ..... XIII
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความสำคัญและที่มา..... 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์..... 2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 12
3.1 การทดสอบเบื้องต้น (pre-test)..... 14
3.1.1 การศึกษาผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 14
3.2 การศึกษาผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 15
3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุรองรับ..... 15
3.2.2 การศึกษาผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 16
3.2.3 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. 17
3.3 การศึกษาผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 17
3.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาตรของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* และเชื้อ *Pythium* sp.ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 18
3.6 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพ ในการควบคุมโรคโคนเน่ารากเน่าในระบบ solution sulture..... 19
บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 21
4.1 การทดสอบเบื้องต้น (pre-test)..... 21
4.1.1 ผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 21
4.2 ผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 25
4.2.1 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุรองรับ..... 25
4.2.2 ผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 29
4.2.3 ความสามารถของวัสดุรองรับอินทรีย์ในการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ภายหลังการใช้งาน..... 32
4.3 ผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 33
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาตรของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 41
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* และเชื้อ *Pythium* sp. ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน..... 44
4.6 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพ ในการควบคุมโรคโคนเน่ารากเน่าในระบบ solution culture..... 52
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 63
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม..... 69
ภาคผนวก……... 74
ประวัติผู้เขียน……. 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ผลของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค	23
4.2	คุณสมบัติของวัสดุรองรับอินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน	25
4.3	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุรองรับอินทรีย์ภายหลังการใช้งาน	26
4.4	ประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ตรวจพบในวัสดุรองรับอินทรีย์	28
4.5	การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คภายใต้ระบบสารละลายหมุนเวียนที่มีวัสดุรองรับอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ	31
4.6	ปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. ที่ตรวจพบในวัสดุรองรับอินทรีย์ภายหลังการใช้งาน	32
4.7	คุณสมบัติของวัสดุรองรับอนินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน	33
4.8	การเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุรองรับอนินทรีย์ภายหลังการใช้งาน	34
4.9	จำนวนประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่นในที่ตรวจพบวัสดุรองรับอนินทรีย์	36
4.10	การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คภายใต้ระบบสารละลายหมุนเวียนที่มีวัสดุรองรับอนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ	38
4.11	ปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. ที่ตรวจพบในวัสดุรองรับภายหลังจากการใช้งาน	40
4.12	ผลของชนิดและปริมาตรวัสดุรองรับต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค	42
4.13	ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp.	46
4.14	ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดเรดคอรัล ที่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp.	47
4.15	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ได้รับการปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ในระบบ solution culture	61
4.16	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดเรดคอรัลที่ได้รับการปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ในระบบ solution culture	62
5.1	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำระบบกรองชีวภาพ	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างและส่วนประกอบของ slow sand filtration ……..	7
3.1	ระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น ……...	15
3.2	ระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลอง…….	18
4.1	ผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ.....	21
4.2	ผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร……..…	22
4.3	จำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในรากพืชทดสอบ …….	23
4.4	ลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *T. harzianum* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Trichoderma selective media …….	24
4.5	ผลของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ ต่อการเจริญของผักสลัดกรีนโอ๊ค	24
4.6	การเปรียบเทียบวัสดุรองรับอินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยายต่าง ๆ ……	27
4.7	สีของสารละลายธาตุอาหารในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง	28
4.8	ผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากร *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ…..	29
4.9	ผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากร *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร …….	30
4.10	การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คในกรรมวิธีต่างๆ	31
4.11	การเปรียบเทียบวัสดุรองรับอนินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยายต่าง ๆ ……...	35
4.12	สีของสารละลายธาตุอาหารในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง …….	36
4.13	ผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากร *T. harzianum* ในวัสดุรองรับอนินทรีย์ ……...	37
4.14	ผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากร *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร……..	38
4.15	ขนาดของผักสลัดกรีนโอ๊คในแต่ละกรรมวิธี ……	39
4.16	จำนวนประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในวัสดุรองรับที่ปริมาตรต่างๆ.....	41
4.17	จำนวนประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร ที่มีปริมาตรของวัสดุรองรับต่างกัน.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.18	ผลของวัสดุรองรับที่ปริมาตรต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค……	43
4.19	ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคในผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp.	44
4.20	ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคในผักสลัดเรดคอรัล ที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ……...	45
4.21	ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ……...	48
4.22	ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดเรดคอรัล …….....	49
4.23	ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อปริมาณเชื้อ *Pythium* sp ในวัสดุรองรับ หลังจากการปลูกเชื้อ 4 สัปดาห์	50
4.24	ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับและสารละลายธาตุอาหาร ของระบบกรองชีวภาพ	51
4.25	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรครากเน่าในผักสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ……	52
4.26	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรครากเน่าในผักสลัดเรดคอรัล เฮด ที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp.	53
4.27	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการลดการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัล ภายหลังจากการปลูกเชื้อ 7 วัน	54
4.28	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการลดการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัล หลังจากการปลูกเชื้อ 14 วัน	56
4.29	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อจำนวนประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ในวัสดุรองรับ …….	58
4.30	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อจำนวนประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ในสารละลายธาตุอาหาร ……..	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.31	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ในรากของผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัล …….	59
4.32	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในวัสดุรองรับและสารละลายธาตุอาหาร ……...	60
4.33	ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในรากพืชทดสอบ …….....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

แม้ว่าการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) จะเป็นการหลีกเลี่ยงเชื้อสาเหตุโรคพืชที่ติดต่อและแพร่ระบาดทางดิน (soil-borne pathogen) แต่อย่างไรก็ตามอาจเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคที่เกิดกับทางระบบราก เช่น โรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp., *Phytophthora* sp. และ *Fusarium* sp. (Stanghellini and Kronland, 1986; ธิติ และคณะ, 2555; Blancard *et al*., 2006) เป็นต้น สาเหตุเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างมาก ยิ่งหากเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหาร จะทำให้เกิดความเสียหายกับพืชทั้งหมดได้ วิธีการป้องกันกำจัดที่เห็นผลง่ายที่สุดคือการใช้สารเคมีควบคุมแต่ยังคงมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความห่วงใยในเรื่องผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของเกษตรกรและส่งผลทางอ้อมต่อผู้บริโภคคือสารพิษจะสะสมในร่างกาย (กรมวิชาการเกษตร, 2539; ศักดา, 2546) และยังคงติดข้อกฎหมายว่าด้วยเรื่องของสารตกค้างและวัตถุอันตรายทางการเกษตร และกฎหมายว่าด้วยการส่งออกพืชไปยังต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่มีความเข้มงวดในเรื่องของสารตกค้างในสินค้าทางการเกษตร เช่น ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และประเทศในแถบทวีปยุโรปจะไม่อนุญาตให้ใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต (JETRO, 2011) ทางเลือกอีกหนึ่งทางที่กำลังได้รับความนิยมคือ การควบคุมโดยชีววิธี (biological control) ย้อนไปตั้งแต่อดีตการควบคุมโดยชีววิธีเริ่มขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 (Baker and Snyder, 1965) หลังจากนั้นจึงมีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบันการควบคุมโดยชีววิธีนี้ถูกพัฒนาจนมีการนำไปใช้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในระบบสารละลายหมุนเวียน โดยทำการใส่ผลิตภัณฑ์ควบคุมโดยชีววิธี (biological control agent) เช่น จุลินทรีย์ปฏิปักษ์และจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่างๆ ลงไปในระบบ ตัวอย่างเช่น เชื้อรา *Trichoderma* sp. เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* และแบคทีเรียบริเวณเขตรากพืช (rhizosphere bacteria) อีกหลายๆ ชนิด โดยมีรายงานว่าเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้จะสามารถป้องกันกำจัดเชื้อสาเหตุโรคพืชได้แล้ว ยังมีส่วนช่วยในการกระตุ้นพืชทำให้เกิดความต้านทานต่อโรคพืชได้อีกด้วย (Cai *et al*., 2013; Nawrocka and Malolepzsa, 2013) นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (Paulitz, 2001; Gul *et al*., 2008; Vinale *et al*., 2009) ในปัจจุบันมีการพัฒนาเชื้อปฏิปักษ์ต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบของชีวผลิตภัณฑ์พร้อมใช้ ซึ่งทำให้สะดวกต่อการใช้มากยิ่งขึ้น เพื่อสร้างทางเลือกให้กับเกษตรกรให้หันมาใช้แทนการใช้สารเคมี อย่างไรก็ตามยังพบปัญหาในการใช้สารควบคุมโดยชีววิธี โดยเมื่อใส่ลงไปในระบบแล้วนั้น จำนวนประชากรเชื้อปฏิปักษ์เหล่านั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนในที่สุดจะไม่หลงเหลืออยู่ในระบบ หากเป็นเช่นนี้แล้วจะไม่เกิดประโยชน์ต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมโรคในระยะยาว ในขณะเดียวกันหากใส่ปริมาณมากๆ ในคราวเดียว อาจส่งผลให้เป็นอันตรายต่อรากพืชได้ (พรหมมาศ และอิทธิสุนทร, 2548ก)

ในขณะนี้ประเทศไทยสมควรพัฒนาระบบการจัดการโรคพืช โดยการหาเทคโนโลยีใหม่ๆ หรือพัฒนาวิทยาการที่มีอยู่ก่อนแล้ว เพื่อที่จะจัดระบบการป้องกันกำจัดโรคให้ยั่งยืนมากยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นไปในทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การพัฒนาการจัดการโรครากเน่าในระบบไฮโดรโพนิกส์ที่จากเดิมใช้เพียงการกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration: SSF) ที่มีประสิทธิภาพในการกรองทางกายภาพได้ดีในระดับหนึ่ง ให้มาเป็นการกรองทางชีวภาพ (Biofiltration) ซึ่งเกิดจากการประยุกต์และดัดแปลงจากการใช้ทรายเพียงอย่างเดียว มาเป็นวัสดุรองรับชนิดอื่นร่วมกับเชื้อรา *Trichoderma* sp. หรือชีวผลิตภัณฑ์ของเชื้อดังกล่าว เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการโรครากเน่าให้ดีที่สุด ซึ่งจะเป็นการตอบโจทย์ในด้านการแก้ปัญหาการใช้ในระบบสารละลายหมุนเวียนที่ไม่สามารถรักษาระดับหรือคงประสิทธิภาพของเชื้อดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการในการรักษาระดับจำนวนประชากรของเชื้อดังกล่าว โดยการหาวัสดุปลูกพืชชนิดต่างๆ หรืออาจเรียกว่าวัสดุรองรับ (Supporting material, วัสดุปลูก หรือวัสดุกรอง ซึ่งมีจุดมุ่งหมายนำไปใช้ในการเพิ่มจำนวนระชากรเชื้อปฏิปักษ์หรือการชะลอการลดลงของเชื้อดังกล่าวในระบบไฮโดรโพนิกส์) เพื่อเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับเชื้อ แทนสารละลายเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจทำให้มีอัตราการอยู่รอดเพิ่มขึ้นหรือคงระดับจำนวนประชากรไว้ให้ยาวนานขึ้นได้ ดังมีรายงานว่าวัสดุอินทรีย์บางชนิดเช่น แกลบ เวอร์มิคูไลท์ และรำ สามารถเพิ่มจำนวนประชากรของเชื้อดังกล่าวได้ (Rajput *et al*., 2014; Singh *et al*., 2007) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน โดยคัดเลือกวัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีความแตกต่างกันของสมบัติทางกายภาพและชีวเคมี เช่น ขนาดอนุภาค การอุ้มน้ำ และช่องว่างระหว่างอนุภาค นอกจากชนิดของวัสดุรองรับแล้ว ยังจำเป็นต้องศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อการควบคุมโรค เช่น ปริมาตรของวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหาร ตลอดจนการควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุสำคัญของโรครากเน่าในระบบสารละลายหมุนเวียน ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาและเพิ่มศักยภาพของการป้องกันกำจัดโรคพืชในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินให้ยั่งยืน และเผยแพร่แก่เกษตรกรต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาชนิดของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ในระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาตรของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ในระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

1.2.3 เพื่อศึกษาอัตราการไหลของสารละลายหมุนเวียนที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ในการควบคุมโรครากเน่าของผักสลัดที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium* sp.

1.2.4 เพื่อเพิ่มศักยภาพของชีวผลิตภัณฑ์ควบคุมโรคพืชโดยชีววิธีในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการและระบบกรองชีวภาพที่ได้รับการออกแบบสามารถตอบโจทย์และแก้ไขปัญหาในด้านการรักษาจำนวนประชากรเชื้อรา *Trichoderma* sp. ให้คงอยู่ในระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนอย่างสมดุลและยาวนานมากขึ้น โดยที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในเชิงลบกับพืช และสามารถช่วยป้องกันกำจัดเชื้อสาเหตุโรคพืช หรือลดอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรค ตลอดจนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. จุลินทรีย์ปฏิปักษ์และประสิทธิภาพในการควบคุมโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp.

พรหมมาศ และอิทธิสุนทร (2548ก) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ควบคุมโรคพืชโดยชีววิธีจากเชื้อรา *Trichoderma harzianum* และแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในการควบคุมโรครากเน่าของผักสลัดที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ nutrient film technique (NFT) โดยทำการใส่เชื้อรา *T. harzianum* ในระยะกล้า ที่ระดับความเข้มข้น 10^4 cfu/ml และก่อนการปลูกเชื้อที่ระดับความเข้มข้น 10^8 cfu/ml ปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อต้น ผลการทดลองพบว่าไม่สามารถลดการเกิดโรครากเน่าได้ในระยะที่รุนแรง นอกจากนี้ในปีเดียวกัน พรหมมาศ และอิทธิสุนทร (2548ข) ได้ศึกษาในทำนองเดียวกันแต่ใช้ผลิตภัณฑ์ควบคุมโรคพืชโดยชีววิธีในรูปแบบที่ต่างกันคือ สารแขวนลอยสปอร์ *T. harzianum* และส่วนแบบที่ 2 และ 3 เป็นแบบผงละลายน้ำที่ระดับความเข้มข้น 10^3-10^6 cfu/ml พบว่าในทุกรูปแบบสามารถลดการเกิดโรครากเน่าได้ที่ระดับ 22-100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลิตภัณฑ์ของ *B. subtilis* สามารถลดอัตราการเกิดโรคได้ 56-90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้แล้วยังมีการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียบริเวณเขตรากพืชจำนวน 16 ไอโซเลท ในการควบคุมโรคเดียวกัน โดยใช้ระดับความเข้มข้น 10^6 cfu/ml พบว่าสามารถลดอัตราการเกิดโรคลงได้ 38-96 เปอร์เซ็นต์

แพรทอง (2549) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อปฏิปักษ์ต่างๆ ในการควบคุมโรครากเน่าของผักกาดหอมที่เกิดจากเชื้อรา *P. aphanidermatum* ที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ โดยใช้เชื้อปฏิปักษ์ได้แก่ เชื้อรา *T. harzianum, T. virens* และเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus* ในระบบ NFT พบว่า การใช้ *T. harzianum* ในรูปของชีวผลิตภัณฑ์ชนิดสด 100 กรัมต่อสารละลาย 200 ลิตร สามารถช่วยลดความรุนแรงของโรคได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอมได้อีกด้วย

เพ็ญภัค (2552) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่เจริญครอบครองรากพืชในการควบคุมโรครากเน่าของผักกาดหอมที่เกิดจากเชื้อ *P. aphanidermatum* ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ NFT พบว่าสามารถลดการเข้าครอบครองรากพืชของ *P. aphanidermatum* ได้และยังมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในสภาวะที่ไม่มีเชื้อก่อโรคได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียดังกล่าวซึ่งพัฒนาให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ผสมแป้งในการควบคุมโรคเดียวกัน โดยใช้ในอัตรา 30 กรัมต่อสารละลายธาตุอาหาร 200 ลิตร พบว่าสามารถลดอัตราการเกิดโรคลงได้และสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิยะชาติ และคณะ (2555) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของ *Pseudomonas fluorescens* สายพันธุ์ ECO008 ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดและการควบคุมโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ในระบบไฮโดรโพนิกส์ โดยทำการใส่สารแขวนลอยแบคทีเรียดังกล่าวที่ระดับความเข้มข้น 10^6 cfu/ml ในระยะต่างๆ ของพืชได้แก่ ระยะเพาะเมล็ด ระยะที่สองใส่ลงในธาตุอาหาร 1 ครั้งและ 2 ครั้ง และใส่ในทุกกรรมวิธีที่กล่าวมาข้างต้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ฤดูกาลปลูก คือฤดูกาลแรกไม่ใส่เชื้อก่อโรค ฤดูกาลที่ 2 จะใส่เชื้อก่อโรค พบว่าในฤดูกาลแรกในกรรมวิธีที่มีการใส่แบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* สายพันธุ์ ECO008 ตั้งแต่ระยะเพาะกล้าและระหว่างการปลูกสามารถทำให้ผักสลัดมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงที่สุด ส่วนในฤดูกาลที่ 2 ซึ่งทำการใส่เชื้อก่อโรคก็ให้ผลไปในทางเดียวกันคือกรรมวิธีดังกล่าวมีอัตราการเกิดโรคน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน

Postma *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ท้องถิ่น (indigenous microflora)ในการควบคุมโรครากเน่าของแตงกวาสาเหตุจากเชื้อ *P. aphanidermatum* ในวัสดุปลูกใยหิน โดยทำการใส่เชื้อก่อโรคดังกล่าวลงในวัสดุปลูกใยหิน ที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ได้ฆ่าเชื้อ และเปรียบเทียบอัตราการเกิดโรคระหว่างกรรมวิธีทั้งสอง พบว่าวัสดุปลูกใยหิน ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมีอัตราการเกิดโรคลดลง 52-100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าหากมีการนำวัสดุปลูกใยหินที่ผ่านการใช้งานมาแล้วมาทำการสัมผัสกับใยหินที่ยังไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อจะทำให้คุณสมบัติในการลดการเกิดโรคกลับมาอีกครั้ง

Tawari and Bhanu (2003) ได้ศึกษากรรมวิธีในการเพิ่มการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* โดยใช้วัสดุอินทรีย์ได้แก่ ฟางข้าวสาลี ฟางข้าว ซังข้าวโพด ขี้เลื่อย กากพริก ชานอ้อยและรำ พบว่าฟางข้าวและฟางข้าวสาลีมีจำนวนสปอร์เชื้อราดังกล่าวมากที่สุดคือ 4.9×10^8 cfu/g ในช่วงระยะเวลา 5-20 วัน หลังจากนั้นในวันที่ 20 พบว่ารำข้าวมีจำนวนสปอร์เชื้อราดังกล่าวมากที่สุดคือ 40.8×10^8 cfu/g

Koohakan *et al.* (2004) ได้ศึกษาปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ (aerobic bacteria) และเชื้อราทั่วๆ ไป (general fungi) จากรากมะเขือเทศในวัสดุปลูกและระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบต่างๆ ได้แก่ เส้นใยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุปลูกอินทรีย์และใยหินซึ่งเป็นวัสดุปลูกอนินทรีย์ ในระบบ NFT และ DRFT พบว่าในระบบที่ต่างกันและใช้วัสดุปลูกที่ต่างกันนั้น ย่อมมีชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่ต่างกันด้วย โดยในส่วนของเส้นใยมะพร้าวพบว่ามีเชื้อรามากที่สุดคือ 5.1 log cfu/ml เมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ในรากมะเขือเทศในระบบอื่นๆ สำหรับแบคทีเรียที่ต้องการอากาศนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในระบบ DFT ที่พบในปริมาณน้อยกว่าในระบบอื่นๆ ในส่วนของจุลินทรีย์ที่เฉพาะเจาะจงนั้นจะตรวจพบ *Psuedomonas fluorescens* ในรากมะเขือเทศที่มี rock wool เป็นวัสดุปลูกมากกว่าในวัสดุปลูกที่เป็นเส้นใยมะพร้าว ในระบบ DFT ส่วน *Fusarium* sp. และ *Pythium* sp. จะตรวจพบในระบบ NFT มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Singh *et al.* (2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ในการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี โดยทดลองกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ ได้แก่ ซังข้าวโพด ซังข้าวโพดป่น แกลบ ขี้เลื่อย เมล็ดข้าวฟ่าง รำข้าวสาลี รำข้าวสาลีผสมขี้เลื่อย และใบชา จำนวน 250 กรัม ผสมกับสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. harzianum* ที่ระดับความเข้มข้น 10^8-10^{10} สปอร์ต่อกรัม พบว่าที่ระยะเวลา 30 วันใบชามีจำนวนประชากรเชื้อราดังกล่าวมากที่สุดคือ 8×10^8 cfu/g

Kanjanamaneesathian (2013) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรีย *B. velezensis* รูปแบบต่างๆ ต่อการควบคุมการเกิดโรครากเน่าของคะน้าฮ่องเต้ที่เกิดจากเชื้อ *P. aphanidermatum* ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ DFT โดยใช้ *B. velezensis* ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ รูปแบบเซลล์สด (ความเข้มข้น 10^{14}cfu/ml) และรูปแบบสารแขวนลอยเข้มข้น (ความเข้มข้น 10^{12} cfu/ml) โดยการฉีดพ่นลงบนรากและใส่ชิ้นวุ้นเชื้อสาเหตุลงในระบบ ผลการทดลองพบว่า *B. velezensis* ในรูปแบบต่างๆ สามารถลดอัตราการเกิดโรคได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรีย *B. velezensis* ผลิต IAA ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้อีกด้วย

Smolingka *et al.* (2014) ได้ศึกษาผลของวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่อจำนวนประชากร *Trichoderma* sp. โดยใช้วัสดุอินทรีย์ได้แก่ เปลือกหัวหอม กากแอปเปิ้ลและสตรอเบอรี่ ผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 และใช้สารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *Trichoderma* sp. ที่ระดับความเข้มข้น 10^7-10^8 cfu/ml ผลการทดลองพบว่า หลังจากทำการเก็บต้น pasley ไปแล้ว ยังมีจำนวนประชากรของเชื้อราดังกล่าว ที่ยังคงหลงเหลือในดินจำนวน $1.3\text{-}2.6\times10^6$ cfu/g

Rajput *et al.* (2014) ได้ศึกษาผลของวัสดุอินทรีย์ต่อการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* โดยใช้วัสดุอินทรีย์ 9 ชนิด ได้แก่ เมล็ดข้าว เมล็ดข้าวฟ่าง เมล็ดข้าวสาลี แกลบ มูลโค ขี้เลื่อย และมูลสัตว์ปีก โดยทำการใส่สารแขวนลอยสปอร์ที่ระดับความเข้มข้น 1.2×10^8 conidia/ml ต่อวัสดุอินทรีย์ 50 กรัม และทำการบ่มเชื้อไว้เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าเมล็ดข้าวฟ่างเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ดีที่สุดในการเพิ่มจำนวนสปอร์เชื้อรา *T. harzianum* โดยมีจำนวนสปอร์มากกว่าในมูลสัตว์ปีกซึ่งมีจำนวนสปอร์น้อยที่สุดถึง 10 เท่า

Chakrabarty *et al.* (2014) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปลูกต่อการสร้างสปอร์ของเชื้อรา *Trichoderma* sp. โดยใช้ใบ arecanus ใบกล้วย ใบมะพร้าว มูลโค สะเดา รำข้าว แกลบ แป้ง และ vemicompost ผสมกับสารแขวนลอยสปอร์เชื้อรา *T. viride* ที่ระดับความเข้มข้น 10^8 cfu/ml หลังจากนั้นตรวจผลโดย dilution plate technique พบว่ามูลโค มีจำนวนสปอร์มากที่สุด 51.5×10^8 cfu/g รองลงมาคือรำข้าวโดยมีจำนวนสปอร์ 48.12×10^8 cfu/g

Virgienie *et al.* (2015) ศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ในวัสดุปลูกอินทรีย์ ที่นิยมใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ได้แก่ ใยไม้สน (pine wood fiber) ขุยมะพร้าว (coir fibers) สแฟกนัมพีท (sphagnum peat) และใยไม้ poplar พบว่าวัสดุปลูกที่มีจุลินทรีย์สูงที่สุด คือ ใยไม้ รองลงมาคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขุยมะพร้าวจาก ผลการทดลองบ่งชี้วัสดุปลูกอินทรีย์ มีผลต่อการเจริญและความหลากหลายของจุลินทรีย์ท้องถิ่นในวัสดุปลูก

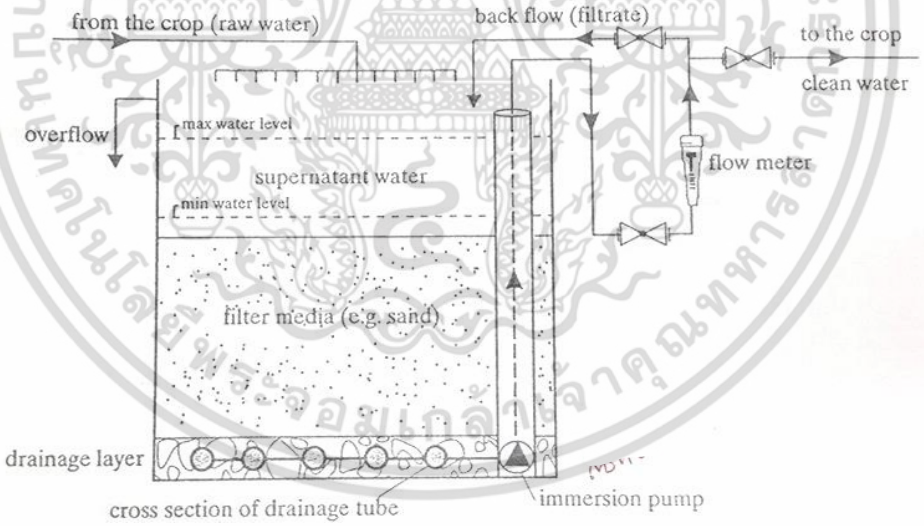
2. ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration) และการจัดการโรคราก่เน่าในระบบไฮโดรโปรนิกส์

2.1 หลักการและโครงสร้างของ slow sand filtration (Wohanka, 2002)

Slow sand filtration คือ การกรองด้วยทราย ซึ่งอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยให้น้ำหรือสารละลายอื่นๆ ไหลผ่านทรายอย่างช้าๆ มีอัตราการไหลอยู่ประมาณ 100 ถึง 300 ลิตร ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยผ่านชั้นทรายหรือวัสดุกรองอื่นๆ อนุภาคทรายจะดักจับสิ่งเจือปนไว้ ทำให้น้ำที่ได้ออกมาจึงค่อนข้างบริสุทธิ์

องค์ประกอบหลักของ slow sand filtration ได้แก่

1. กล่องวัสดุกรอง
2. ส่วนประกอบทางน้ำเข้า (inlet water)
3. ชั้นของทรายหรือวัสดุกรองอื่นๆ (filter media)
4. ระบบส่วนน้ำทิ้ง (drainage water)
5. ส่วนประกอบทางน้ำออก (ตัวปรับระดับน้ำออกและการควบคุมความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านวัสดุกรอง)



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของ slow sand filtration (Wohanka, 2002)

2.2 ประสิทธิภาพของ slow sand filtration ในการจัดการโรคในระบบไฮโดรโปรนิกส์

Bahgat *et al.* (1999) ได้ทดสอบการใช้การกรองผ่านทรายในการกรองน้ำเสียจากขยะ เพื่อประเมินการสะสม และการกระจายตัวของจุลินทรีย์ โดยทดลองระบบกรองทราย 2 ระบบ คือ ชั้นกรอง 1 ทรายหยาบ (ขนาด 2.0-0.2 มิลลิเมตร) ผสมกับกรวด (ขนาด 10-20 มิลลิเมตร) ในอัตรา 2:1 และชั้นกรองทราย 2 ใช้ทรายหยาบเพียงอย่างเดียว ทำการนับจำนวนจุลินทรีย์บริเวณด้านบนและด้านล่างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบกรองทราย พบว่าค่าเฉลี่ยของจุลินทรีย์ที่นับได้ในชั้นทรายกรองด้านบนและด้านล่างของชั้นกรอง 1 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ที่ $5.8x10^6$ และ $5x10^6$ cfu/g ตามลำดับ และ $1.3x10^7$ และ $3.6x10^6$ cfu/g ในชั้นกรองทราย 2 เมื่อตรวจนับชั้นทรายกรองด้านบนของชั้นกรอง 2 พบจุลินทรีย์มากกว่าชั้นกรอง 1

Garibaldi *et al*. (2003) ได้ศึกษากรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อลดการเกิดโรครากเน่าของเยอบีร่าที่เกิดจากเชื้อ *Ph. cryptogea* ในสารละลายธาตุอาหารโดยใช้ ระบบกรองผ่านทราย (slow sand filtration) การใช้รังสีอัลตร้าไวโอเล็ท (UV) และการใช้ระบบกรองผ่านทรายร่วมกับการใส่เชื้อปฏิปักษ์ (non pathogenic *Fusarium* และ *Trichoderma* sp.) ผลการทดลองพบว่า การใช้ระบบกรองผ่านทรายร่วมกับการใช้เชื้อปฏิปักษ์สามารถลดอัตราการเกิดโรครากเน่าของเยอบีร่าลงได้มากที่สุด รองลงมาคือการใช้ UV และต่ำสุดคือไม่ผ่านกรรมวิธีใดๆ

Matinez *et al.* (2010) ได้ศึกษากรรมวิธีในการลดการเกิดโรค crown rot ของสตรอเบอรี่ที่เกิดจากเชื้อ *Ph. cactorum* ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยใช้ระบบกรองผ่านทราย ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณของเชื้อดังกล่าวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังไม่พบส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อในน้ำที่ไหลออกจากระบบกรองเลย

Minuto *et al.* (2008) ได้ใช้กรรมวิธีต่างๆ ในการลดการเกิดโรคเหี่ยวของเยอบีร่าที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium* sp. ในระบบสารละลายหมุนเวียนแบบปิด (closed soilless system) โดยมีกรรมวิธีต่างๆ คือ ระบบกรองผ่านทราย (slow sand filtration) ระบบกรองผ่าน rockwool (ประยุกต์จากระบบกรองทรายแต่ใช้ rockwool เป็นวัสดุกรอง) การใช้รังสีอัลตร้าไวโอเล็ท (UV) ระบบกรองผ่านทรายร่วมกับการใช้เชื้อปฏิปักษ์ *Trichoderma* sp. และ *Streptomyces griseoviridis* โดยให้มีอัตราการไหลของสารละลาย 200 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า การใช้ระบบกรองผ่านทรายร่วมกับการใช้เชื้อปฏิปักษ์และการใช้ระบบกรองผ่าน rockwool สามารถลดอัตราการเกิดโรคได้ดีที่สุด ในขณะที่ระบบที่ไม่ผ่านกรรมวิธีใดๆ เลย มีอัตราการเกิดโรคสูงที่สุด

Bergstand *et al.* (2011) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองทรายในการควบคุมโรครากเน่าของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อ *P. aphanidermatum* ในระบบ NFT โดยใช้ระบบกรองทรายขนาด 0.4 ตารางเมตร และชั้นน้ำทิ้งขนาด 0.1 ตารางเมตร อัตราการไหล 96 ลิตรต่อชั่วโมง และ 300 ลิตร ต่อชั่วโมง พบว่าน้ำสารละลายที่ไหลออกจากระบบกรองที่มีอัตราการไหลทั้งสองระดับไม่มีเชื้อ *P. aphanidermatum* อยู่เลย พบเพียงจุลินทรีย์ท้องถิ่นเช่น *Pseudomonas fluorescent* ในปริมาณ 1.47±0.83 log cfu

Lee and Oki (2013) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองผ่านทรายในการลดการเกิดโรครากเน่าของพริกที่เกิดจากเชื้อ *Ph. capsici* ในระบบสารละลายหมุนเวียนแบบปิด (closed soilless system) โดยให้ชั้นวัสดุกรองยาว 2 เมตร และมีอัตราการไหล 148 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลออกจากระบบกรอง ผลการทดลองพบว่าสามารถลดส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อ (zoospore) ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 2-5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oszako *et al.* (2013) รายงานว่า SSF มีประสิทธิภาพที่ดีในการลดปริมาณเชื้อ *Phytophthora* sp. ซึ่งทำให้เกิดโรคกับต้นกล้าภายในโรงเรือน นอกจากนี้ยังทำการประเมินผลของ PCNB และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในชั้น biofilm (copiotrophic และoligotrophic bacteria) ของ SSF ผลการทดลองพบว่า การกระทำดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและประชากรแบคทีเรียที่อยู่ในชั้น biofilm ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของ SSF ในการควบคุมโรคดังกล่าว โดยพบว่าการใช้ PCNB ทำให้ปริมาณแบคทีเรียดังกล่าวลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

Beutel and Larson (2015) ดัดแปลง SSF มาใช้ในการจัดการเชื้อก่อโรค ได้แก่ *Escherichia coli* และ coliform bacteria โดยเปลี่ยนจากวัสดุกรองที่เป็นทรายมาใช้เป็นหินขนาด 2-3 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่า ภายในไม่กี่สัปดาห์บริเวณชั้นกรองเกิด biofilm มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อก่อโรคลงได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าปริมาณเชื้อก่อโรคลดลงเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในชั้น biofilm

Seeger *et al.* (2016) ศึกษาประสิทธิภาพของ SSF ในการลดปริมาณเชื้อก่อโรค ได้แก่ *Escherichia coli*, *Enterococci* และ *Clostridium perfringens* โดยใช้ standard SSF และ cascade SSF ในกรรมวิธีที่ต่างกันคือ การกรองมาตรฐาน (standard filter) กรองแบบหมุนเวียน (recirculating filter) การกรองแบบคงที่โดยใช้ cascade SSF (static cascade) และการกรองแบบหมุนเวียนโดยใช้ cascade SSF (rotating cascade) ผลการทดลองพบว่า มีเพียงการกรองแบบคงที่โดยใช้ cascade SSF และ การกรองแบบหมุนเวียนโดยใช้ cascade SSF ที่สามารถลดปริมาณเชื้อก่อโรคจนได้มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา

Prenafeta-Boldu *et al.* (2017) รายงานประสิทธิภาพของ horizontal-flow slowsand filter (HSSF) ซึ่งดัดแปลงจาก SSF ในการลดปริมาณเชื้อ *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* ในสารละลายธาตุอาหาร ผลการทดลองพบว่า HSSF สามารถลดปริมาณเชื้อดังกล่าวได้ 82.7 เปอร์เซ็นต์ และลดปริมาณ gene counts ลงได้ 99.9 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าเชื้อดังกล่าวจะสะสมอยู่บริเวณชั้นทราย นอกจากนี้ยังตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ คือ *Bacillus* sp. *Pseudomonas* sp. และ *Trichoderma* sp. ในชั้นทรายเช่นเดียวกัน ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์เหล่านี้อาจส่งผลต่อการลดปริมาณเชื้อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.วัสดุปลูก

2.1 วัสดุปลูกอินทรีย์ (อิทธิสุนทร, 2545) มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท เช่น พีทมอส แกลบสด ขุยมะพร้าว เวอร์มิคูไลท์ สแฟกนั่มมอส และรำ เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนี้

พีทมอส (peat moss) เกิดจากการสะสมของซากพืชเป็นจำนวนมากตามธรรมชาติในแหล่งที่มีน้ำขัง ซึ่งองค์ประกอบของพีทในแหล่งต่างๆ จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ขึ้นในบริเวณนั้นๆ มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี pH 2.5-7 มีการสลายตัวหลังจากการใช้งาน 2-3 ครั้ง

แกลบสด (rice hull) คือเปลือกของข้าว มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุต่ำ อุ้มน้ำได้น้อย ความพรุนสูง น้ำหนักเบา ราคาถูก pH 2.5-7 มีการสลายตัวหลังจากการใช้งาน 2-3 ครั้ง

ขุยมะพร้าว (coconut-husk dust) เกิดจากเส้นใยของผลมะพร้าว มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุมีค่าสูงเมื่อขุยมะพร้าวผ่านขบวนการสลายตัว น้ำหนักเบา ราคาถูก อุ้มน้ำดีมาก pH 6-7 อายุการใช้งาน 2-3 ครั้ง

เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) เกิดจากการเผาแร่ไมก้าที่อุณหภูมิประมาณ 850 องศาเซลเซียส คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ 65-140 me/100 gm อุ้มน้ำได้ดี pH 7-7.2 ความคงทนของโครงสร้างไม่ดี อายุการใช้งาน 1-2 ครั้ง

รำข้าว (rice bran) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว เช่นเดียวกับปลายข้าว มีธาตุอาหารสูง (ฟอสฟอรัส 0.47 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.06 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 11 เปอร์เซ็นต์) อายุการเก็บรักษาสั้น (สุกัญญา, 2539)

สแฟกนั่มมอส (sphagnum moss) เป็นมอสชนิดหนึ่ง มีลักษณะต่อกันเป็นสาย แหล่งกำเนิดอยู่ในบริเวณที่มีน้ำในแถบประเทศนิวซีแลนด์ อุ้มน้ำได้ดี น้ำหนักเบา มีธาตุอาหารสูง pH 4.39-5.12 (Broghammer, 1994) ราคาค่อนข้างสูง (ลิตรละ 10-13 บาท)

2.2 วัสดุปลูกอนินทรีย์ (อิทธิสุนทร, 2545) มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น ทรายหยาบ ทรายละเอียด เม็ดดินเผา เพอร์ไลท์ และแกลบเผา เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนี้

ทรายหยาบ (coarse sand) มีแหล่งกำเนิดจากชายทะเลหรือแม่น้ำ คุณสมบัติในการอุ้มน้ำค่อนข้างดี ไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ความพรุนต่ำ อายุการใช้งานนาน แต่มีน้ำหนักมาก

ทรายละเอียด (fine sand) มีแหล่งกำเนิดจากชายทะเลหรือแม่น้ำ เป็นสารเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยาเคมี ไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุ อายุการใช้งานนาน แต่มีน้ำหนักมากและอาจมีการอัดตัวแน่นและมีปัญหาด้านการระบายน้ำระบายอากาศ

เม็ดดินเผา (expanded clay) เกิดจากการเผาเม็ดดินเหนียวที่อุณหภูมิสูง (1,100 องศาเซลเซียส) อุ้มน้ำได้น้อย ไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุ การระบายน้ำระบายอากาศดีมาก แต่มีน้ำหนักมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพอร์ไลท์ (perlite) เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการเผาเพอร์ไลท์ที่มีต้นกำเนิดจากภูเขาไฟที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อุ้มน้ำได้ดี ไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุ ระบายน้ำระบายอากาศดี pH 7-7.2 น้ำหนักเบา แต่อาจสลายตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กและเกิดการอัดตัวกันแน่น ราคาค่อนข้างแพง

ขี้เถ้าแกลบ (rice-husk charcoal) เกิดจากการเผาแกลบสดที่อุณหภูมิสูง อุ้มน้ำได้ดี pH 7-8.5 ก่อนนำมาใช้ต้องลดค่า pH ให้ต่ำลง มีการสายตัวหลังจากการนำมาใช้น้อยและเกิดการอัดตัวไม่มากนัก อายุการใช้งาน 2-4 ครั้ง ราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

1. เครื่องปั่น
2. เครื่องนึ่งความดันไอน้ำ
3. ตู้เขี่ยเชื้อ
4. ตู้อบลมร้อน
5. กล้องจุลทรรศน์
6. กล้องถ่ายภาพ
7. ตะเกียงแอลกอฮอล์
8. เข็มเขี่ย (needle)
9. จานอาหารเลี้ยงเชื้อ
10. หลอดทดลอง
11. บีกเกอร์
12. cork borer
13. Haemacytometer
14. แอลกอฮอล์ 70 และ 95 เปอร์เซ็นต์
15. 10% clorox
16. เครื่องชั่ง
17. auto pipette
18. syringe
19. สำลี
20. กระดาษชำระ
21. อาหารเลี้ยงเชื้อและอาหารแยกเชื้อ
    - 0.3 % water agar (WA)
    - potato dextrose agar (PDA)
    - corn meal agar (CMA)
    - Trichoderma selective media (TSM)
    - V-8 juice broth (VJB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงเรือนปลูกพืช

1. ถังสารละลายธาตุอาหารขนาดความจุ 50 ลิตร
2. ถ้วยปลูก
3. โฟม
4. เครื่องมือวัดค่าต่างๆ
   - เครื่องวัดค่าพีเอช (potential of hydrogen ion; pH)
   - เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity; EC)
   - เครื่องวัดค่าของแข็งในสารละลาย (total dissolved solution; TDS)
   - เครื่องวัดค่าความเค็ม
   - เครื่องวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen; DO)
   - เทอร์โมมิเตอร์
5. วัสดุปลูกหรือวัสดุรองรับ

5.1 วัสดุอินทรีย์	5.2 วัสดุอนินทรีย์
- ขุยมะพร้าว	- เม็ดดินเผา
- เวอร์มิคูไลท์	- เพอร์ไลท์
- สแฟกนั่มมอส	- ใยกรองน้ำ
- รำข้าว	- ฟองน้ำ
- พีทมอส	- แกลบเผา
- เปลือกไม้สนสับ	- ทรายละเอียด
- แกลบสด	- ทรายหยาบ

6. ผักสลัด
   - บัตเตอร์เฮด (green butterhead)
   - เรดคอรัล (red coral)
   - ผักสลัดกรีนโอ๊ค (green oak)
7. ชุดระบบกรองชีวภาพ
   - ท่อ PVC ขนาดหน้ากว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร พร้อมฝาปิด
   -ท่อ PVC ขนาดหน้ากว้าง ½ นิ้ว
   - วาล์วเปิดปิดน้ำ ชนิด ball valve
   - ท่อ PE และข้องอ 90 องศา
   - ปั๊มน้ำขนาด 2800
   - กระบะสารละลายขนาด 50 ลิตร
   -ชุดขาตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การทดสอบเบื้องต้น (pre-test)

1.1 การศึกษาผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

การทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาความเป็นไปได้ของวัสดุรองรับที่จะสามารถคงระดับประชากรเชื้อรา *Trichoderma* sp. โดยนำชีวผลิตภัณฑ์ชนิดผงมาผสมกับน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้วในอัตราส่วน 1:100 เจือจางลำดับส่วนให้ได้ความเข้มข้น 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}และ 10^{-5}กรัมต่อมิลลิลิตร ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว จากนั้นตรวจสอบความมีชีวิตรอดด้วยวิธี pour plate technique ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Trichoderma selective media (TSM; Elad *et al*., 1981) 3 ซ้ำ วัดผลโดยการตรวจนับจำนวนโคโลนีและนำมาคำนวณจำนวนประชากรดังนี้

$$\text{จำนวนประชากร } T.\ harzianum = \frac{\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้}}{\text{ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น}} \times \text{dilution factor}$$

หลังจากนั้นทำการเตรียมระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน โดยใช้ขวด PET ขนาด 1.5 ลิตร ตัดก้นขวดพลาสติกออก แล้วบรรจุวัสดุรองรับที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เพอร์ไลท์ และเวอร์มิคูไลท์ (ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน) จำนวนอย่างละ1 ลิตร ผสมกับชีวผลิตภัณฑ์ไตรโคเดอร์ม่าปริมาณ 50 กรัม (จากการคำนวณข้างต้น) ใส่ลงไปในขวด PET แขวนขวดไว้ในลักษณะคว่ำลง จากนั้นนำก้นขวดที่ตัดและเจาะรูมาปิดด้านบนอีกครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุรองรับลอยน้ำและไหลออก สารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านภาชนะนี้แล้วไหลลงสู่กระบะใส่สารละลายธาตุอาหารปริมาณ 15 ลิตร ที่มีปั๊มสารละลายทำหน้าที่ปั๊มสารละลายให้ไหลผ่านภาชนะที่มีวัสดุรองรับที่ใช้ในการทดลองอยู่ตลอดเวลา ส่วนกรรมวิธีควบคุมให้กักน้ำให้อยู่ในขวดโดยมีปริมาตรคงที่จำนวน 1 ลิตร ผสมกับชีวผลิตภัณฑ์ไตรโคเดอร์ม่าปริมาณ 50 กรัม โดยไม่มีวัสดุรองรับ (ภาพที่ 2.1) วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยในแต่ละกรรมวิธีให้ทำ 3 ซ้ำ การวัดผลโดยการเก็บตัวอย่างวัสดุรองรับ และสารละลายในกระบะเป็นประจำทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ มาตรวจนับจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* โดยวิธี pour plate technique ในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSM แล้วนำมาคำนวณหาจำนวนประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.1 ระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

1.2 การศึกษาผลของพืชต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

ดำเนินการหลังจากที่ทำการทดลองแรกแล้วเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ โดยปรับค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ที่ 1.60 มิลลิซิเมนต์ต่อเซนติเมตร และค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารให้อยู่ที่ 5.8-6.3 จากนั้นย้ายผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 3 สัปดาห์ ลงไปในระบบ ตรวจนับจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับและสารละลายธาตุอาหารเช่นเดียวกับข้อ 1 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และในสัปดาห์ที่ 4 ให้ทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม ได้แก่ การเจริญเติบโตของพืช (น้ำหนักต้นและน้ำหนักราก) พร้อมกับตรวจนับจำนวนประชากรของเชื้อราดังกล่าวในรากพืชทดสอบ

1.3 การศึกษาจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนที่ปราศจากพืช

ทำการทดลองต่อจากการทดลองที่ 1.2 โดยตรวจนับจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ และสารละลายในกระบะ หลังจากเก็บพืชออกไปแล้วทุกๆ สัปดาห์ต่อเนื่องอีกเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อดูจำนวนประชากรเชื้อราดังกล่าวหลังจากการเก็บพืช

2. การศึกษาผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

2.1 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุรองรับ

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ทำการเตรียมวัสดุอินทรีย์ทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ เปลือกไม้สับ รำ แกลบ สแฟกนั่มมอส พีทมอส ขุยมะพร้าว และเวอร์มิคูไลท์ จำนวนชนิดละ 100 มิลลิลิตร แช่ในน้ำที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 100 มิตรลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักต่อปริมาตร ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ หลังจากนั้นเมื่อสุดสิ้นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองจึงนำวัสดุอินทรีย์ดังกล่าวที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดิมอีกครั้งและเปรียบเทียบกับคุณสมบัติก่อนการใช้งาน

2.1.2 จำนวนประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่น

นำสารละลายที่ได้จากการแช่วัสดุรองรับอินทรีย์ในข้อ 2.1.1 มาทำการเจือจางลำดับส่วนให้ได้ความเข้มข้น 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4} และ 10^{-5} กรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ท้องถิ่นด้วยวิธี pour plate technique ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy agar (TSA: Harrigan and Mccance, 1996) เพื่อตรวจนับจำนวนเชื้อแบคทีเรีย และ ¼ PDA+rose bengal (ดัดแปลงจาก Dhingra and Sinclair, 2000) สำหรับตรวจนับเชื้อรา หลังจากนั้นทำการคำนวณประชากร

2.2 การศึกษาผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

เนื่องจากหลังจากการทดลองในข้อ 1 (ครั้งที่ 2) ซึ่งทำการใส่ชีวผลิตภัณฑ์ไตรโคเดอร์ม่าลงในสารละลายธาตุอาหารโดยตรง พบว่าสารละลายธาตุอาหารเกิดเสื่อมสภาพหรือเน่า จึงเปลี่ยนมาใช้ชีวผลิตภัณฑ์ชนิดหัวเชื้อสด และตรวจนับความมีชีวิตรอดของเชื้อรา *T. harzianum* ในชีวผลิตภัณฑ์ชนิดหัวเชื้อสดรูปแบบผง โดยนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาผสมกับน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้วในอัตราส่วน 1:100 จากนั้นเจือจางลำดับส่วนให้ได้ความเข้มข้น 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4} และ 10^{-5} กรัมต่อมิลลิลิตร ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวด้วยวิธี pour plate technique ในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSM โดยในแต่ละความเข้มข้นให้ทำ 3 ซ้ำ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 3 วัน วัดผลโดยการตรวจนับจำนวนโคโลนีและนำมาคำนวณจำนวนประชากร

หลังจากนั้นทดสอบในระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ทำการเตรียมวัสดุรองรับชนิดต่างๆ (นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที) จำนวนอย่างละ 1 ลิตร ผสมกับชีวผลิตภัณฑ์ไตรโคเดอร์ม่าปริมาณ 1 กรัม (จากการคำนวณข้างต้นและคำนวณชดเชยให้มีความเข้มข้น 10^{6} สปอร์ต่อปริมาตรวัสดุรองรับ 1 ลิตร) สำหรับกรรมวิธีควบคุมใช้สารละลายธาตุอาหาร (EC 1.6 mS/cm, pH 6.3) ผสมกับชีวผลิตภัณฑ์ไตรโคเดอร์ม่าในอัตราเดียวกัน บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นทำการเตรียมระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน โดยใช้ขวด PET ขนาด 1.5 ลิตร ตัดก้นขวดพลาสติกออก และนำวัสดุรองรับดังกล่าวใส่ลงในขวด PET เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 2.1.1 สารละลายธาตุอาหารจะไหลผ่านภาชนะนี้แล้วไหลลงสู่กระบะใส่สารละลายธาตุอาหารปริมาณ 15 ลิตร ที่มีปั๊มสารละลายทำหน้าที่ปั๊มสารละลายให้ไหลผ่านภาชนะที่มีวัสดุรองรับที่ใช้ในการทดลองอยู่ตลอดเวลา หลังจากนั้นทำการย้ายผักสลัดกรีนโอ๊คที่อายุ 3 สัปดาห์ ลงปลูกในระบบ เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ (indicator) เช่น ความผิดปกติต่างๆ ได้แก่ การเจริญเติบโต สีของใบ เป็นต้น โดยเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม และติดตั้งปั๊มเป่าอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนภายในสารละลาย ตรวจนับจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* โดยเก็บตัวอย่างวัสดุรองรับ สารละลายใต้ระบบกรอง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายในกระบะเป็นประจำทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ สำหรับจำนวนประชากรในรากพืชทดสอบให้ตรวจนับที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ในระบบ) ตรวจนับจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ด้วยวิธี pour plate technique ในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSM แล้วนำมาคำนวณหาจำนวนประชากรดังสูตรข้างต้น และบันทึกการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ จำนวนใบ ขนาดทรงพุ่ม และน้ำหนักต้นและราก (ที่อายุ 4 สัปดาห์) พร้อมกับสังเกตความผิดปกติของพืชดังกล่าว ในส่วนของสารละลายทำการวัดค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ค่าความขุ่น (TDS) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และสีของสารละลาย เป็นประจำทุกสัปดาห์

2.3 ความสามารถของวัสดุรองรับในการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ภายหลังจากการใช้งาน

เตรียมสารแขวนลอยเชื้อ *Pythium* sp. โดยการเลี้ยงเชื้อดังกล่าวในอาหาร V-8 juice broth (ประกอบด้วย น้ำผัก 8 ชนิด 200 มิลลิลิตร และน้ำ 800 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นนำส่วนของเส้นใย (mycelium) ที่เชื้อสร้างขึ้นไปปั่นในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว ตรวจนับส่วนขยายพันธุ์โดยใช้ Haemacytometer และปรับให้ได้ความเข้มข้น 10^4 propagules/ml ปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ลงในภาชนะบรรจุวัสดุรองรับจากการทดลองข้อ 2 บ่มไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปิดวาล์วเก็บตัวอย่างสารแขวนลอยของเชื้อ *Pythium* sp. จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วจึงทำการตรวจนับประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ด้วยวิธี modified baiting technique (พรหมมาศ, 2539) และนำเมล็ดแตงกวาจำนวน 10 เมล็ดแช่ในสารแขวนลอยดังกล่าว ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงนำเมล็ดแตงกวามาล้างด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ ซับให้แห้งวางลงบนอาหาร cornmeal agar (CMA)+BNPRA (ประกอบด้วย Benomyl 10 ppm, Nystatin 25 ppm, Pentachloronitrobenzene 25 ppm, Rifampicin 10 ppm, Ampicillin 500 ppm และ Rose Bengal 5 ppm) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ประเมินผลโดยการตรวจนับเมล็ดแตงกวาที่มีเส้นใยของเชื้อ *Pythium* sp. เจริญออกมา

3. การศึกษาผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

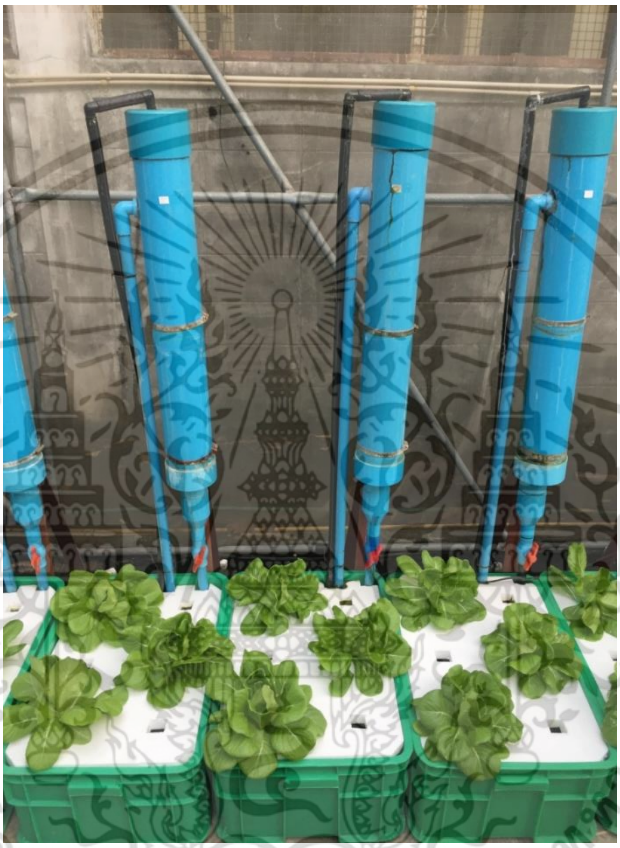
ดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 แต่ใช้วัสดุรองรับอนินทรีย์ได้แก่ ทรายหยาบ ทรายละเอียด เม็ดดินเผา เพอร์ไลท์ ใยหิน ฟองน้ำ และแกลบเผา หลังจากนั้นเมื่อพบว่าวัสดุรองรับอนินทรีย์ชนิดใดมีจำนวนประชากรเชื้อรา *Trichoderma* sp. มากที่สุดและสามารถยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ได้ดีที่สุดในสองอันดับแรก จึงใช้ในการทดลอง 4 และ 5 ต่อไป

4. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาตรของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

วางแผนการทดลองแบบ split plot in CRD กำหนดให้ ปัจจัยหลัก คือ ชนิดวัสดุรองรับ (วัสดุรองรับที่ได้จากการพิจารณาจากข้อ 3) ปัจจัยรอง คือ ปริมาตรของวัสดุรองรับ 2 ปริมาตร (1 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิตร) ทำการทดลองในระบบ solution culture ที่ติดตั้งระบบกรองชีวภาพโดยใช้ท่อ PVC ขนาดหน้ากว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร ติดตั้งวาล์วปรับระดับสารละลาย เพื่อควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย และให้มีทางน้ำล้น (overflow) ดังภาพที่ 3 จากนั้นนำวัสดุรองรับได้แก่ สแฟกนั่มมอส และแกลบเผา ซึ่งได้หมักไว้กับเชื้อรา *T. harzianum* ชนิดหัวเชื้อสด ในอัตราที่กำหนดต่อหัวเชื้อสด 1 กรัม จากนั้นย้ายผักกรีนโอ๊คที่อายุ 3 สัปดาห์ จำนวนชนิดละ 3 ต้น ลงสู่ระบบดังกล่าว ตรวจนับจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* และบันทึกการเจริญเติบโตของพืชในทุกสัปดาห์



ภาพที่ 3.2 ระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลอง

5. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. และเชื้อ *Pythium* sp.ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

วางแผนการทดลองแบบ split plot in CRD กำหนดให้ ปัจจัยหลัก คือ ชนิดวัสดุรองรับ (แกลบเผาและสแฟกนั่มมอส) เปรียบเทียบกับระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration: SSF) ปัจจัยรอง คือ อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหาร 3 ระดับ (0.5, 1 และ 2 ลิตรต่อนาที) ทำการทดลองในระบบ solution culture ติดตั้งระบบกรองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4 จากนั้นนำวัสดุรองรับได้แก่ สแฟกนั่มมอสและแกลบเผา ซึ่งได้หมักไว้กับเชื้อรา *T. harzianum* ชนิดหัวเชื้อสด ในอัตรา วัสดุรองรับ 3 ลิตร ต่อหัวเชื้อสด 1 กรัม (ได้ทำการทดสอบไว้ก่อนหน้านี้แล้วว่าเป็นวัสดุรองรับที่เหมาะสมและปริมาตรที่ดีที่สุดในการชะลอการลดลงของเชื้อ *T. harzianum*) ในส่วนของ SSF ดัดแปลงจาก Wohanka

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2002) และ Bergstrand (2011) กำหนดให้มีชั้นทรายหยาบ 10 เซนติเมตร และชั้นทรายละเอียด 50 เซนติเมตร ติดตั้งปั๊มให้สารละลายไหลผ่านวัสดุดังกล่าวลงสู่ถังสารละลายปริมาตร 50 ลิตร ตลอดเวลา ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนด จากนั้นทำการย้ายผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัลที่อายุ 3 สัปดาห์ จำนวนชนิดละ 3 ต้น ลงสู่ระบบดังกล่าว (ในส่วนของการทดลองนี้มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคจึงได้เปลี่ยนชนิดของผักสลัดจากกรีนโอ๊คมาเป็นบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัล เนื่องจากทั้งสองชนิดดังกล่าวเป็นพันธุ์ที่ทนทานและอ่อนแอต่อโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp.) หลังจากนั้น 1 วัน จึงทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ที่ความเข้ม 10^6 propagules/ml ลงบริเวณด้านบนของวัสดุรองรับ ตรวจนับจำนวนประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ด้วยวิธี spread plate technique ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ corn meal agar+BNPRA (ประกอบด้วย Benomyl 0.01 g/l, nystatin 0.025 g/l, Pentachloronitrobenzene 0.5 g/l, Rifampicin 0.025 g/l, ampicillin 0.025 g/l; พรหมมาศ, 2539) และตรวจนับประชากรเชื้อ *Trichoderma harzianum* ในวัสดุรองรับและในสารละลายธาตุอาหารด้วยวิธี pour plate technique ในอาหาร TSM พร้อมกับประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคในทุกสัปดาห์

- วัดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (Disease incidence) แล้วนำมาคำนวณดังสูตร

$$\text{Disease incidence} = \frac{\text{จำนวนต้นที่เป็นโรค}}{\text{จำนวนต้นทั้งหมด}} \times 100$$

- วัดความรุนแรงของการเกิดโรค (Disease severity) โดยให้คะแนนการเกิดโรค 0 = ไม่เกิดโรค, 1 = รากแดง, 2 = รากเน่า, 3 = รากเน่าและเหี่ยว, 4 = เหี่ยวถึงตาย แล้วนำมาคำนวณดังสูตร

$$\text{Disease severity} = \frac{\text{ผลรวม (จำนวนต้นที่เป็นโรค} \times \text{ดัชนีความรุนแรงของโรค)}}{\text{จำนวนต้นทั้งหมด} \times \text{ดัชนีความรุนแรงของโรคสูงสุด}} \times 100$$

6. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพ ในการควบคุมโรคโคนเน่ารากเน่าในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

จากการทดสอบในระบบ NFT มาเป็นจำนวน 3 ครั้งและพบว่าอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคน้อย ประกอบกับปัจจัยหลายอย่างทำให้ไม่เอื้ออำนวยต่อการเกิดโรค เช่นสภาวะอากาศ และโดยปกติในระบบ NFT การเกิดโรคทางรากมีน้อย เช่นเดียวกับ Funck-Jensen and Hockenhull (1983) ที่รายงานว่า อัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp.ในระบบ NFT มีอัตราการเกิดได้น้อย ซึ่งจะทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพ ดังนั้นจึงพิจารณาและเปลี่ยนมาทดสอบในระบบ solution culture โดยทำการวางแผนการทดลองแบบ split plot in CRD กำหนดให้ ปัจจัยหลัก คือ วัสดุรองรับที่มีปริมาตรและอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านการรักษาระดับประชากรเชื้อ *Trichoderma* sp. และลดการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ซึ่งได้จากการพิจารณาจากการทดลองในข้างต้น (แกลบเผา ปริมาตร 3 ลิตร อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที และสแฟกนั่มมอสปริมาตร 3 ลิตรอัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที) เปรียบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (ปริมาตร 3 ลิตรอัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที) ปัจจัยรอง คือ การปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ทดสอบในระบบ solution culture เช่นเดียวกับการทดลองที่ 5 จากนั้นทำการย้ายผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัลที่อายุ 3 สัปดาห์ จำนวนชนิดละ 3 ต้น ลงสู่ระบบดังกล่าว หลังจากนั้น 1 วัน จึงทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ที่ความเข้ม 10^6 propagules/ml ลงบริเวณด้านบนของวัสดุรองรับ ประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรค ตรวจนับจำนวนประชากรเชื้อ *Trichoderma* sp. และเชื้อ *Pythium* sp. บริเวณถังสารละลายธาตุอาหาร ในวัสดุรองรับ และสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากระบบกรอง พร้อมกับเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชและข้อมูลสภาพแวดล้อมประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

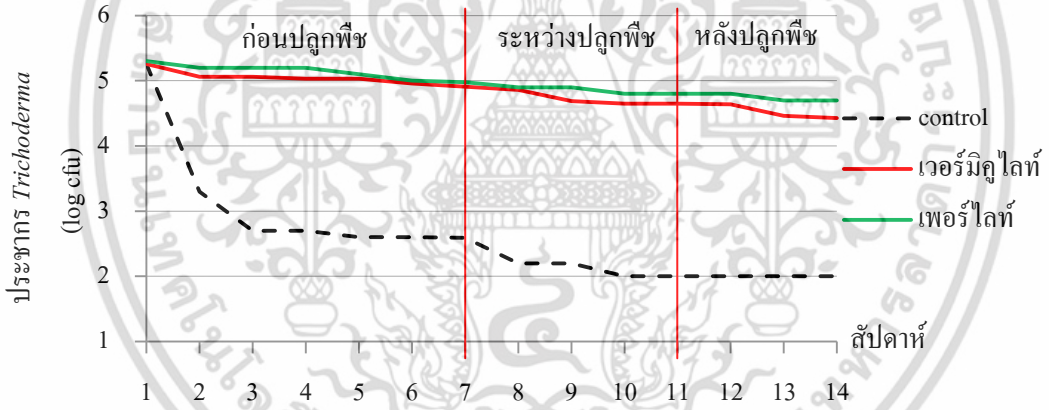
บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. การทดสอบเบื้องต้น (pre-test)

1.1 การศึกษาผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

จากการทดสอบความมีชีวิตรอดของเชื้อรา *T. harzianum* จากชีวผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่ง ที่ระบุจำนวนสปอร์ 2×10^{8} สปอร์ต่อกรัม และระบุวันหมดอายุไว้ที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2558 พบว่ามีจำนวนประชากร *T. harzianum* ที่มีชีวิตรอดจำนวน 1.85×10^{6} สปอร์ต่อกรัม จึงใช้ค่านี้เพื่อใช้ในเตรียมการทดลอง จากการใช้ชีวผลิตภัณฑ์ *T. harzianum* ใส่ลงไปในระบบในอัตรา 50 กรัม และเพื่อศึกษาผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน โดยใช้วัสดุรองรับ 2 ชนิด คือ เพอร์ไลท์และเวอร์มิคูไลท์ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ไม่มีวัสดุรองรับ) ได้ผลการทดลองดังนี้

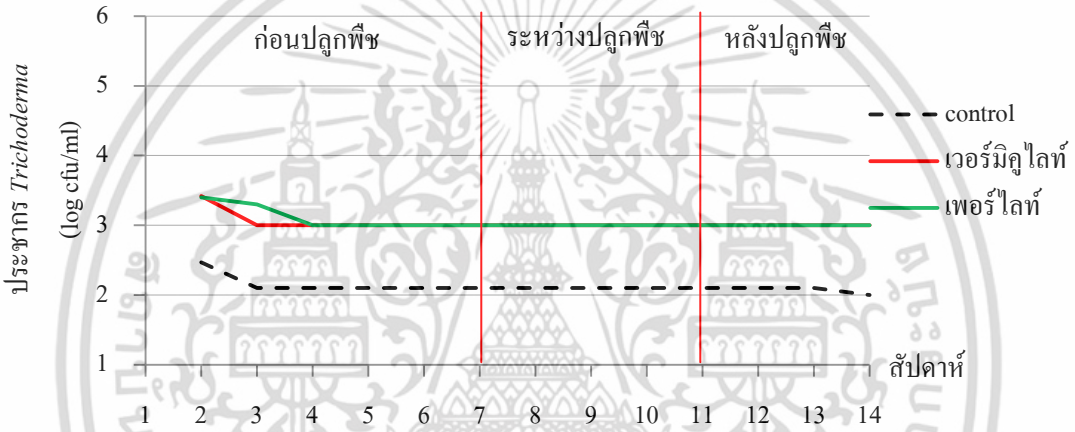


ภาพที่ 4.1 ผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ

จากภาพจะเห็นได้ว่า กรรมวิธีที่มีวัสดุรองรับทั้งเพอร์ไลท์และเวอร์มิคูไลท์ สามารถทำให้ประชากรเชื้อรา *T. harzianum* อยู่ในระบบสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนยาวนานขึ้นได้ โดยในช่วงแรกของการทดลอง จำนวนประชากรเชื้อ *T. harzianum* ลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 5.3 log cfu/g เป็น 4.9 log cfu/g ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีการลดลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 3 สัปดาห์แรกจาก 5.3 log cfu/ml เหลือเพียง 2.7 log cfu/ml จากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง จำนวนประชากรเชื้อ *T. harzianum* เหลือเพียง 2.0 log cfu/ml ขณะที่กรรมวิธีที่มีวัสดุรองรับยังคงมีอยู่ในอัตราที่สูง คือมากกว่า 4.4 log cfu/g ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กรรมวิธีที่มีวัสดุรองรับมีประชากรเชื้อ *T. harzianum* มากกว่าในกรรมวิธีควบคุมถึง 24 เท่า (ภาพที่ 4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

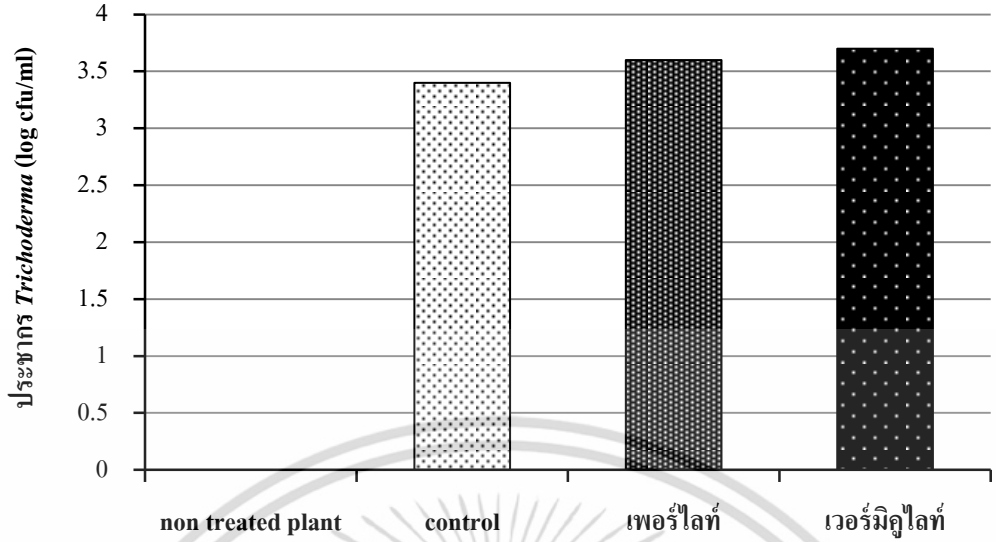
สำหรับจำนวนประชากร *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารที่เก็บตัวอย่างจากกระบะใส่สารละลาย พบจำนวนประชากรของ *T. harzianum* ต่ำกว่าที่พบในส่วนแรก โดยกรรมวิธีที่มีเพอร์ไลท์เป็นวัสดุรองรับพบจำนวนประชากรในสารละลายเท่ากับ 3.4 log cfu/ml ในสัปดาห์ที่ 2 จากนั้นลดลงเพียงเล็กน้อยเป็น 3.0 log cfu/ml ในสัปดาห์ที่ 3 และคงที่จนถึงในสัปดาห์ที่ 7 เช่นเดียวกันกับกรรมวิธีที่มีเวอร์มิคูไลท์เป็นวัสดุรองรับ ส่วนในกรรมวิธีควบคุม พบจำนวนประชากร *T. harzianum* ต่ำที่สุด โดยมีการลดลงจาก 2.5 log cfu/ml ในช่วงสัปดาห์ที่ 2-3 ไปเป็น 2.1 log cfu/ml จนถึงสัปดาห์ที่ 7 (ภาพที่ 5) ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าวัสดุรองรับมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร *T. harzianum* โดยในกรรมวิธีที่มีวัสดุรองรับทั้งสองชนิดมีจำนวนประชากรเชื้อราดังกล่าวสูงกว่าในกรรมวิธีควบคุมถึง 10 เท่า (ภาพที่ 4.2)



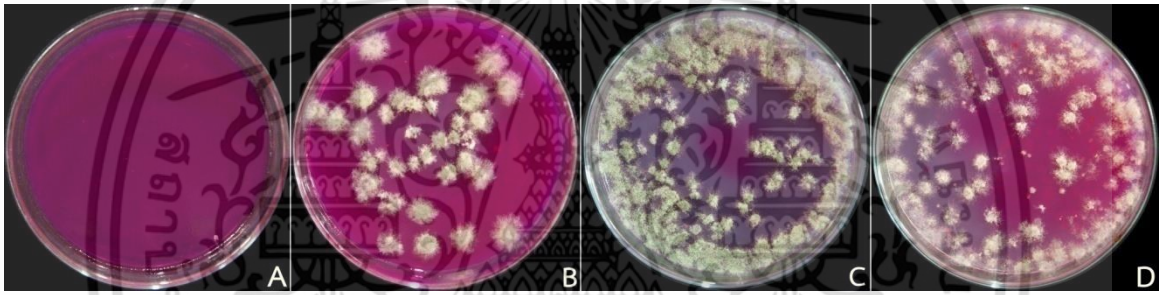
ภาพที่ 4.2 ผลของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในสาระลายธาตุอาหาร

สำหรับจำนวนประชากร *T. harzianum* ในรากพืชทดสอบของแต่ละกรรมวิธี พบว่ากรรมวิธีที่มีเวอร์มิคูไลท์เป็นวัสดุรองรับจำนวนประชากรของ *T. harzianum* ในรากพืชมีมากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่มีเพอร์ไลท์เป็นวัสดุรองรับ และกรรมวิธีควบคุมโดยมีจำนวนประชากรเท่ากับ 3.7, 3.6, 3.4 log cfu/ml ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) ในส่วนของการเจริญเติบโตของผักสลัดคอรีนโอ๊ค พบว่าในเวอร์มิคูไลท์มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเห็นได้จากมีน้ำหนักต้นและน้ำหนักรากมากที่สุด โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 41.0 และ 13.2 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1, ภาพที่ 4.5) ในทำนองเดียวกันจำนวนประชากร *T. harzianum* ในรากของพืชเวอร์มิคูไลท์มีอัตราสูงที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือเพอร์ไลท์และกรรมวิธีควบคุม ทั้งนี้ในส่วนของรากพืชก่อนทำการใส่ลงในระบบไม่มีประชากรของ *T. harzianum* (ภาพที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตที่สูงนี้เป็นผลมาจากเชื้อรา *T. harzianum* ที่มีอยู่ในระบบที่มีเวอร์มิคูไลท์เป็นวัสดุรองรับในอัตราที่สูงกว่าในกรรมวิธีอื่นๆ จึงเป็นผลให้อัตราการเจริญเติบโตที่สูงที่สุดตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 จำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในรากพืชทดสอบ



ภาพที่ 4.4 ลักษณะโคโลนีของเชื้อรา *T. harzianum* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Trichoderma selective media; A: อาหารเลี้ยงเชื้อปกติ; B: control; C: เพอร์ไลท์; D: เวอร์มิคูไลท์

ตารางที่ 4.1 ผลของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ ต่อการเจริญของผักสลัดกรีนโอ๊ค

กรรมวิธี [1/]	น้ำหนักสด (กรัม)	
	ต้น	ราก
Control	24.59c	10.15b
เพอร์ไลท์เป็นวัสดุรองรับ	34.50b	12.88a
เวอร์มิคูไลท์เป็นวัสดุรองรับ	41.03a	13.17a

[1/] ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P = 0.05) โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.5 ผลของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ ต่อการเจริญของผักสลัดกรีนโอ๊ค

จากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วัสดุรองรับสามารถรักษาระดับประชากร *T. harzianum* ให้อยู่ในระบบในระบบได้ยาวนานขึ้น ซึ่งในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลองจะเห็นความแตกต่างระหว่างจำนวนประชากร *T. harzianum* อย่างชัดเจน โดยในระบบที่มีวัสดุรองรับจะมีจำนวนประชากรมากกว่าในกรรมวิธีควบคุมถึง 24 เท่า เช่นเดียวกันกับจำนวนประชากรในสารละลายที่สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมถึง 10 เท่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการมีวัสดุรองรับจะสามารถรักษาจำนวนประชากรของเชื้อราดังกล่าวได้ ทำให้มีอัตราการลดลงที่ช้ากว่าปกติ ดังนั้นจึงสมควรขยายขอบเขตการศึกษาไปยังวัสดุรองรับชนิดอื่น โดยแบ่งเป็นวัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในด้านคุณสมบัติต่างๆ โดยวัสดุอินทรีย์นั้นอาจมีสารอาหารมากกว่า แต่วัสดุอนินทรีย์นั้น อาจได้เปรียบในด้านความคงทนของวัสดุ จึงจะได้รายงานผลการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

2.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุรองรับอินทรีย์

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุรองรับอินทรีย์ โดยการนำวัสดุรองรับอินทรีย์ชนิดต่างๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แช่ในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่า pH ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ รวมถึงเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของวัสดุรองรับอินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน

วัสดุรองรับ	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	pH	น้ำหนัก (กรัม)		การอุ้มน้ำ (%)
			ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	
ก่อนการใช้งาน					
ขุยมะพร้าว	3.67	6.3	12.48	60.13	47.65
เวอร์มิคูไลท์	0.14	7.1	23.68	55.74	32.06
พีทมอส	1.67	6.2	18.03	56.03	38.00
แกลบสด	0.84	6.8	10.07	35.10	25.03
เปลือกไม้สับ	0.34	6.2	38.47	45.91	7.44
สแฟกนั่มมอส	1.67	5.9	1.95	52.96	51.01
รำ	6.79	4.9	23.72	99.71	75.99
หลังการใช้งาน					
ขุยมะพร้าว	2.70	6.9	4.22	50.00	45.78
เวอร์มิคูไลท์	1.53	8.3	22.82	52.03	29.21
พีทมอส	2.76	7.3	6.83	48.94	42.11
แกลบสด	0.51	7.5	8.95	32.13	23.18
เปลือกไม้สับ	1.95	6.7	24.54	46.20	21.66
สแฟกนั่มมอส	1.70	7.3	1.76	28.50	26.74
รำ	2.57	7.3	6.83	49.85	43.02

จากตารางคุณสมบัติของวัสดุรองรับอินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน พบว่า ก่อนการใช้งานค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของรำและขุยมะพร้าวมีค่าค่อนข้างสูง คือ 6.79 และ 3.67 มิลลิซิเมนต์ต่อเซนติเมตร ส่วนในวัสดุอื่นๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.14-1.67 มิลลิซิเมนต์ต่อเซนติเมตร จากนั้นเมื่อผ่านการใช้งานแล้วเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ขุยมะพร้าว รำ และแกลบสด มีค่าลดลง ส่วนในวัสดุอื่นๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในด้านความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัสดุรองรับอินทรีย์มีสมบัติค่อนข้างเป็นกลางไปจนถึงกรดอ่อน โดยในรำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสแฟกนั่มมอสมีค่า pH ต่ำสุดคือ 4.9 และ 5.9 ส่วนวัสดุอื่นๆ มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.2-7.1 หลังจากนั้นเมื่อผ่านการใช้งานแล้วพบว่า ค่า pH ค่อนข้างเป็นกลาง โดยอยู่ระหว่าง 6.7-8.3 (ตารางที่ 4.2)

ทางด้านการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุรองรับอินทรีย์ภายหลังการใช้งาน พบว่า พีทมอสและรำ มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนไป โดยแต่ละอนุภาคจับตัวรวมกันจนเป็นก้อนกลมขนาดเล็ก ส่วนสีของวัสดุพบว่า รำ พีทมอส แกลบสด และสแฟกนั่มมอส มีสีคล้ำขึ้น ในด้านการยุบตัวพบว่าส่วนใหญ่วัสดุรองรับอินทรีย์จะเกิดการยุบตัวลง โดยรำมีการยุบตัวสูงสุด 56.0 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าแกลบสดมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นขึ้น (ที่ไม่ใช่ *T. harzianum*) บริเวณผิวของวัสดุในปริมาณมาก (ตารางที่ 4.3, ภาพที่ 4.6)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุรองรับอินทรีย์ภายหลังการใช้งาน

ชนิดวัสดุรองรับ	อนุภาค	สี	การยุบตัว (%) [1/]	หมายเหตุ
ขุยมะพร้าว	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	11.5	
เวอร์มิคูไลท์	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	13.5	
พีทมอส	เปลี่ยน	เปลี่ยน	30.0	
แกลบสด	ไม่เปลี่ยน	เปลี่ยน	-	มีจุลินทรีย์ชนิดอื่นขึ้น
เปลือกไม้สับ	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	-	
สแฟกนั่มมอส	ไม่เปลี่ยน	เปลี่ยน	-	
รำ	เปลี่ยน	เปลี่ยน	56.0	

[1/] เปอร์เซ็นต์การยุบตัว= (ปริมาตรของวัสดุรองรับในภาชนะเริ่มต้นการทดลอง – ปริมาตรของวัสดุรองรับในภาชนะหลังการทดลอง) ×100

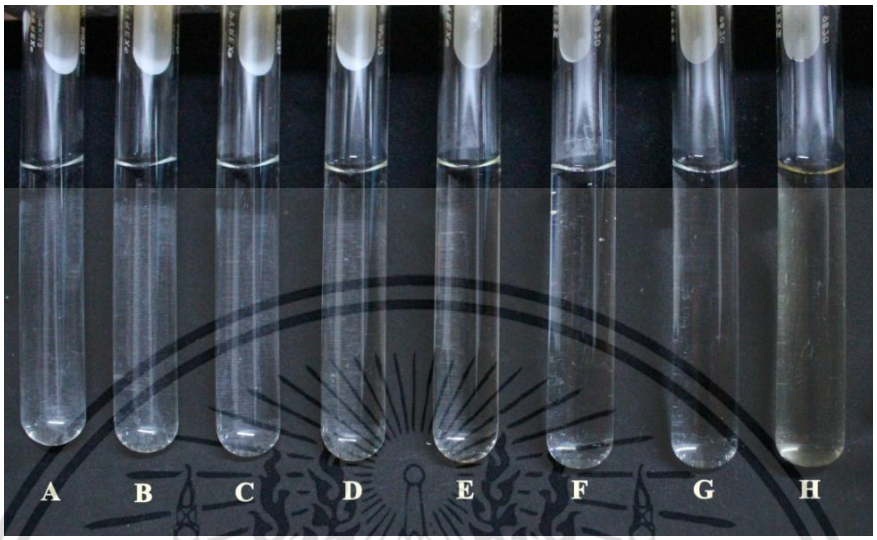
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบวัสดุรองรับอินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยายต่าง ๆ (ภาพปกติ, กำลังขยาย 3 และ 5 เท่า); A: ขุยมะพร้าว; B: เวอร์มิคูไลท์; C: พีทมอส; D: แกลบสด; E: เปลือกไม้สับ; F: สแฟกนั่มมอส; G: รำข้าว

จากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุรองรับอินทรีย์ และนำมาเปรียบเทียบก่อนและภายหลังการใช้งาน พบว่ามีวัสดุบางชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เช่น แกลบสด ซึ่งภายหลังการใช้งานมีการเปลี่ยนสีของวัสดุ รวมทั้งมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นขึ้นเป็นจำนวนมาก (ภาพที่ 4.6) ในส่วนของรำภายหลังการใช้งานพบว่า วัสดุจับรวมตัวกันเป็นก้อน มีการเปลี่ยนสี และไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ ในขณะเดียวกันวัสดุบางชนิด เช่น ขุยมะพร้าว สแฟกนั่มมอส และเปลือกไม้สับ มีการเปลี่ยนแปลงของสีเพียงเล็กน้อย จึงอาจจะนำไปใช้ในการทดลองอื่นต่อไปได้ (ภาพที่ 4.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านผลของวัสดุรองรับต่อสารละลายธาตุอาหารพบว่า มีเพียงรำเพียงชนิดเดียวที่ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเกิดการเน่า จนทำให้ค่าการละลายตัวของออกซิเจนในน้ำต่ำมาก (ในระหว่างการทดลอง; ไม่แสดงผล) (ภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.7 สีของสารละลายธาตุอาหารในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง; A: control; B: ขุยมะพร้าว; C: เวอร์มิคูไลท์; D: พีทมอส; E: แกลบสด; F: เปลือกไม้สับ; G: สแฟกนั่มมอส; H: รำ

2.1.2 คุณสมบัติทางชีววิทยา

ตารางที่ 4.4 ประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ตรวจพบในวัสดุรองรับอินทรีย์

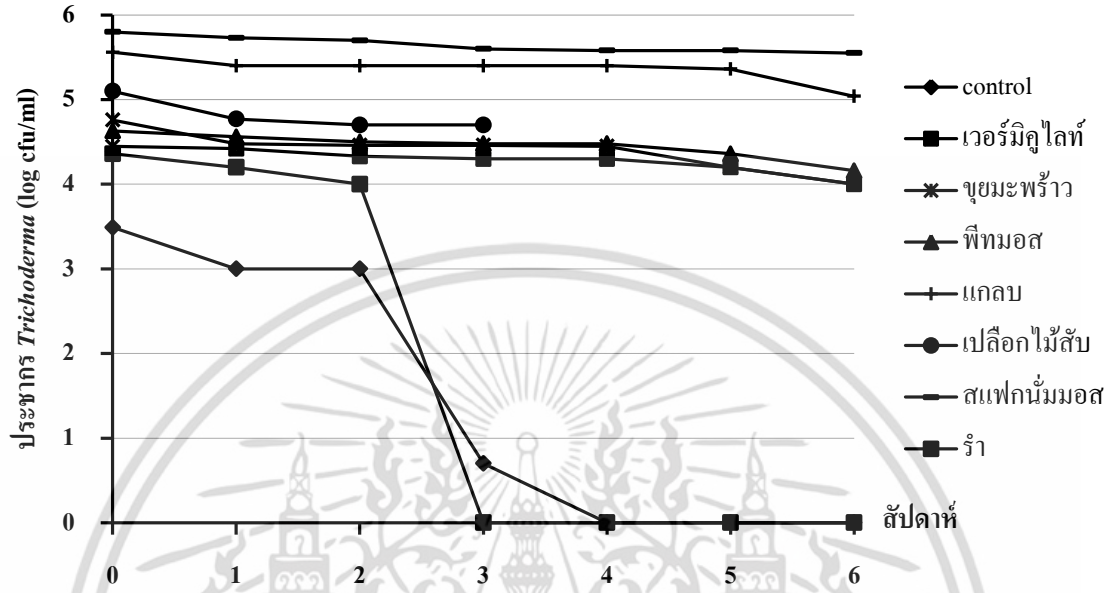
ชนิดวัสดุรองรับ	จำนวนประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่น (cfu/g)	
	เชื้อรา	แบคทีเรีย
แกลบสด	3.80×10^{6}	2.02×10^{7}
เปลือกสน	1.27×10^{6}	4.33×10^{6}
พีทมอส	9.33×10^{5}	2.63×10^{6}
เวอร์มิคูไลท์	4.33×10^{5}	5.43×10^{5}
สแฟกนั่มมอส	4.33×10^{4}	6.10×10^{5}
ขุยมะพร้าว	1.97×10^{6}	9.04×10^{4}
รำ	5.33×10^{5}	มากกว่า 10^{7}

จากการตรวจนับประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่นที่มีในวัสดุรองรับ พบว่า สแฟกนั่มมอสตรวจพบเชื้อราน้อยที่สุด คือ 4.33×10^{4} cfu/g ส่วนวัสดุอื่นๆ พบมากกว่า 10^{5} cfu/g ส่วนเชื้อแบคทีเรีย ตรวจพบน้อยที่สุดใน ขุยมะพร้าว พบประมาณ 9.04×10^{4} cfu/g นอกจากนี้จะสังเกตพบว่าในรำมีประชากรแบคทีเรียมากกว่า 10^{7} cfu/g ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก และอาจทำให้เกิดปัญหาเมื่อนำไปใช้โดยไม่มีการฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

2.2.1 จำนวนประชากร *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ



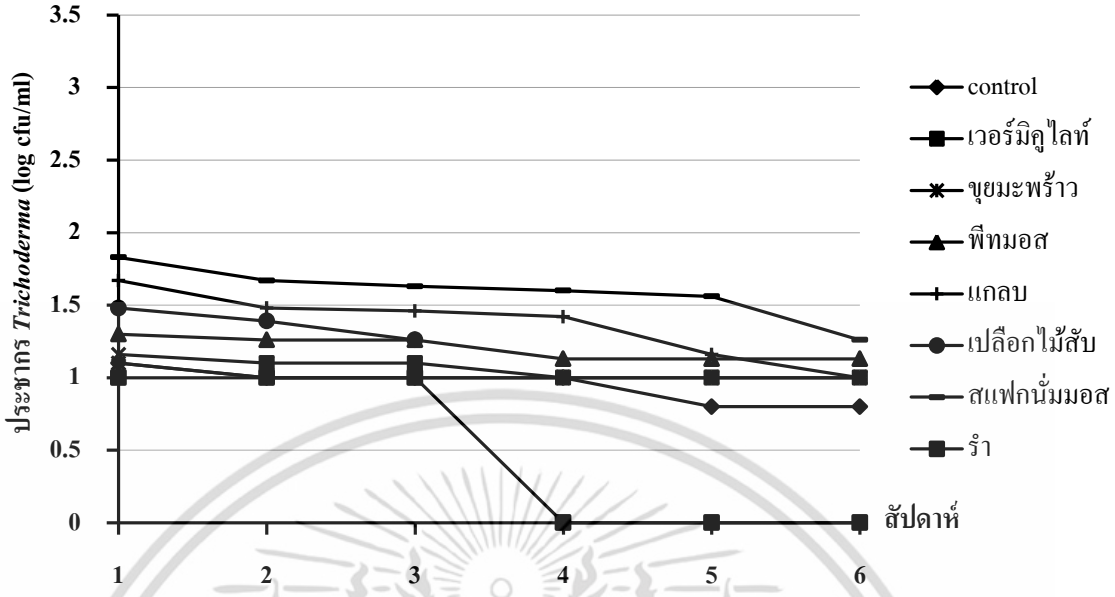
ภาพที่ 4.8 ผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากร *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ

จากภาพจะเห็นได้ว่าวัสดุรองรับทุกชนิดสามารถรักษาระดับจำนวนประชากร *T. harzianum* ให้มีอัตราการลดลงที่ช้ากว่าปกติได้ โดยในส่วนของสแฟกนั่มมอสมีจำนวนประชากรสูงที่สุดจากเริ่มต้น 5.8 เป็น 5.6 log cfu/ml ส่วนในกรรมวิธีอื่นๆ พบอยู่ในช่วง 4.0-5.6 log cfu/ml ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีการลดลงอย่างรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัดจาก 3.5 เหลือเพียง 0.7 log cfu/ml ภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นไม่สามารถตรวจนับเชื้อดังกล่าวได้ (ภาพที่ 4.8) ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าวัสดุรองรับสามารถรักษาประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ได้ โดยมีมากกว่าในกรรมวิธีควบคุมประมาณ 40 เท่า (ภาพที่ 4.8)

ในส่วนของรำที่สามารถรักษาระดับเชื้อดังกล่าวได้เพียง 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นไม่สามารถตรวจพบจำนวนประชากรเชื้อดังกล่าวได้ ซึ่งสาเหตุเกิดจากคุณภาพของสารละลายและวัสดุรองรับมีการเสื่อมสภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการละลายตัวของออกซิเจนในสารละลายมีค่าที่ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงสัปดาห์แรก (ไม่แสดงผล) และส่งผลต่อเนื่องทำให้พืชตายภายหลังจากการปลูกเพียง 3 วัน (Goto *et al*., 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 จำนวนประชากร *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร



ภาพที่ 4.9 ผลของวัสดุรองรับอินทรีย์ต่อจำนวนประชากร *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร

จากภาพจะเห็นได้ว่าจำนวนประชากร *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารเป็นไปในทางเดียวกันกับจำนวนประชากรในวัสดุรองรับ ซึ่งในแต่ละกรรมวิธีมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป โดยในสแฟกนั่มมอสตรวจพบจำนวนประชากรเชื้อดังกล่าวสูงที่สุดตลอดการทดลองคืออยู่ในช่วง 1.3-1.8 log cfu/ml ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมพบอยู่ในช่วง 1.0-1.1 log cfu/ml เมื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าในสแฟกนั่มมอสมีสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมประมาณ 1 เท่า (ภาพที่ 4.9)

สำหรับการเจริญเติบโตของพืช พบว่ายังคงมีการเจริญเติบโตตามปกติ โดยไม่มีผลกระทบเชิงลบที่เกิดจากวัสดุรองรับอินทรีย์แต่อย่างใด (ยกเว้นรำ ซึ่งทำให้เกิดการเน่าเสียของสารละลายธาตุอาหาร การละลายตัวของออกซิเจนในสารละลายต่ำ จึงทำให้พืชทดสอบตายภายในระยะเวลา 3 วัน) โดยทุกกรรมวิธีที่มีวัสดุรองรับ ซึ่งได้รับการหมักกับเชื้อราปฏิปักษ์ *T. harzianum* สามารถทำให้พืชทดสอบเจริญเติบโตได้มากกว่าในกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเริ่มสังเกตเห็นความแตกต่างได้ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จนกระทั่งถึงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง สแฟกนั่มมอสทำให้การเจริญเติบโตของพืชทดสอบสูงสุดทั้งในด้านจำนวนใบ คือ 28.5 ใบ และขนาดทรงพุ่ม 30.7 เซนติเมตร ขณะที่กรรมวิธีควบคุม มีจำนวนใบ 18.8 ใบ และทรงพุ่มเพียง 22.2 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังส่งผลไปถึงผลผลิต โดยที่สแฟกนั่มมอสที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด ก็ยังคงมีผลผลิตที่สูงสุดในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ทั้งในด้านน้ำหนักสดของต้นและรากคือ 157.2 และ 21.5 กรัม โดยแตกต่างกันอย่างชัดเจนกับกรรมวิธีควบคุม ที่มีน้ำหนักสดของต้นและรากเพียง 36.7 และ 8.1 กรัม จากผลการทดลองดังกล่าวอาจสรุปได้ว่า ในสแฟกนั่มมอสมีจำนวนประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในปริมาณที่สูง ทั้งในวัสดุรองรับและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายธาตุอาหาร ซึ่งเชื้อนี้สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช จึงทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูงตามไปด้วย (ตารางที่ 4.5, ภาพที่ 4.10)

ตารางที่ 4.5 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คภายใต้ระบบสารละลายหมุนเวียนที่มีวัสดุรองรับอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

กรรมวิธี	จำนวนใบ				ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)				น้ำหนัก(กรัม)	
	Wk. 1	Wk. 2	Wk. 3	Wk. 4	Wk. 1	Wk. 2	Wk. 3	Wk. 4	ต้น	ราก
control	7.8b[1/]	11.6b	16.2c	18.8c	18.2b	19.9c	21.1d	22.0d	37.68d	8.07e
ขุยมะพร้าว	8.5ab	15.8a	23.3ab	27.6a	18.6b	21.1bc	25.0b	28.7ab	102.33c	14.70c
เวอร์มิคูไลท์	8.2ab	15.2a	22.2ab	22.7b	17.9b	19.9c	22.2cd	23.3b	105.90bc	12.94d
พีทมอส	8.4ab	16.7a	23.6ab	26.0ab	20.9b	22.5b	24.7b	27.3bc	130.35b	19.52ab
แกลบ	9.1ab	14.4a	22.1ab	23.8b	20.7a	22.1ab	23.5bc	24.8cd	99.90c	16.92bc
เปลือกไม้สับ	9.2ab	16.4a	26.7a	29.3a	20.7a	22.4b	25.6b	28.3ab	130.60b	21.09a
สแฟกนั่มมอส	9.5a	16.2a	27.0a	28.5a	21.0a	23.4a	28.2a	30.7a	157.20a	21.49a

[1/] ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P = 0.05) โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

ภาพที่ 4.10 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกในกรรมวิธีต่างๆ; A: control; B: ขุยมะพร้าว;C: เวอร์มิคูไลท์; D: พีทมอส; E: แกลบสด; F: เปลือกไม้สับ; G: สแฟกนั่มมอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความสามารถของวัสดุรองรับอินทรีย์ในการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ภายหลังการใช้งาน

ตารางที่ 4.6 ปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. ที่ตรวจพบในวัสดุรองรับอินทรีย์ภายหลังการใช้งาน

กรรมวิธี	จำนวน *Pythium* sp. ที่ตรวจพบ (cfu/100 ml)[1/]
control	88.3
ขุยมะพร้าว	8.3
เวอร์มิคูไลท์	8.3
พีทมอส	11.6
แกลบสด	6.6
เปลือกไม้สับ	63.3
สแฟกนั่มมอส	51.6

[1/]โดยวิธี baiting technique ใช้เมล็ดแตงกวาเป็นเหยื่อล่อ

จากการทดสอบกิจกรรมการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ของเชื้อรา *T. harzianum* ที่มีอยู่ในวัสดุรองรับ พบว่า กรรมวิธีที่ใช้แกลบมีปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. น้อยที่สุด รองลงมาคือ ขุยมะพร้าว เวอร์มิคูไลท์ พีทมอส สแฟกนั่มมอส และเปลือกไม้สับ โดยมีปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. คือ 6.6, 8.3, 8.3, 11.6, 51.5 และ 63.3 cfu/ 100 ml ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมซึ่งมีปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. 88.3 cfu/ 100 ml จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเชื้อรา *T. harzianum* ในการควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. แม้ว่าจะผ่านการทดลองมาแล้วเป็นเวลา 6 สัปดาห์

จากการพิจารณาคัดเลือกวัสดุรองรับอินทรีย์จากคุณสมบัติด้านต่างๆ พบว่า สแฟกนั่มมอสสามารถชะลอการลดลงของเชื้อรา *T. harzianum* ได้ดี โดยมีประชากรเชื้อดังกล่าวในวัสดุรองรับมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ (5.6 log cfu/ml ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง) ส่วนในด้านการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหลังการใช้งานพบว่า มีเพียงสีของวัสดุเท่านั้นที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ส่วนวัสดุอินทรีย์อีกชนิดที่ได้รับการพิจารณาคัดเลือกคือ ขุยมะพร้าว เนื่องจากสามารถลดปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. ได้ดี และยังคงมีปริมาณเชื้อ *T. harzianum* สูงอยู่ (4.0 log cfu/ml ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง) และคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุรองรับทั้งสอง ไม่มีผลกระทบเชิงลบกับพืช ดังนั้นจึงเหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเป็นระบบกรองชีวภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

3.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุรองรับอนินทรีย์

3.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุรองรับอนินทรีย์ โดยการนำวัสดุรองรับอนินทรีย์ชนิดต่างๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แช่ในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่า pH ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ รวมถึงเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของวัสดุรองรับอนินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน

ชนิดวัสดุรองรับ	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	น้ำหนัก (กรัม)		การอุ้มน้ำ (%)
			ก่อนแช่	หลังแช่	
ก่อนการใช้งาน					
ใยสังเคราะห์	0.33	8.3	1.70	35.51	33.81
เพอร์ไลท์	0.64	8.3	9.84	42.24	32.40
แกลบเผา	0.85	9.0	18.01	51.77	33.76
เม็ดดินเผา	0.82	10.7	44.98	51.97	6.99
ทรายละเอียด	0.11	8.4	86.75	121.81	35.06
ทรายหยาบ	0.32	8.3	93.31	126.03	32.72
ฟองน้ำ	0.47	8.3	0.61	36.86	36.25
หลังการใช้งาน					
ใยสังเคราะห์	0.57	8.0	2.20	37.70	35.50
เพอร์ไลท์	3.83	7.5	24.30	49.20	24.90
แกลบเผา	2.62	7.9	30.10	96.60	66.50
เม็ดดินเผา	2.31	8.4	46.70	58.50	11.80
ทรายละเอียด	0.62	8.4	153.40	186.60	33.20
ทรายหยาบ	0.76	8.4	157.90	186.50	28.60
ฟองน้ำ	0.67	8.2	0.90	37.30	36.40

จากตารางจะเห็นได้ว่า วัสดุรองรับอนินทรีย์ก่อนการใช้งานมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) ต่ำ โดยมีค่าตั้งแต่ 0.11-0.85 มิลลิซิเมนต์ต่อเซนติเมตร หลังจากนั้นภายหลังการใช้งานเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ค่า EC ของวัสดุรองรับอนินทรีย์ทุกชนิดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าตั้งแต่ 0.57-3.83 มิลลิซิเมนต์ต่อเซนติเมตร ส่วนค่าความเป็นกรดด่าง (pH) วัสดุรองรับอนินทรีย์มีสมบัติเป็นด่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเม็ดดินเผาที่มีค่า pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุดคือ 10.7 ส่วนวัสดุชนิดอื่นมีค่าประมาณ 8.3-9.0 หลังจากนั้นเมื่อผ่านการใช้งานแล้วค่า pH ลดลง โดยอยู่ระหว่าง 7.5-8.4 (ตารางที่ 7)

ในด้านการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายหลังการใช้งาน พบว่า อนุภาคของวัสดุรองรับอนินทรีย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ วัสดุยังคงรูปเดิม ไม่มีการแตกสลาย หรือรูปทรงเปลี่ยนไป ส่วนสีของวัสดุรองรับนั้น มีเพียงใยสังเคราะห์ เพอร์ไลท์ และฟองน้ำ ที่มีสีคล้ำขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าแกลบเผาเกิดการยุบตัวลงจากเดิม 33.51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในวัสดุอื่นๆๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.8, ภาพที่ 4.11)

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุรองรับอนินทรีย์ภายหลังการใช้งาน

วัสดุรองรับ	อนุภาค	สี	การยุบตัว (%) [1/]	หมายเหตุ
ใยสังเคราะห์	ไม่เปลี่ยน	เปลี่ยน	-	
เพอร์ไลท์	ไม่เปลี่ยน	เปลี่ยน	-	
แกลบเผา	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	33.51	
เม็ดดินเผา	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	-	
ทรายละเอียด	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	-	
ทรายหยาบ	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	-	
ฟองน้ำ	ไม่เปลี่ยน	เปลี่ยน	-	

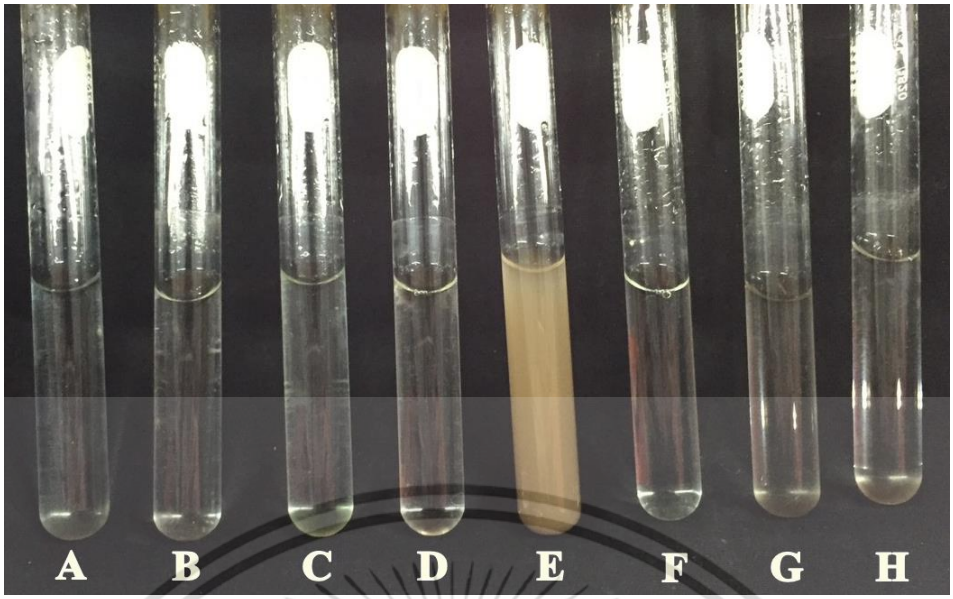
[1/] เปอร์เซ็นต์การยุบตัว= (ปริมาตรของวัสดุรองรับในภาชนะเริ่มต้นการทดลอง – ปริมาตรของวัสดุรองรับในภาชนะหลังการทดลอง) ×100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบวัสดุรองรับอนินทรีย์ก่อนและหลังการใช้งาน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอที่กำลังขยายต่าง ๆ (ภาพปกติ, กำลังขยาย 3 และ 5 เท่า); A: ใยสังเคราะห์; B: เพอร์ไลท์; C: แกลบเผา; D: ทรายละเอียด; E: ทรายหยาบ; F: เม็ดดินเผา; G: ฟองน้ำ

จากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุรองรับอนินทรีย์ และนำมาเปรียบเทียบก่อนและภายหลังการใช้งานพบการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าวัสดุอินทรีย์ เนื่องจากวัสดุรองรับอนินทรีย์เป็นวัสดุที่เกิดการย่อยสลายจนถึงขั้นสุดท้ายแล้ว จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเพียงเล็กน้อย โดยมีเพียงแค่ ใยสังเคราะห์ เพอร์ไลท์ และฟองน้ำ ที่มีการเปลี่ยนสีของวัสดุเพียงเท่านั้น และเมื่อสังเกตผลของวัสดุรองรับต่อสารละลายธาตุอาหารจะพบว่ามีเพียงเม็ดดินเผาเพียงชนิดเดียวที่ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล ดังนั้นจึงอาจไม่เหมาะที่จะนำเม็ดดินเผาไปใช้ในการทดลองต่อไปได้ (ภาพที่ 4.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 สีของสารละลายธาตุอาหารในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง; A: control; B: ทรายละเอียด; C: ใยสังเคราะห์; D: แกลบเผา; E: เม็ดดินเผา; F: เพอร์ไลท์; G: ทรายหยาบ; H: ฟองน้ำ

3.1.1 คุณสมบัติทางชีววิทยา

ตารางที่ 4.9 จำนวนประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่นในที่ตรวจพบวัสดุรองรับอนินทรีย์

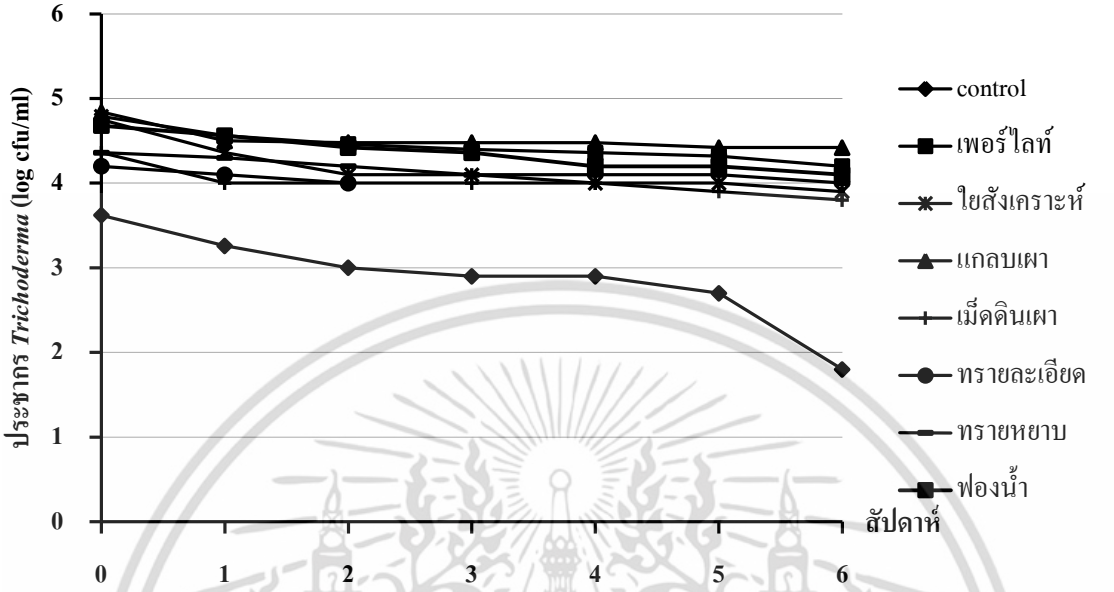
ชนิดวัสดุรองรับ	จำนวนประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่น (log cfu/ml)	
	เชื้อรา	แบคทีเรีย
ทรายละเอียด	1.85	4.94
ใยสังเคราะห์	1.60	3.26
แกลบเผา	1.95	2.37
เม็ดดินเผา	มากกว่า 2.00	มากกว่า 5.00
เพอร์ไลท์	1.52	2.88
ทรายหยาบ	มากกว่า 2.00	มากกว่า 5.00
ฟองน้ำ	1.86	3.75

จากตารางจะเห็นได้ว่าจำนวนประชากรจุลินทรีย์ท้องถิ่นในวัสดุรองรับอนินทรีย์มีปริมาณน้อย โดยเชื้อรา มีเพียงทรายหยาบและเม็ดดินเผาที่ตรวจพบมากกว่า 2 log cfu/ml ส่วนในวัสดุรองรับชนิดอื่นๆ ตรวจพบน้อยกว่า 1.95 cfu/ml โดยเฉพาะในเพอร์ไลท์ซึ่งตรวจพบน้อยที่สุดคือ 1.52 cfu/ml ทางด้านประชากรแบคทีเรียเม็ดดินเผาและทรายหยาบ ยังคงพบในปริมาณที่สูงสุดคือ มากกว่า 5.00 cfu/ml ขณะที่แกลบเผาตรวจพบน้อยที่สุดคือ 2.37 cfu/ml (ตารางที่ 4.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

3.2.1 จำนวนประชากร *T. harzianum* ในวัสดุรองรับอนินทรีย์

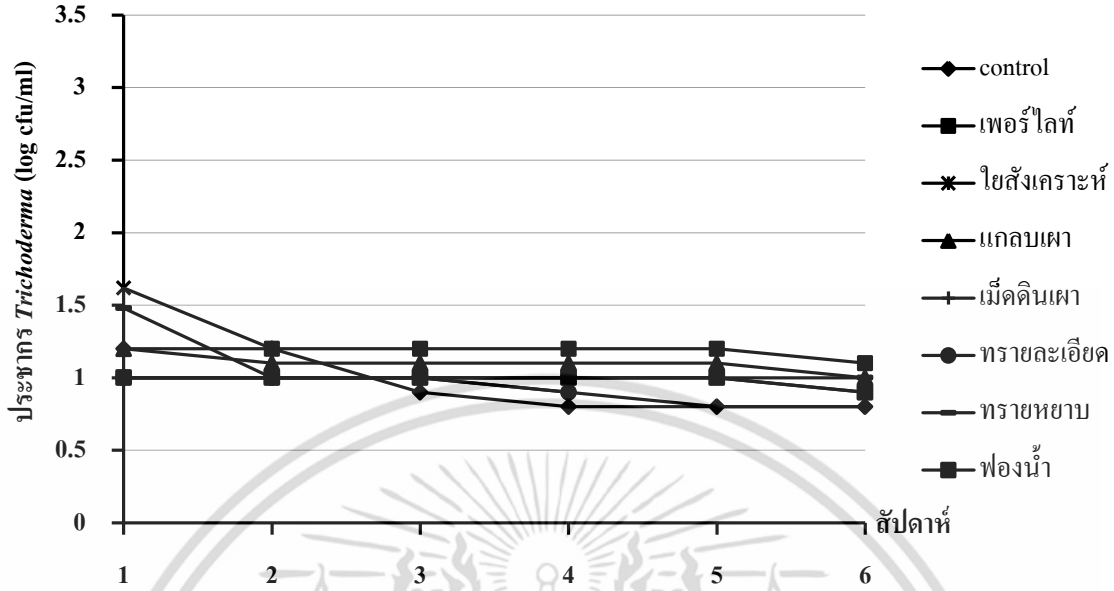


ภาพที่ 4.13 ผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ

จากภาพจะเห็นได้ว่า วัสดุรองรับอนินทรีย์ทุกชนิดสามารถทำให้จำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* มีอัตราการลดลงที่ช้ากว่าปกติได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (ไม่มีวัสดุรองรับ) ประชากรเชื้อดังกล่าวในวัสดุรองรับมีการลดลงอย่างรวดเร็ว จาก 3.6 log cfu/g ในสัปดาห์แรกของการทดลอง เหลือเพียง 1.2 log cfu/g ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ในขณะที่แกลบเผามีจำนวนประชากรเชื้อดังกล่าวมากที่สุดคือ 4.8 log cfu/g และยังคงมีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง คือ 4.4 log cfu/g เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ รองลงมาคือ เพอร์ไลท์ มีประชากรเชื้อ *T. harzianum* เริ่มต้น 4.8 log cfu/g จากนั้นลดลงเหลือ 4.2 log cfu/g ส่วนกรรวิธีอื่นๆ พบอยู่ในช่วง 3.8-4.0 log cfu/g ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.13) สำหรับประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารพบอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยกรรมวิธีควบคุม (ไม่มีวัสดุรองรับ) ตรวจพบน้อยที่สุดคือ 0.8 log cfu/ml ส่วนในกรรมวิธีอื่นๆ พบอยู่ในช่วง 0.9-1.1 log cfu/ml ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวัสดุรองรับอนินทรีย์ก็สามารถที่จะช่วยให้เชื้อรา *T. harzianum* ลดลงช้ากว่าปกติได้เช่นเดียวกันกับวัสดุอินทรีย์ (ภาพที่ 4.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 จำนวนประชากร *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร



ภาพที่ 4.14 ผลของวัสดุรองรับอนินทรีย์ต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร

ตารางที่ 4.10 การเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คภายใต้ระบบสารละลายหมุนเวียนที่มีวัสดุรองรับอนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

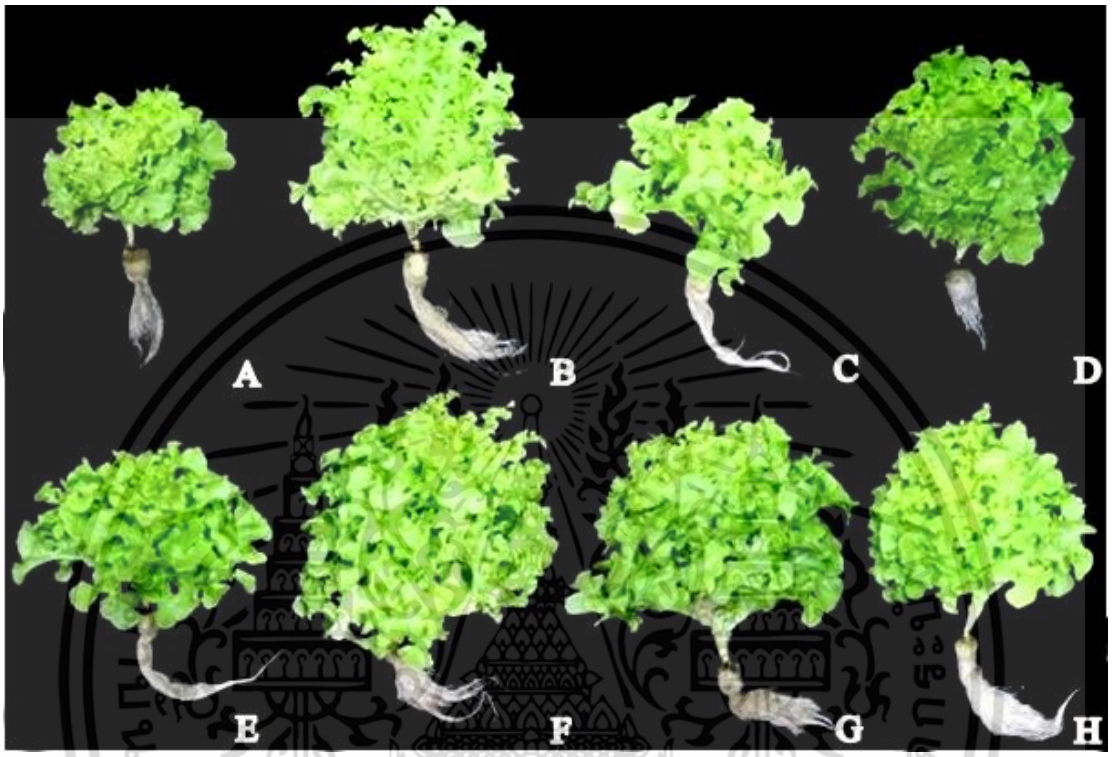
กรรมวิธี	จำนวนใบ				ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)				น้ำหนัก (กรัม)	
	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	ต้น	ราก
Control	7.2a[1/]	8.8c	14.6d	16.7d	13.2d	14.3c	20.6c	21.5c	18.92e	5.89e
ทรายละเอียด	7.7a	12.6b	16.1d	19.8d	17.5c	20.9b	21.6c	22.6c	46.80d	10.19d
ใยสังเคราะห์	8.3a	13.7b	19.1c	24.7c	20.3ab	23.7b	26.2b	26.4b	72.78b	10.09b
แกลบเผา	8.1a	13.0b	19.3c	25.0c	18.2bc	23.2b	25.7b	26.5b	72.79b	9.46b
เม็ดดินเผา	7.7a	14.1b	17.2dc	24.5c	19.5ab	21.7b	25.8b	28.6b	58.87c	9.18c
เพอร์ไลท์	7.9a	16.0b	28.8a	34.1a	20.8ab	29.0a	31.5a	33.5a	111.29a	15.91a
ทรายหยาบ	8.1a	16.8a	27.7a	29.6b	21.2a	29.6a	32.3a	33.5a	110.67a	19.35a
ฟองน้ำ	7.6a	14.1a	24.2b	29.6b	18.6ab	27.2a	30.3a	33.2a	111.52a	19.24a

[1/] ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P = 0.05) โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

การเจริญเติบโตของพืชที่ใช้วัสดุรองรับอนินทรีย์ (ซึ่งได้รับการหมักกับเชื้อราปฏิปักษ์ *T. harzianum*) ไม่ได้รับผลกระทบเชิงลบจากวัสดุอนินทรีย์ แต่ในทางตรงกันข้ามกลับทำให้พืชทดสอบเจริญได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ดังจะเริ่มเห็นความแตกต่างกันในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จนถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง เพอร์ไลท์สามารถทำให้พืชทดสอบเจริญเติบโตได้สูงที่สุด คือมีจำนวนใบ 34.1 ใบ และขนาดทรงพุ่ม 33.5 เซนติเมตร ขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีจำนวนใบ 16.7 ใบ และขนาดทรงพุ่ม 21.5 เซนติเมตร ส่วนในด้านผลผลิต กรรมวิธีที่ใช้เพอร์ไลท์ ทรายหยาบ และฟองน้ำ มีผลผลิตสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.10, ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 ขนาดของผักสลัดกรีนโอ๊คในแต่ละกรรมวิธี; A: control; B: ทรายละเอียด; C: ใยสังเคราะห์; D: แกลบเผา; E: เม็ดดินเผา; F: เพอร์ไลท์; G: ทรายหยาบ; H: ฟองน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ความสามารถของวัสดุรองรับอนินทรีย์ในการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. หลังจากการใช้งานแล้ว

ตารางที่ 4.11 ปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. ที่ตรวจพบในวัสดุรองรับภายหลังจากการใช้งาน

กรรมวิธี	จำนวน *Pythium* sp. ที่ตรวจพบ (cfu/100 ml)[1/]
control	100.0
ทรายละเอียด	0.0
ใยสังเคราะห์	86.7
แกลบเผา	1.67
เม็ดดินเผา	53.3
เพอร์ไลท์	56.7
ทรายหยาบ	33.3
ฟองน้ำ	88.3

[1/]โดยวิธี baiting technique ใช้เมล็ดแตงกวาเป็นเหยื่อล่อ

จากการทดสอบกิจกรรมการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ของเชื้อรา *T. harzianum* ที่มีอยู่ในวัสดุรองรับ ภายหลังการใช้งาน พบว่า ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง ทรายละเอียดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ได้ดีที่สุดคือ 100 เปอร์เซ็นต์ คือไม่สามารถตรวจพบเชื้อดังกล่าวในวัสดุรองรับเลย รองลงมาคือ แกลบเผาและทรายหยาบ โดยตรวจพบ 1.67 และ 33.3 cfu/100 ml ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม ตรวจพบ 100 เปอร์เซ็นต์

จากการพิจารณาคัดเลือกวัสดุรองรับอนินทรีย์จากคุณสมบัติด้านต่างๆ พบว่า แกลบเผาเป็นวัสดุรองรับที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถชะลอการลดลงของเชื้อรา *T. harzianum* ได้ดี โดยมีประชากรเชื้อดังกล่าวในวัสดุรองรับมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ (4.4 log cfu/ml ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง) ส่วนในด้านการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหลังการใช้งานพบว่าเกิดการยุบตัวเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่เป็นปัญหาต่อการทดลอง ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าแกลบเผาสามารถยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ได้ดี โดยตรวจพบเพียง 1.7 cfu/100 ml ส่วนวัสดุอีกหนึ่งชนิดที่ทำการคัดเลือกคือ ทรายหยาบซึ่งมีคุณสมบัติทั้งในด้านชะลอการลดลงของเชื้อรา *T. harzianum* และการยับยั้ง *Pythium* sp. ได้ดี รองจากแกลบเผา ทั้งนี้แม้ว่าทรายละเอียดจะสามารถยับยั้ง *Pythium* sp. ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่ได้ทำการคัดเลือก เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งทรายละเอียดเป็นวัสดุที่ค่อนข้างแน่นทึบ และช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อย ในการทดลองต่อไปจึงเกรงว่าจะไม่สามารถทำอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารตามที่กำหนดได้

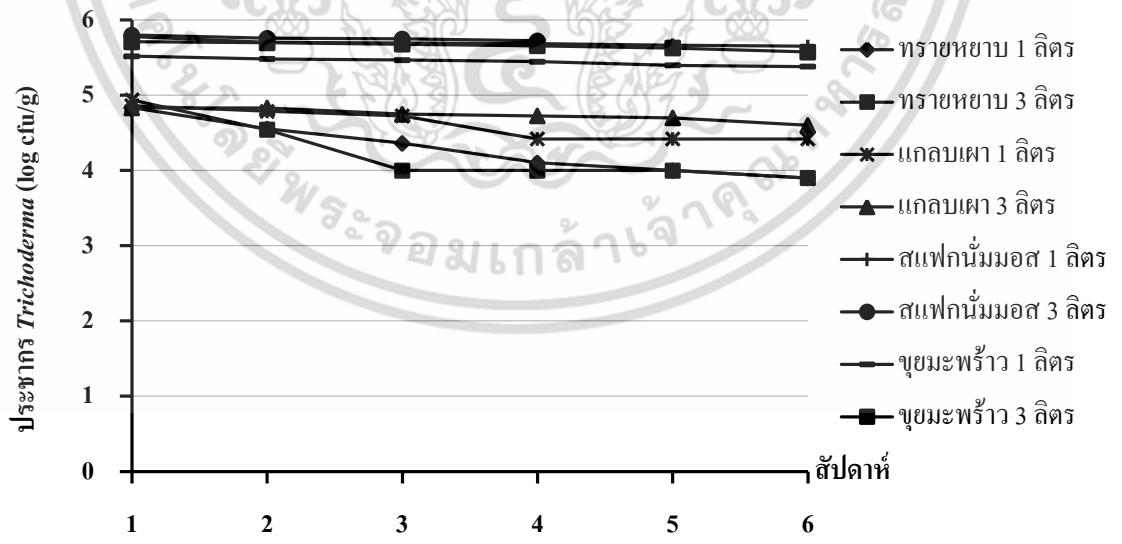
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาตรของวัสดุรองรับต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

จากการค้นหาวัสดุรองรับที่สามารถรักษาหรือชะลอการลดลงของเชื้อรา *T. harzianum* ในระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารและความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ซึ่งได้วัสดุรองรับทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ สแฟกนั่มมอส ขุยมะพร้าว (วัสดุรองรับอินทรีย์) แกลบเผา และทรายหยาบ (วัสดุรองรับอนินทรีย์) จากนั้นนำมาทดสอบหาปริมาตรที่เหมาะสม ซึ่งกำหนดให้มีปริมาตรของวัสดุรองรับดังกล่าว 1 และ 3 ลิตร ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในวัสดุรองรับ

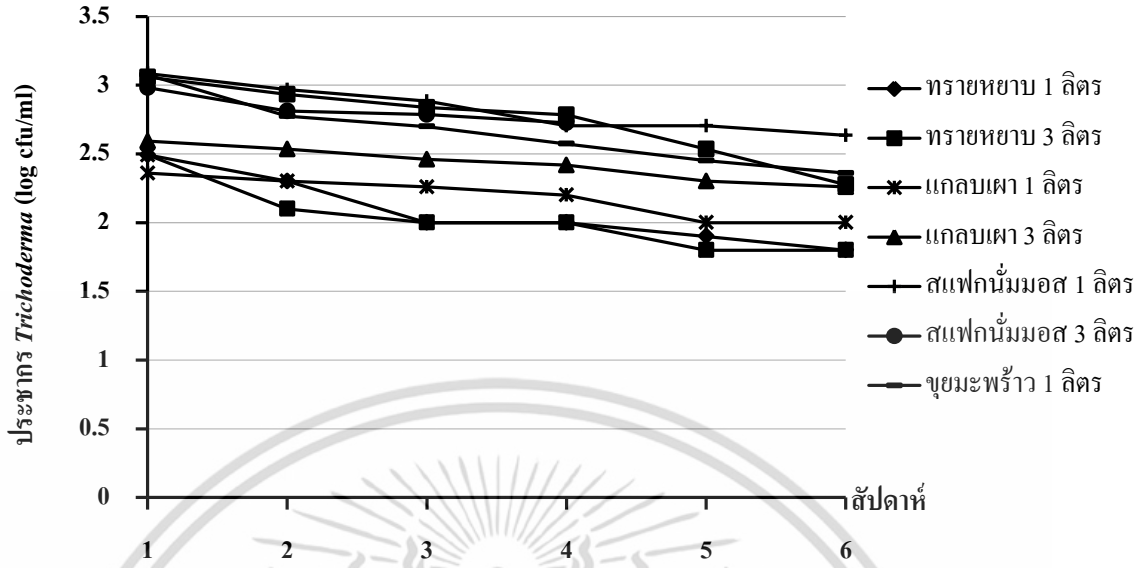
จากการตรวจนับจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับชนิดต่างๆ ปริมาตร 1 และ 3 ลิตร พบว่า สแฟกนั่มมอส (วัสดุรองรับอินทรีย์) ปริมาตร 3 ลิตร มีประชากรเชื้อรา *T. harzianum* สูงที่สุดคือ 5.7 log cfu/g และหากนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุเดียวกันในปริมาตร 1 ลิตร ก็ยังคงมีประชากรเชื้อดังกล่าวมากกว่า ปริมาตร 1 ลิตร ที่มีประมาณ 5.6 log cfu/g ในขณะเดียวกัน จำนวนประชากรในสารละลายธาตุอาหารของสแฟกนั่มมอสปริมาตร 3 ลิตร ก็ยังคงมีมากกว่าคือ 2.7 log cfu/ml ขณะที่ปริมาตร1 ลิตรมีประชากรในสารละลาย 2.6 log cfu/ml เช่นเดียวกันกับกรณีของวัสดุรองรับอนินทรีย์ แกลบเผามีประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในวัสดุรองรับปริมาตร 3 ลิตร คือ 4.6 log cfu/g ขณะที่ 1 ลิตรมีเพียง 4.2 log cfu/g สอดคล้องกับประชากรเชื้อดังกล่าวในสารละลาย ธาตุอาหาร ซึ่งตรวจพบ 2.3 log cfu/ml (ปริมาตร 3 ลิตร) และ 2.0 log cfu/ml (ปริมาตร 1 ลิตร) ซึ่งมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 4.16 และ 4.17)



ภาพที่ 4.16 จำนวนประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในวัสดุรองรับที่ปริมาตรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร



ภาพที่ 4.17จำนวนประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในสารละลายธาตุอาหาร ที่มีปริมาตรของวัสดุรองรับต่างกัน

ตารางที่ 4.12 ผลของวัสดุรองรับที่ปริมาตรต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค

กรรมวิธี	จำนวนใบ				ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)			
	wk.1	wk.2	wk.3	wk.4	wk.1	wk.2	wk.3	wk.4
ทรายหยาบ 1 ลิตร	4.6e [1/]	9.8e	15.9e	21.3de	7.4a	13.2c	18.8e	22.2d
ทรายหยาบ 3 ลิตร	5.1d	11.0d	17.1cd	21.8de	7.3a	14.1bc	19.2de	23.7c
แกลบเผา 1 ลิตร	5.3cd	9.9d	15.0e	20.6e	8.0a	14.9bc	19.0e	21.9d
แกลบเผา 3 ลิตร	6.0c	11.2d	16.0e	22.0d	10.3a	15.9ab	20.4d	24.1c
สแฟกนั่มมอส 1 ลิตร	6.7b	12.2c	17.6b	24.4c	9.5a	16.4ab	20.9c	26.6ab
สแฟกนั่มมอส 3 ลิตร	7.8a	15.1a	19.6a	27.9a	10.8a	18.0a	25.0a	28.0a
ขุยมะพร้าว 1 ลิตร	5.8cd	11.6d	16.8c	24.3c	9.2a	14.1bc	21.5b	26.0b
ขุยมะพร้าว 3 ลิตร	7.3a	14.0b	17.9b	26.8b	10.0a	16.5a	22.6b	26.6ab

[1/] ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P = 0.05) โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

จากตารางผลของวัสดุรองรับที่ปริมาตรต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าชนิดและปริมาตรของวัสดุรองรับมีความสัมพันธ์ต่อการเจริญของผักสลัดกรีนโอ๊คอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ วัสดุรองรับอินทรีย์ (สแฟกนั่มมอสและขุยมะพร้าว) ซึ่งมีประชากรเชื้อรา *T. harzianum* อยู่สูง สามารถทำให้การเจริญเติบโตของพืชทดสอบดีกว่าวัสดุรองรับอนินทรีย์ และยังพบว่าปริมาตร 3 ลิตร มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตมากกว่าปริมาตร 1 ลิตร โดยในสแฟกนั่มมอส ปริมาตร 3 ลิตร พืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดคือ มีจำนวนใบ 27.9 ใบ และมีขนาดทรงพุ่ม 28.0 เซนติเมตร ในขณะที่สแฟกนั่มมอส ปริมาตร 1 ลิตร มีจำนวนใบ 24.4 ใบ และทรงพุ่ม 24.1 เซนติเมตร รองลงมาคือ ขุยมะพร้าว 3 ลิตร มีจำนวนใบ 26.8 ใบ และทรงพุ่ม 26.6 เซนติเมตร ส่วนวัสดุรองรับอนินทรีย์ (ทรายหยาบและแกลบเผา) แกลบเผา 3 ลิตร มีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกันในวัสดุรองรับอนินทรีย์ โดยมีจำนวนใบ 22.0 ใบ และทรงพุ่ม 24.1 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.12, ภาพที่ 4.18)

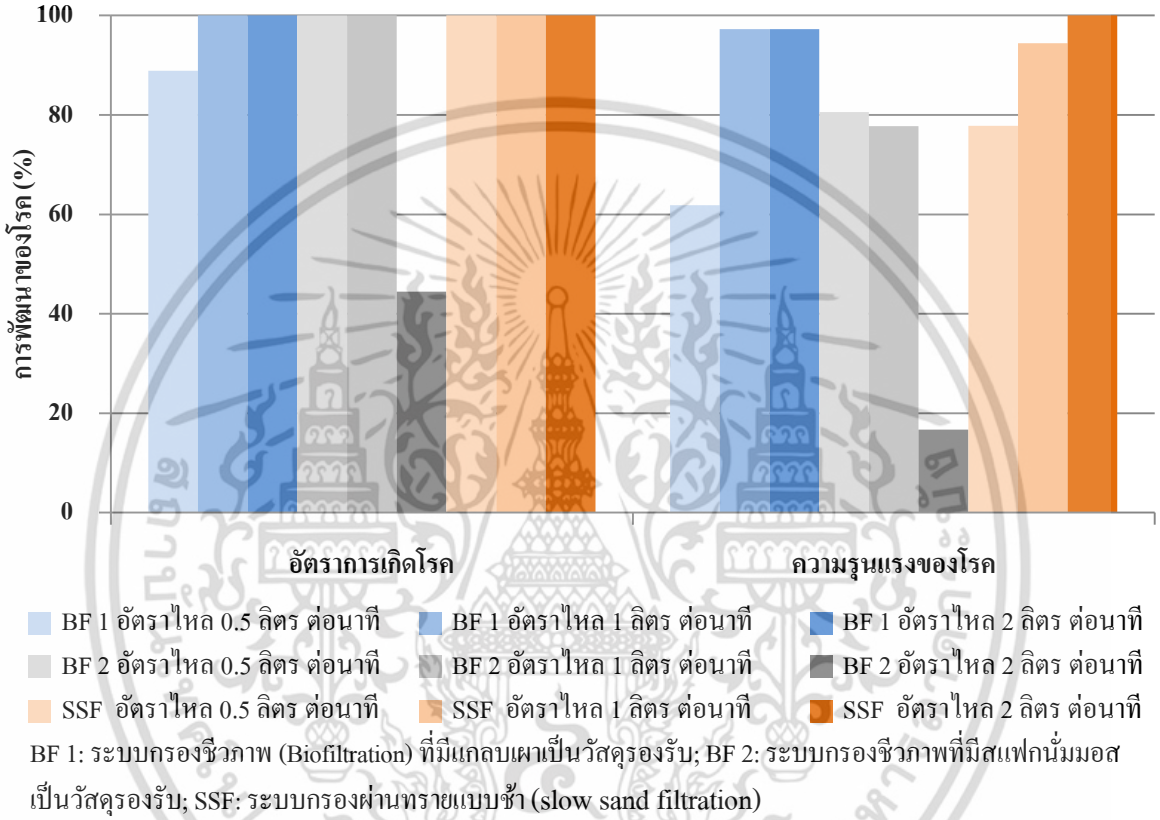
ภาพที่ 4.18 ผลของวัสดุรองรับที่ปริมาตรต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค; A: แกลบเผาปริมาตร 1 ลิตร; B: แกลบเผาปริมาตร 3 ลิตร; C: ทรายหยาบปริมาตร 1 ลิตร; D: ทรายหยาบปริมาตร 3 ลิตร; E: สแฟกนั่มมอสปริมาตร 1 ลิตร; F: สแฟกนั่มมอสปริมาตร 3 ลิตร; G: ขุยมะพร้าวปริมาตร 1 ลิตร; H: ขุยมะพร้าวปริมาตร 1 ลิตร

ดังนั้นหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและปริมาตรวัสดุรองรับต่อประชากรเชื้อรา *T. harzianum* จะเห็นได้ว่าวัสดุรองรับปริมาตร 3 ลิตร มีประชากรเชื้อดังกล่าวมากกว่าปริมาตร 1 ลิตร ทั้งที่ตรวจพบในวัสดุรองรับและสารละลายธาตุอาหาร แม้จำนวนประชากร *T. harzianum* จะไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และทำให้แนวโน้มการเจริญของพืชไม่แตกต่างกันมาก แต่วัสดุรองรับปริมาตร 3 ลิตรนั้น อาจทำให้เพิ่มกิจกรรมการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ภายในชั้นวัสดุรองรับ ซึ่งจะได้ทดสอบต่อไป จึงเลือกสแฟกนั่มมอสและแกลบเผา ที่ปริมาตร 3 ลิตร เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. และเชื้อ *Pythium* sp. ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการการเกิดโรคและความรุนแรงของโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ได้ผลการทดลองดังนี้



BF 1: ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) ที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ; BF 2: ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ; SSF: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration)

ภาพที่ 4.19 ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคในผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp.

จากภาพเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรคในผักสลัดบัตเตอร์เฮด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรคและความรุนแรงของโรครากเน่า ซึ่งพบว่า มีเพียง BF 1 (ระบบกรองชีวภาพที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ) อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที และ BF 2 (ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ) อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที ที่สามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคได้ ในขณะที่กรรมวิธีอื่นๆ มีการเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อสังเกตในด้านความรุนแรงของโรคจะพบว่าทุกกรรมวิธี (ยกเว้น SSF อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที) สามารถลดความรุนแรงของโรคได้ โดย BF 2 อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที มีความรุนแรงของโรคน้อยที่สุดคือ 16.7 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ BF 1 อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความรุนแรงของโรค 61.8 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ SSF อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที 77.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกันใน SSF จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แม้จะมีเพียงสองกรรมวิธีที่สามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคลงได้ แต่ทุกกรรมวิธีก็สามารถลดความรุนแรงของโรคได้ (ภาพที่ 4.19)

ทางด้านเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรคในผักสลัดเรดคอรัล ยังคงมีผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งมีเพียง และ BF 2 (สแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ) อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที BF 1 (แกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ) อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที ที่มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุด คือ 11.1 และ 77.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรรมวิธีอื่นๆ มีการเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าระบบกรองชีวภาพทั้งสองจะลดอัตราการเกิดโรคได้ไม่มาก แต่เมื่อพิจารณาความรุนแรงของโรค ซึ่งระบบทั้งสองก็สามารถลดลงได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบกรองทรายผ่านช้า โดยในกรรมวิธี BF 2 อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที พืชทดสอบมีความรุนแรงของโรคน้อยที่สุดคือ 11.1 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ BF 1 อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที คือ 61.8 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ SSF อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที มีความรุนแรงของโรค 83.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วน SSF ที่อัตราการไหลอื่นๆ มีความรุนแรงของโรค 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.20)

BF 1: ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) ที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ; BF 2: ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ; SSF: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration)

ภาพที่ 4.20 ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคในผักสลัดเรดคอรัลทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp.

กรรมวิธี[1/]	จำนวนใบ				ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)			
	wk. 1	wk. 2	wk. 3	wk. 4	wk. 1	wk. 2	wk. 3	wk. 4
tr1	5.1ab[2/]	8.3ab	9.1ab	10.4ab	6.7ab	9.1ab	10.0ab	10.2ab
tr2	1.7b	1.7b	2.9b	2.2b	3.2b	1.7b	3.6b	1.8b
tr3	4.0ab	1.7b	3.0b	1.9b	6.2ab	1.7b	3.3b	1.7b
tr4	4.0ab	0.8b	4.6b	5.6b	5.5ab	6.2ab	6.0ab	6.4b
tr5	7.1ab	9.3ab	5.9b	6.7b	9.4ab	10.6ab	6.1ab	6.9b
tr6	10.4a	14.4a	15.9a	18.1a	14.6a	16.8a	17.9a	19.6a
tr7	4.9ab	5.1b	5.1b	6.9b	8.3ab	6.4ab	6.5ab	6.6b
tr8	6.0ab	2.8b	1.7b	0.0b	8.6ab	3.6ab	2.5b	0.0b
tr9	0.8b	3.2b	2.7b	4.0b	1.0b	4.6ab	3.3b	4.4b

[1/]Tr1= แกลบเผา อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที, Tr2= แกลบเผา อัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที, Tr3= แกลบเผา อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที, Tr4= สแฟกนั่มมอส อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที, Tr5= สแฟกนั่มมอส อัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที, Tr6= สแฟกนั่มมอส อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที, Tr7= SSF อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที, Tr8= SSF อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที, Tr9= SSF อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที

[2/]ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P = 0.05) โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

จากตารางผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ผลการทดลองพบว่า อัตราการของสารละลายไหลมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรค โดยเฉพาะแกลบเผาและระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (SSF) อัตราการไหลที่สูง (2 ลิตรต่อนาที) มีอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคสูงสุด จึงส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮดน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลอื่นๆ ซึ่งแกลบเผาที่อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลองพืชทดสอบมีจำนวนใบและขนาดทรงพุ่มคือ 1.9 ใบ และ 1.7 เซนติเมตร ขณะที่อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที คือ 10.4 ใบ และ 10.2 เซนติเมตร ส่วนในสแฟกนั่มมอส ซึ่งก่อนหน้านี้จะเห็นได้ว่า อัตราการไหลสูงที่สุดมีการเกิดโรคต่ำที่สุด ทำให้มีการเจริญของพืชทดสอบดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ โดยมีจำนวนใบ 18.1 ใบ และขนาดทรงพุ่ม 19.6 เซนติเมตร ในขณะที่กรรมวิธีอื่นๆ มีจำนวนใบน้อยกว่า 10.4 ใบ และขนาดทรงพุ่มน้อยกว่า 10.2 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.13, ภาพที่ 4.21)

ทางด้านผักสลัดเรดคอรัล ผลการทดลองยังคงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ แกลบเผาและ SSF อัตราการไหลที่สูง (2 ลิตรต่อนาที) มีอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคสูงสุด จึงส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของผักสลัดเรดคอรัลน้อยที่สุด โดยนอกจากนี้ยังพบว่า SSF อัตราการไหล 1 และ 2 ลิตรต่อนาที พืชทดสอบตายภายในระยะเวลา 3 สัปดาห์หลังการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ในขณะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแฟกนั่มมอส ซึ่งอัตราการไหลสูงที่สุดมีการเกิดโรคต่ำที่สุด ทำให้มีการเจริญของพืชทดสอบดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลอื่นๆ หรือหากเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ การเจริญของพืชทดสอบก็ยังคงสูงที่สุด (ตารางที่ 4.14, ภาพที่ 4.22)

ตารางที่ 4.14 ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดเรดคอรัล ที่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp.

กรรมวิธี	จำนวนใบ				ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)			
	wk. 1	wk. 2	wk. 3	wk. 4	wk. 1	wk. 2	wk. 3	wk. 4
tr1	3.8ab	0.7b	3.1b	3.8b	4.7b	0.9b	3.6b	4.1b
tr2	1.7b	0.0b	0.8b	0.8b	1.8b	0.0c	2.6b	0.7b
tr3	1.8b	2.0c	0.0c	1.2c	1.6b	2.4b	0.0c	0.8c
tr4	1.6b	1.7b	0.8b	1.0b	1.3b	1.6b	0.8b	1.1b
tr5	3.3ab	1.8b	2.1b	2.3b	4.6b	2.9b	2.8b	2.8b
tr6	6.3a	5.9a	7.3a	8.6a	9.6a	9.1a	9.7a	10.4a
tr7	3.0ab	2.6ab	1.9b	1.1b	4.0b	3.3b	2.3b	1.6b
tr8	2.2b	0.8b	0.0c	0.0c	2.4b	1.1b	0.0c	0.0c
tr9	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c

[1/]Tr1= แกลบเผา อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที, Tr2= แกลบเผา อัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที, Tr3= แกลบเผา อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที, Tr4= สแฟกนั่มมอส อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที, Tr5= สแฟกนั่มมอส อัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที, Tr6= สแฟกนั่มมอส อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที, Tr7= SSF อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที, Tr8= SSF อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที, Tr9= SSF อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที

[2/]ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P = 0.05) โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

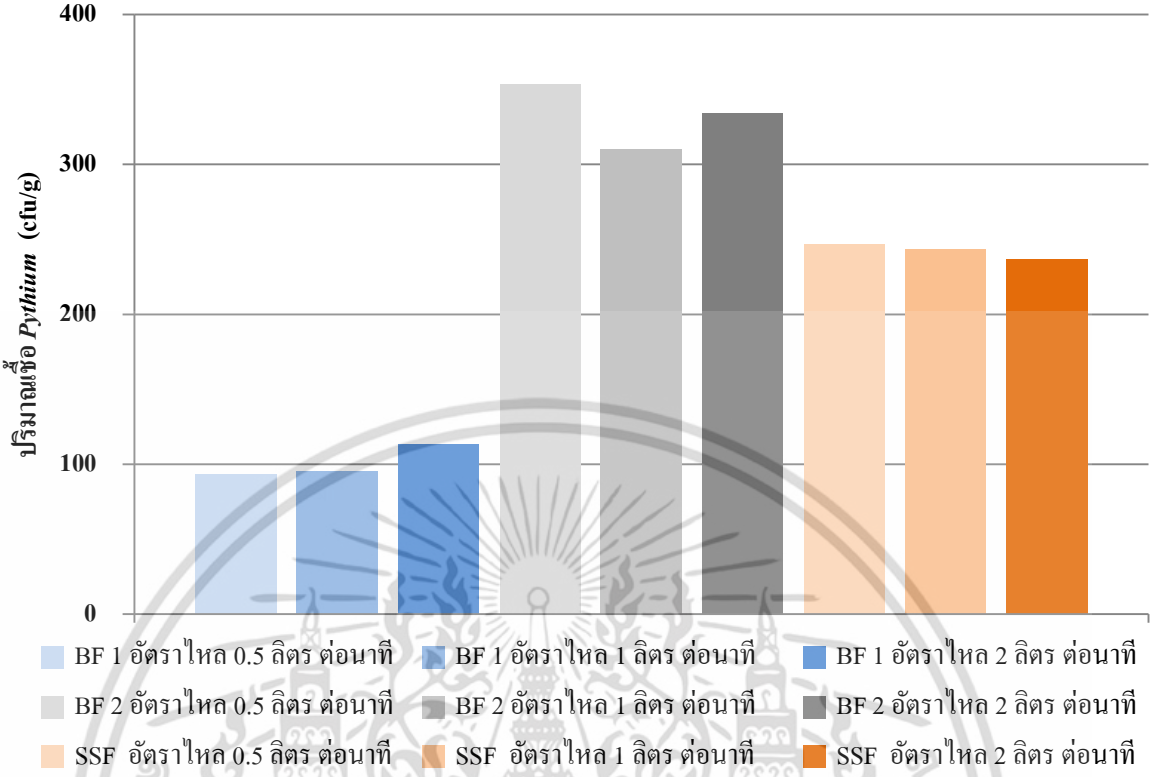
ภาพที่ 4.21 ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดบัตเตอร์เฮด; A: biofiltration 1 แกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที; B: BF 1 อัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที; C: BF 1 อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที; D: biofiltration 2 สแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที; E: BF 2 อัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที; F: BF 2 อัตราไหล 2ลิตรต่อนาที; G: SSF อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.22 ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญของผักสลัดเรดคอรัล; A: biofiltration 1 แกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที; B: BF 1 อัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที; C: SSF อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที; D: biofiltration 2 สแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อนาที; E: BF 2 อัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที; F: BF 2 อัตราไหล 2ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ปริมาณเชื้อ *Pythium* sp.



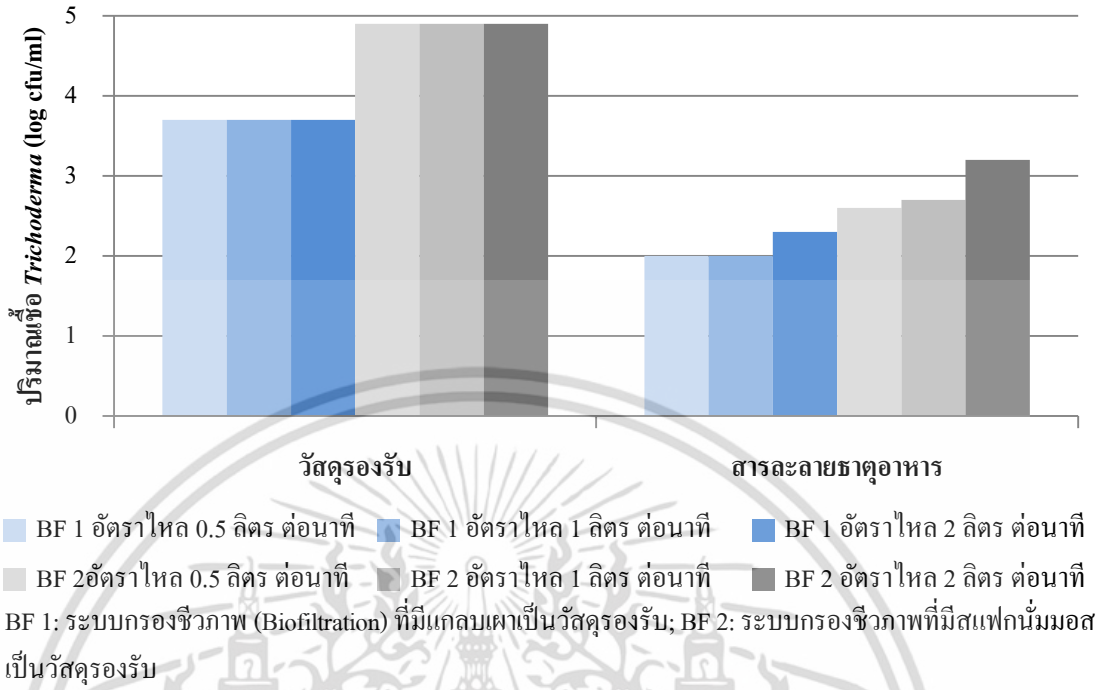
BF 1: ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) ที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ; BF 2: ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ; SSF: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration)

ภาพที่ 4.23 ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อปริมาณเชื้อ *Pythium* spในวัสดุรองรับ หลังจากการปลูกเชื้อ 4 สัปดาห์

จากการตรวจนับปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. ในวัสดุรองรับ ภายหลังจากการใส่เชื้อดังกล่าวลงไปแล้วเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าทุกกรรมวิธียังคงตรวจพบเชื้อ *Pythium* sp. แต่ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยใน BF 1 ทั้ง 3 อัตราการไหล ตรวจพบเชื้อดังกล่าวน้อยที่สุดในช่วง 93.4-113.4 cfu/g ส่วนใน BF 2 ตรวจพบมากที่สุดในช่วง 310.0-353.4 cfu/g ขณะที่ SSF ตรวจพบอยู่ในช่วง 236.6-246.6 cfu/g อย่างไรก็ตามแม้ในกรรมวิธี BF 2 จะมีปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. สูงที่สุด แต่กลับมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคน้อยกว่าในกรรมวิธีอื่นๆ (ภาพที่ 4.23) ส่วนปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. ถังสารละลายธาตุอาหารตรวจพบในปริมาณที่น้อยกว่า 40 cfu/g ในทุกกรรมวิธี (ไม่แสดงผล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ปริมาณเชื้อ *T. harzianum*



BF 1: ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) ที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ; BF 2: ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ

ภาพที่ 4.24 ผลของชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนประชากรเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ในวัสดุรองรับและสารละลายธาตุอาหาร ของระบบกรองชีวภาพ

จากการตรวจนับประชากรเชื้อ *T. harzianum* ที่หลงเหลืออยู่ในระบบกรองชีวภาพทั้งสอง หลังจากทำการทดลองมาแล้วเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ประชากร *T. harzianum* ในวัสดุรองรับของ BF 1 มีปริมาณที่เท่ากันทั้ง 3 อัตราไหล คือ 3.7 log cfu/ml ส่วนในถังสารละลายธาตุอาหารพบในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนักคือ 2.0-2.3 log cfu/ml สำหรับประชากรในวัสดุรองรับของ BF 2 ไม่แตกต่างกันในทั้ง 3 อัตราไหล คือ 4.9 log cfu/ml แต่จะเห็นความแตกต่างของ *T. harzianum* ในถังสารละลายธาตุอาหาร โดยที่อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที ตรวจพบเชื้อดังกล่าวมากที่สุดคือ 3.2 log cfu/ml ในขณะที่อัตราไหลอื่นๆ พบในช่วง 2.6-2.7 log cfu/ml จากผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าจำนวนประชากร *T. harzianum* ในถังสารละลายของ BF 2 ที่อัตราไหล 2 ลิตรต่อนาที ซึ่งมีมากที่สุด ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรคน้อยกว่าในกรรมวิธีอื่นๆ (ภาพที่ 4.24)

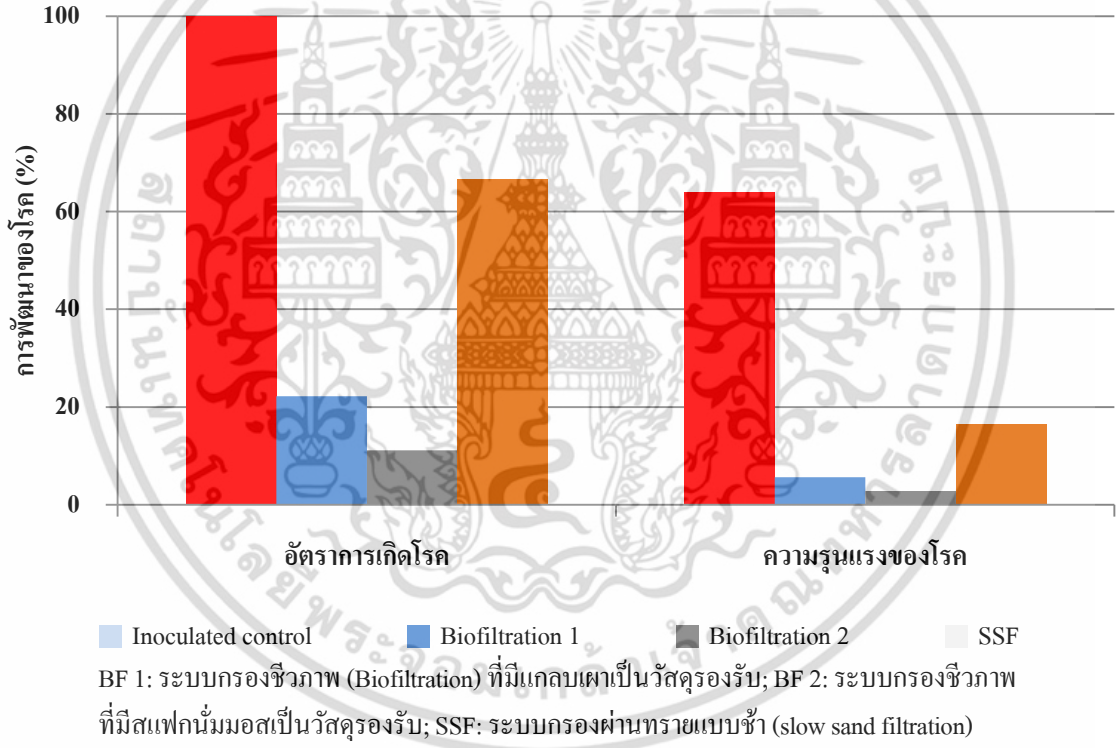
ดังนั้นจึงพิจารณาคัดเลือกระบบกรองชีวภาพที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ ปริมาตร 3 ลิตร อัตราไหลของสารละลายธาตุอาหาร 0.5 ลิตร ต่อนาที และระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ ปริมาตร 3 ลิตร อัตราไหลของสารละลายธาตุอาหาร 2 ลิตร ต่อนาที เนื่องจากสามารถลดการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคลงได้มากที่สุด เพื่อทดสอบในระบบ solution culture ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพ ในการควบคุมโรคโคนเน่ารากเน่าในระบบ solution culture

จากการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพ ซึ่งได้จากการทดลองในเบื้องต้น ตั้งแต่การหาชนิดและปริมาตรวัสดุรองรับ ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารในการควบคุมโรครากเน่า จนได้ระบบกรองชีวภาพที่เหมาะสม 2 ระบบ คือ ระบบกรองชีวภาพที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ ปริมาตร 3 ลิตร และอัตราไหลของสารละลายธาตุอาหาร 0.5 ลิตร ต่อนาที ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ ปริมาตร 3 ลิตร และอัตราไหลของสารละลายธาตุอาหาร 2 ลิตร ต่อนาที ในการควบคุมโรครากเน่าของผักสลัดที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. โดยเปรียบเทียบกับระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration: SSF) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของระบบกรองดังกล่าว ได้ผลการทดลองดังนี้

6.1 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคและความรุนแรงของโรค



BF 1: ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) ที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ; BF 2: ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ; SSF: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration)

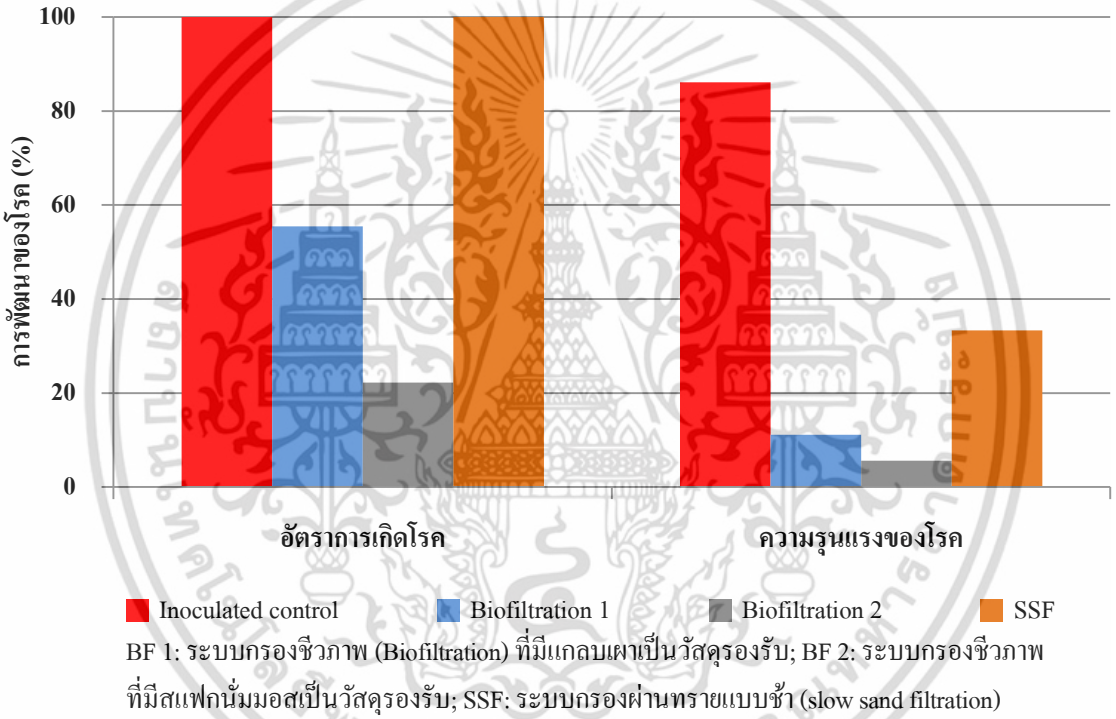
ภาพที่ 4.25 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรครากเน่าในผักสลัดบัตเตอร์เฮดที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp.

จากภาพจะเห็นได้ว่า ระบบกรองชีวภาพทั้งสอง (ที่มีแกลบเผาและสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ) สามารถลดอัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคในผักสลัดบัตเตอร์เฮดได้ดีกว่าระบบกรองผ่านทรายแบบช้า โดย BF 2 มีการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคน้อยที่สุด คือ 11.1 และ 2.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ BF 1 22.2 และ 5.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วน SSF มีการเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรุนแรงของโรคน้อยที่สุด คือ 16.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. มีการเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.25 และ 4.27)

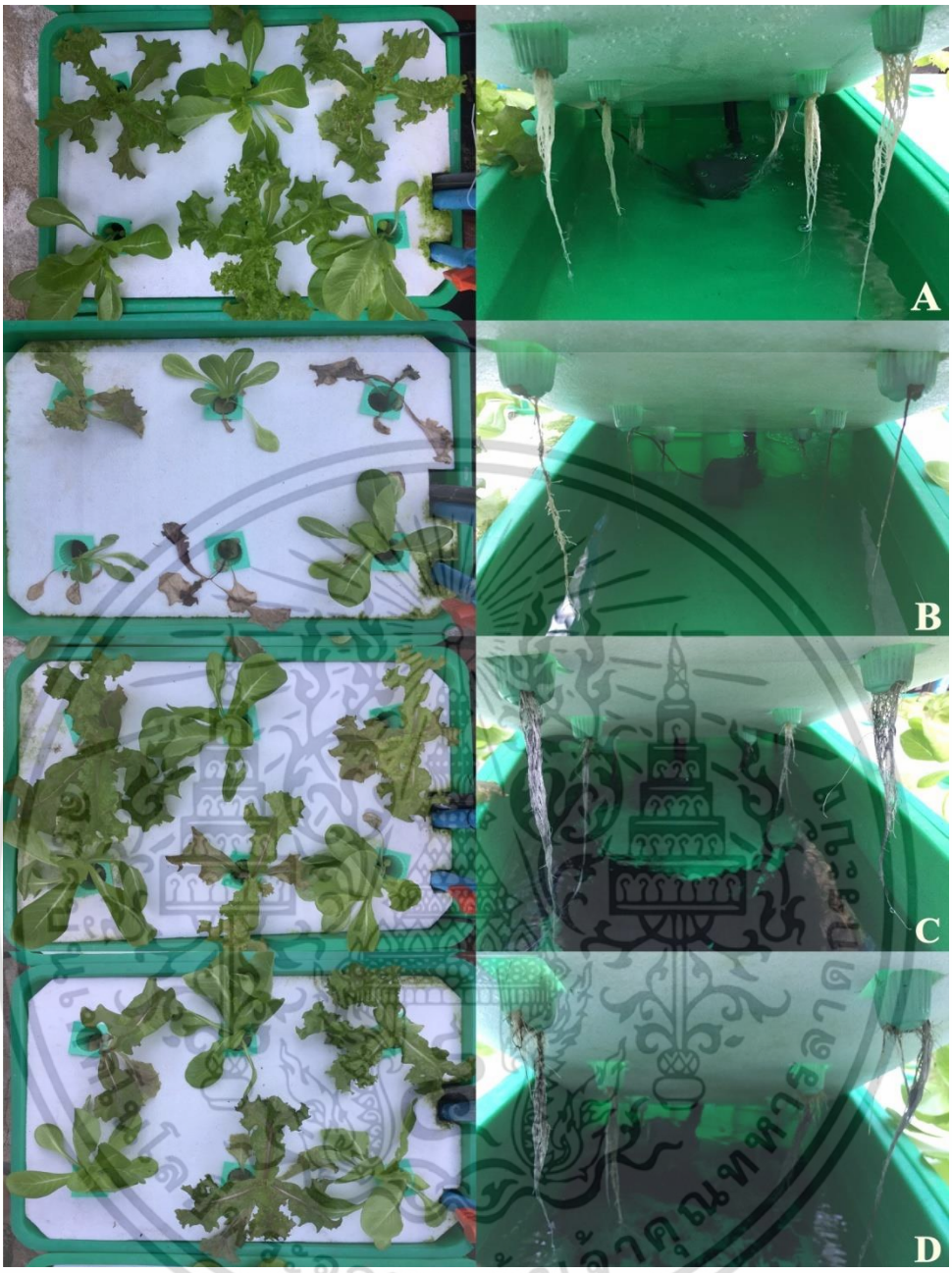
ทางด้านผักสลัดเรดคอรัล ยังคงมีผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีเพียงระบบกรองชีวภาพเท่านั้นที่สามารถลดการเกิดโรครากเน่าในลงได้ โดยใน BF 2 มีการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคน้อยที่สุดคือ 22.2 และ 5.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วน BF 1 มีการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคคือ 55.5 และ 11.1 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่กรรมวิธควบคุมที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. และ SSF มีการเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.26 และ 4.28)



BF 1: ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) ที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ; BF 2: ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ; SSF: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration)

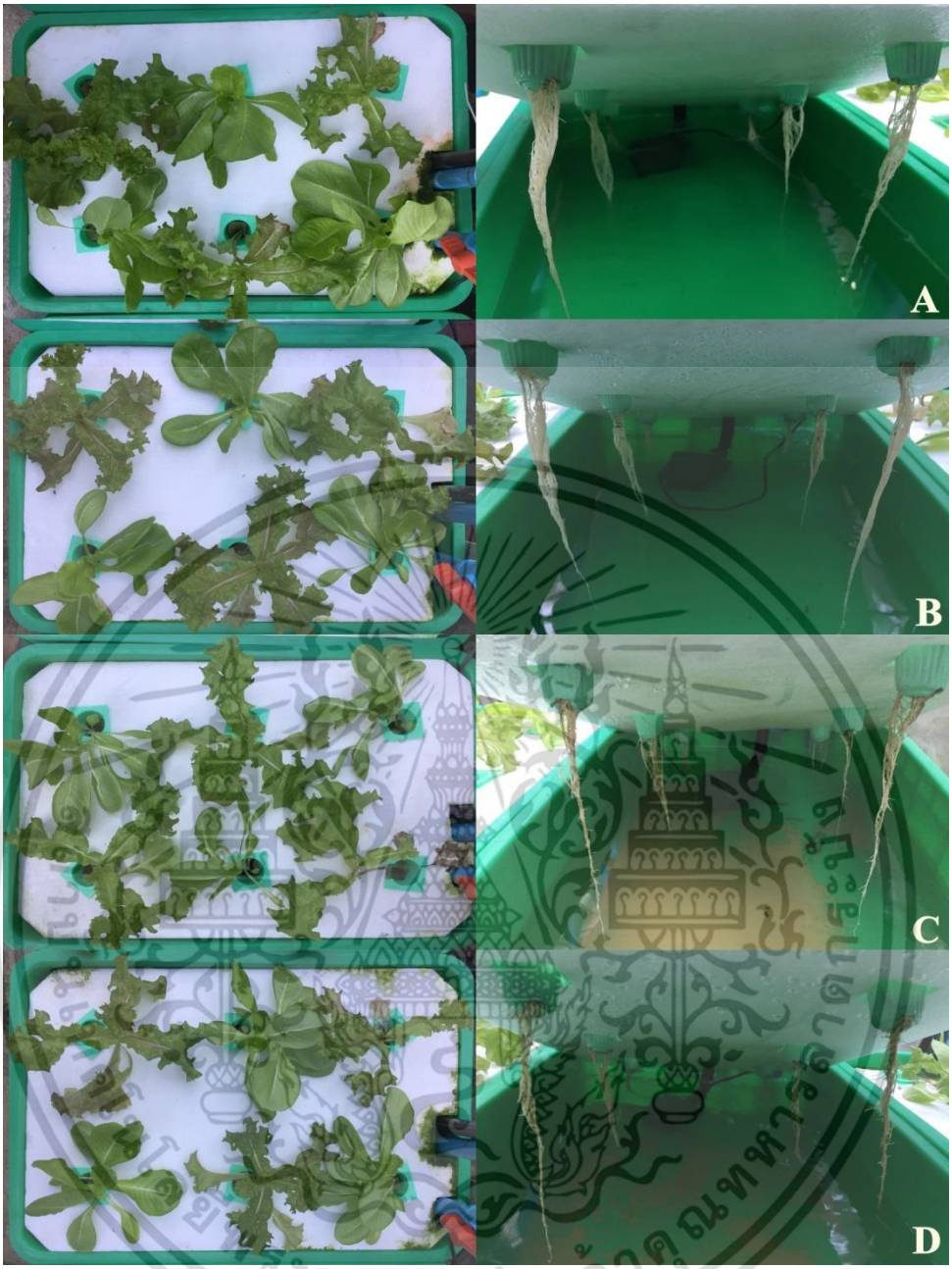
ภาพที่ 4.26 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรครากเน่าในผักสลัดเรดคอรัลที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



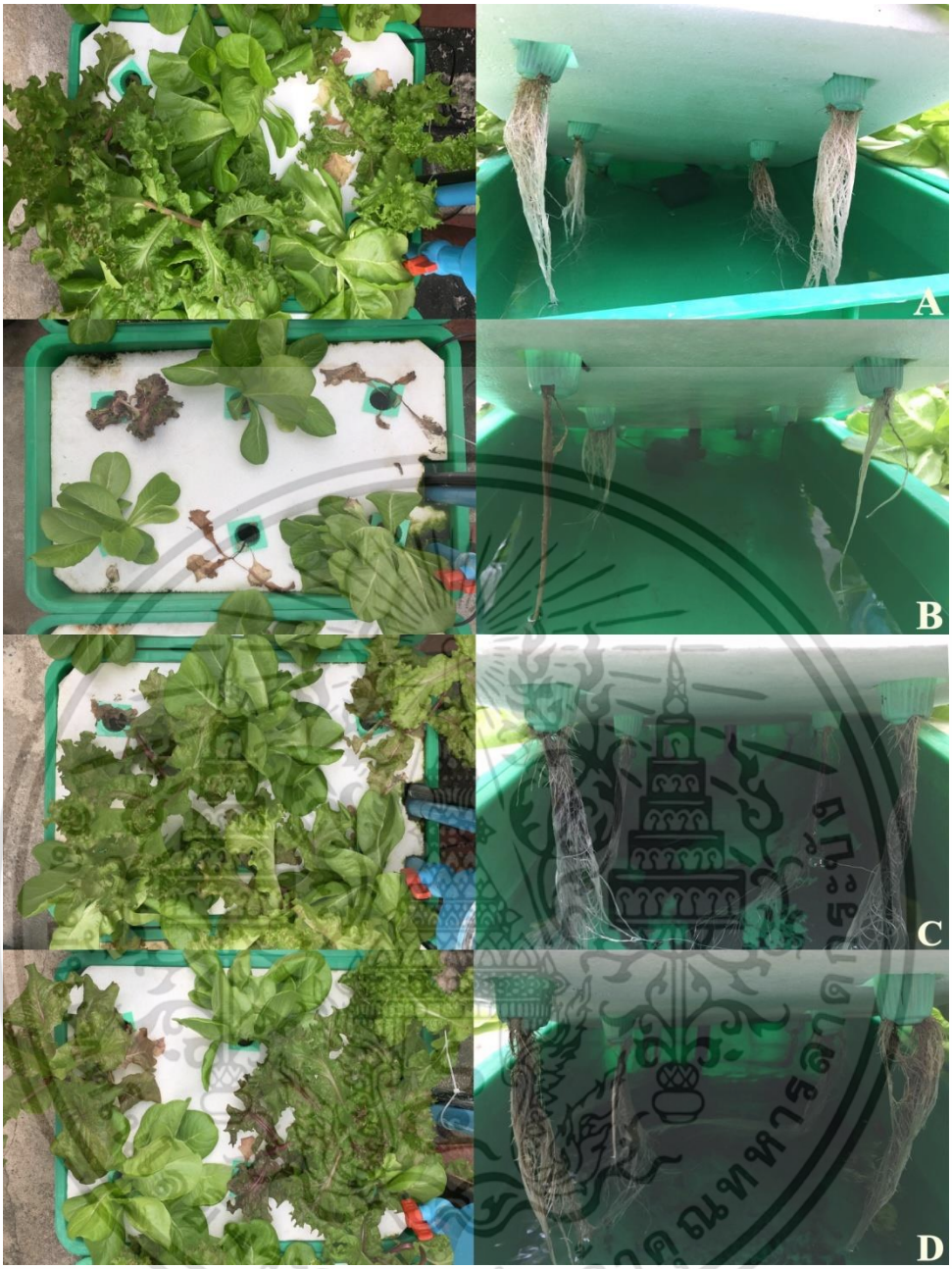
ภาพที่ 4.27 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการลดการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัล ภายหลังจากการปลูกเชื้อ 7 วัน; A: healthy control; B: inoculated control; C: ระบบกรองชีวภาพ 1; D: ระบบกรองชีวภาพ 1+เชื้อ *Pythium* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.27 (ต่อ); A: ระบบกรองชีวภาพ 2; B: ระบบกรองชีวภาพ 2+เชื้อ *Pythium* sp.; C: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า; D: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า+เชื้อ *Pythium* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.28 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการลดการเกิดโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ของผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัล ภายหลังจากการปลูกเชื้อ 28 วัน; A: healthy control; B: inoculated control; C: ระบบกรองชีวภาพ 1; D: ระบบกรองชีวภาพ 1 +เชื้อ *Pythium* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

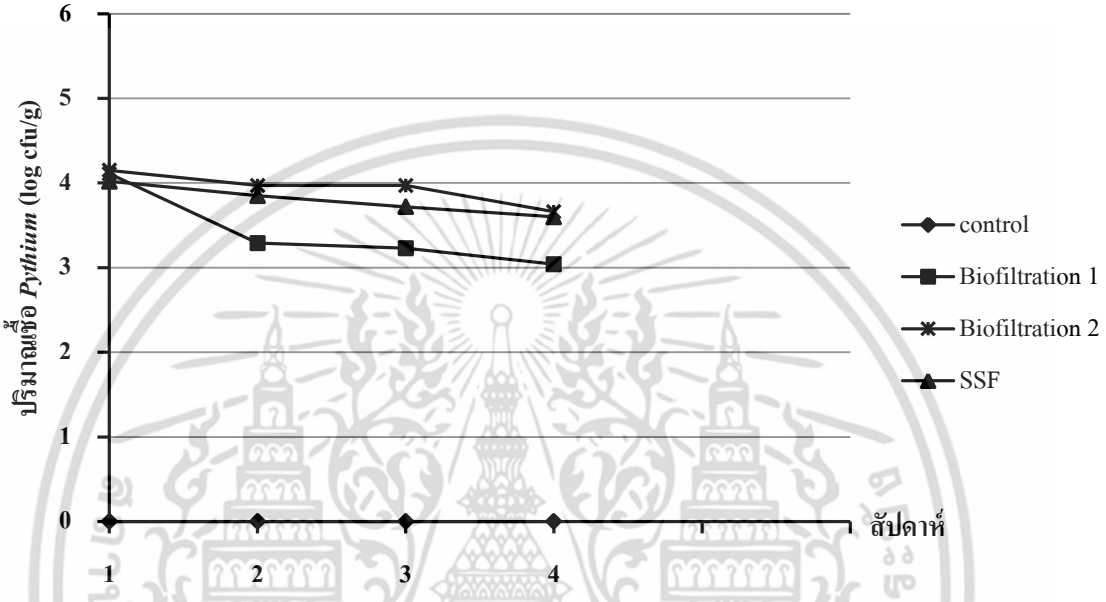
ภาพที่ 4.28 (ต่อ); A: ระบบกรองชีวภาพ 2; B: ระบบกรองชีวภาพ 2+เชื้อ *Pythium* sp.; C: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า; D: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า+เชื้อ *Pythium* sp.

6.2 ประชากรเชื้อ *Pythium* sp.

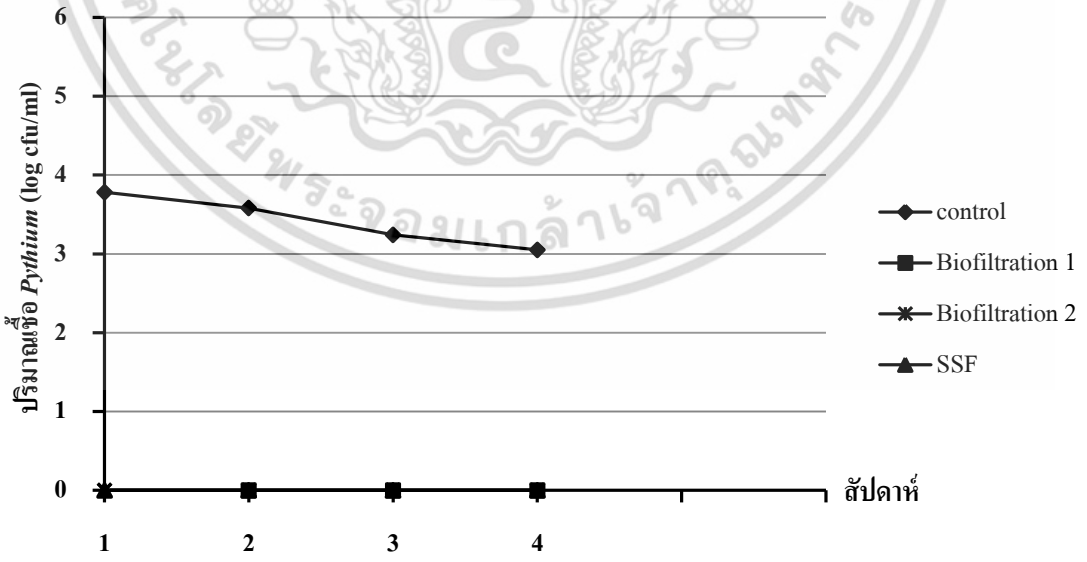
สำหรับจำนวนประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ซึ่งได้ทำการตรวจนับจากวัสดุรองรับและสารละลายธาตุอาหาร พบว่า จำนวนประชากรเชื้อดังกล่าวในวัสดุรองรับของทั้ง 3 กรรมวิธี คือ BF 1 BF 2 และ SSF มีอัตราลดลงอย่างต่อเนื่อง จากสัปดาห์แรกที่มีสูงกว่า 4.0 log cfu/g โดยในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง BF 1 มีประชากรเชื้อ *Pythium* sp. น้อยที่สุด คือ 3.0 log cfu/g ส่วนใน BF 2 และ SSF มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 3.6 log cfu/g (ภาพที่ 4.29) ส่วนในสารละลายธาตุอาหาร พบเพียงในกรรมวิธีควบคุม (inoculated control) คือ 3.8 log cfu/ml ในสัปดาห์แรก จากนั้นลดลงเหลือ 3.1 cfu/ml ในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง จากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ระบบกรองชีวภาพและระบบกรองทรายแบบช้าสามารถช่วยกรองเชื้อ *Pythium* sp. ไม่ให้ไหลลงสู่สารละลายธาตุอาหารได้ ซึ่งส่งผลทำให้การเกิดโรคและความรุนแรงของโรครากเน่าลดลง (ภาพที่ 4.30)



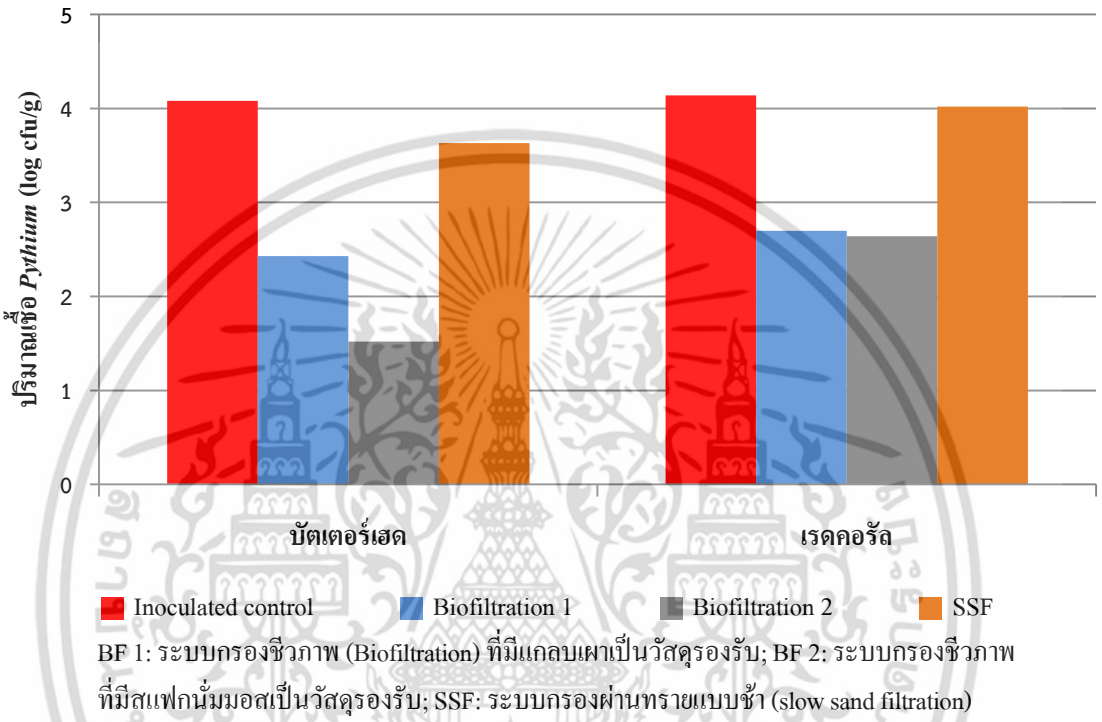
ภาพที่ 4.29 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อจำนวนประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ในวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4.30 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อจำนวนประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ในสารละลายธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตรวจนับประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ในรากของพืชทดสอบ พบว่า ในกรรมวิธีควบคุมที่ทำการปลูกเชื้อ (inoculated control) ตรวจพบมากที่สุด คือ 4.1 log cfu/g ในผักสลัดทั้งสองชนิด รองลงมาคือ SSF คือ 3.6 และ 4.0 log cfu/g และใน BF 2 (สแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ) ตรวจพบประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ในรากของผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัลเพียง 1.5 และ 2.6 log cfu/g (ภาพที่ 4.31)



BF 1: ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration) ที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ; BF 2: ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ; SSF: ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration)

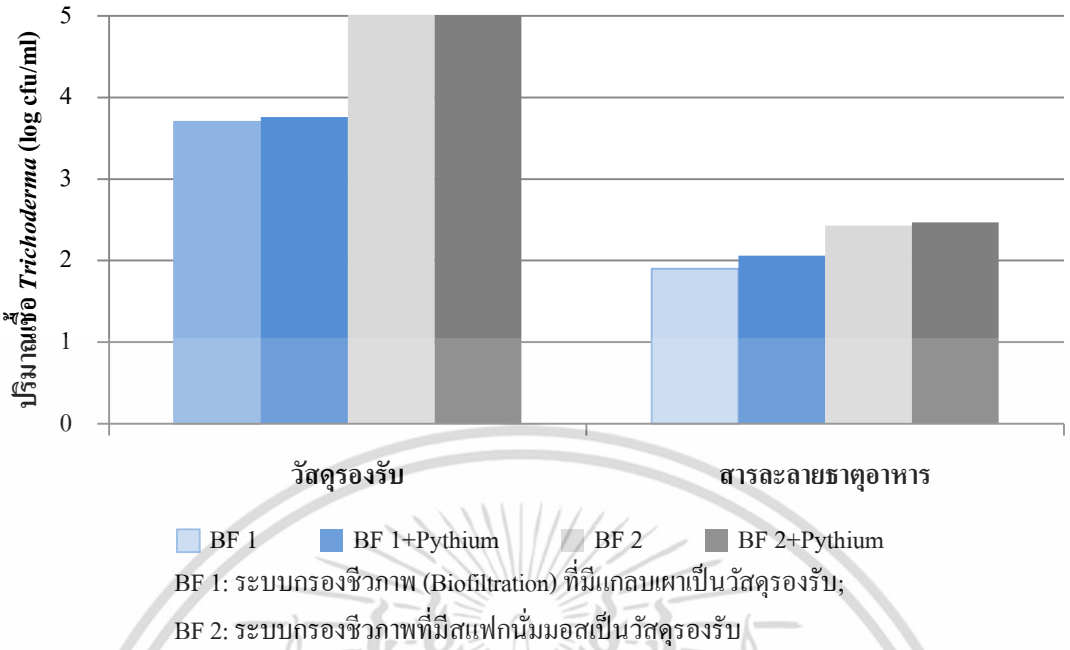
ภาพที่ 4.31 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อประชากรเชื้อ *Pythium* sp. ในรากของผักสลัดบัตเตอร์เฮดและเรดคอรัล

6.2 ประชากรเชื้อ *Trichoderma* sp.

6.2.1 ประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในวัสดุรองรับและสารละลายธาตุอาหาร

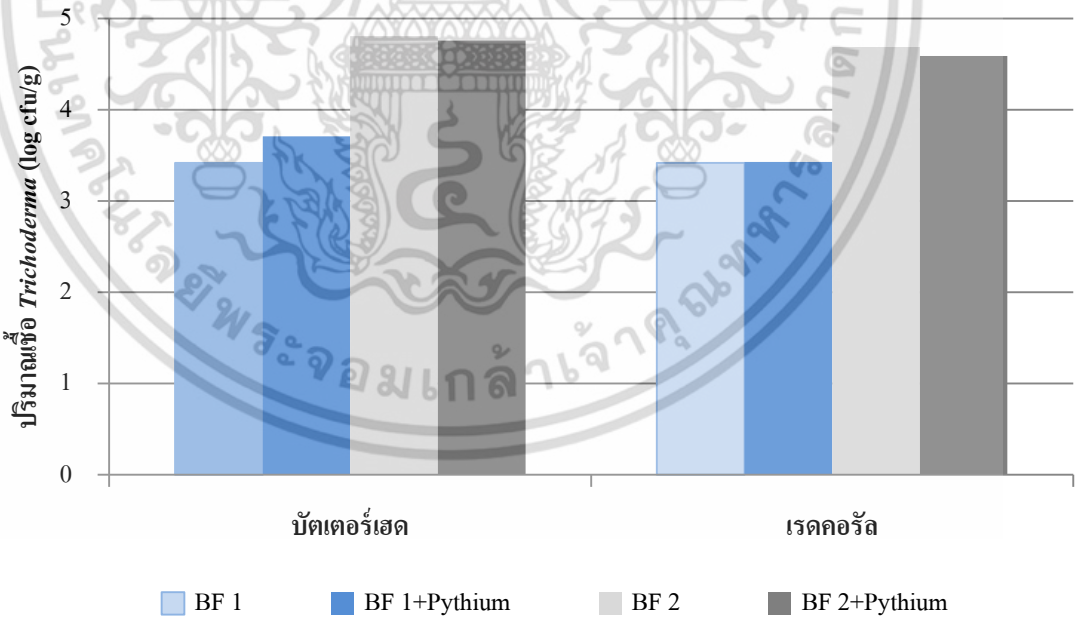
จากการตรวจนับประชากรเชื้อ *T. harzianum* ของระบบกรองชีวภาพที่ทำการปลูกเชื้อ *Pythium* sp. และไม่ได้ทำการปลูกเชื้อ พบว่า ประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในวัสดุรองรับของระบบกรองแต่ละระบบไม่แตกต่างกัน (กรรมวิธีที่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp. และไม่ได้ทำการปลูกเชื้อ) ส่วนในสารละลายธาตุอาหารมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยใน BF 1 ที่ไม่ปลูกเชื้อมีประชากรเชื้อ *T. harzianum* 1.9 log cfu/ml ส่วนกรรมวิธีที่ปลูกเชื้อพบประมาณ 2.1 log cfu/ml จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหากมีประชากรเชื้อก่อโรค (ในกรณีนี้คือ *Pythium* sp.) ก็อาจทำให้มีปริมาณเชื้อปฏิปักษ์ (ในกรณีนี้คือ *T. harzianum*) มากขึ้นตามไปด้วย (ภาพที่ 4.32)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.32 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในวัสดุรองรับและสารละลายธาตุอาหาร

6.2.2 ประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในรากพืชทดสอบ



ภาพที่ 4.33 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในรากพืชทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับประชากรเชื้อ *T. harzianum* ในรากพืชทดสอบของผักสลัดบัตเตอร์เฮดนั้น ในแต่ระบบกรองทั้งที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp. นั้น แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยตรวจพบ 3.4 และ 3.7 log cfu/g BF1 และ 4.8 และ 4.8 log cfu/g ใน BF2 เช่นเดียวกับผักสลัดเรดคอรัล ซึ่งใน BF1 ที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อพบในปริมาณเท่ากันคือ 3.4 cfu/g (ภาพที่ 4.33)

ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดบัตเตอร์เฮด ที่ได้รับการปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ในระบบ solution culture

กรรมวิธี[1/]	จำนวนใบ				ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)				น้ำหนัก (กรัม)	
	wk. 1	wk. 2	wk. 3	wk. 4	wk. 1	wk. 2	wk. 3	wk. 4	ต้น	ราก
Healthy control	12.8a[2/]	15.8a	16.7ab	19.4ab	21.0ab	25.1b	26.9b	27.8bc	49.03ab	7.91ab
Inoculated control	8.4b	12.0d	14.0c	14.2c	17.4d	20.5d	21.8c	21.0e	21.98c	4.38d
BF 1	12.9a	16.6a	17.2ab	20.6ab	21.8ab	25.5ab	27.1b	28.2b	47.87ab	7.17ab
BF1 + *Pythium* sp.	12.3a	15.7b	16.9b	19.0b	20.9bc	24.4b	26.1a	26.7c	46.73ab	7.12ab
BF 2	13.3a	17.4a	19.6a	21.9a	21.6a	26.1a	27.9ab	30.1a	62.86a	8.77a
BF2 + *Pythium* sp.	12.9a	16.6a	18.2ab	20.8ab	21.7ab	27.0ab	28.6b	28.9ab	61.64a	6.74ab
SSF	12.8a	15.2a	17.1ab	18.9ab	21.3ab	25.4b	26.1b	27.1c	41.79ab	4.66c
SSF + *Pythium* sp.	11.8ab	14.6c	16.6c	18.0b	19.3c	23.7c	25.5b	26.5d	40.29ab	6.02d

[1/] BF= biofiltration (BF1 แกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ, BF2 สแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ), SSF= slow sand filtration

[2/] ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P = 0.05) โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

จากตารางจะเห็นได้ว่า ในสภาพที่ไม่มีเชื้อก่อโรค (ไม่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp.) กรรมวิธีที่ใช้ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ (BF2) ผักสลัดบัตเตอร์เฮด มีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงที่สุด โดยมีจำนวนใบ 21.9 ใบ และมีขนาดทรงพุ่ม 30.1 เซนติเมตร ส่วนในกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อ (healthy control) มีจำนวนใบ 19.4 และมีขนาดทรงพุ่ม 27.8 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับ BF2 ที่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ที่มีจำนวนใบ 20.8 ใบ และ 28.9 เซนติเมตร ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า แม้ในสภาพที่มีเชื้อสาเหตุโรค ระบบกรองชีวภาพก็สามารถทำให้การเจริญของพืชทดสอบเท่ากับกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อได้ ส่วนในระบบกรองชีวภาพที่มีแกลบเป็นวัสดุรองรับ (BF1) แม้ในสภาพที่มีเชื้อสาเหตุนั้น ก็ยังทำให้การเจริญไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อได้เช่นเดียวกัน ขณะที่ระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (SSF) ที่ทำการปลูกเชื้อ ก็สามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้มากกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ปลูกเชื้อ (inoculated control) ได้ อย่างไรก็ตามในสภาวะที่ไม่มีเชื้อก่อโรคนั้นระบบกรองชีวภาพทั้งสองมีแนวโน้มที่จะสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้มากกว่าปกติได้ (ตารางที่ 4.15) เช่นเดียวกันกับผักสลัดเรดคอรัล ซึ่งในสภาวะที่ไม่มีเชื้อก่อโรค ระบบกรองชีวภาพทั้งสองก็สามารถทำให้การเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมที่ไม่ปลูกเชื้อได้ ขณะที่ SSF นั้นแม้จะไม่สามารถทำให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นปกติ แต่ก็ยังมีการเจริญที่ดีกว่าในกรรมวิธีควบคุมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูกเชื้อ และเป็นที่น่าสนใจว่าในสภาพที่ไม่มีเชื้อก่อโรค ระบบกรองชีวภาพทั้งสองมีแนวโน้มที่จะสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้มากกว่าปกติได้ (ตารางที่ 4.16)

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดเรดคอรัล ที่ได้รับการปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ *Pythium* sp. ในระบบ solution culture

กรรมวิธี[1/]	จำนวนใบ				ขนาดทรงพุ่ม (ซม.)				น้ำหนัก (กรัม)	
	wk. 1	wk. 2	wk. 3	wk. 4	wk. 1	wk. 2	wk. 3	wk. 4	ต้น	ราก
Healthy control	8.0a[2/]	9.4a	11.2a	11.3ab	21.8ab	24.5a	25.8ab	26.4b	35.53ab	6.37ab
Inoculated control	2.9b	4.2b	3.2b	3.7c	10.3c	11.4b	8.3c	8.3d	5.58c	2.51d
BF 1	8.0a	10.2a	11.7a	13.0a	22.0ab	25.4a	27.4ab	28.8b	44.10ab	9.49a
BF1 + *Pythium* sp.	7.6a	9.7a	11.0a	12.1ab	19.9ab	23.9a	25.7b	26.4b	38.75ab	8.99ab
BF 2	8.7a	10.6a	13.1a	15.7a	24.1a	26.3a	28.1a	29.6a	51.09a	9.57a
BF2 + *Pythium* sp.	8.6a	10.3a	12.1a	13.9a	21.4ab	24.8a	27.7a	28.6ab	52.69ab	7.63ab
SSF	8.1a	10.1a	11.6a	12.8ab	22.4ab	24.2a	25.7ab	26.6b	39.08ab	6.67b
SSF + *Pythium* sp.	7.1a	9.1a	10.7a	10.1b	20.7b	23.1a	24.8b	21.2c	32.34b	5.38c

[1/] BF= biofiltration (BF1 แกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ, BF2 สแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ), SSF= slow sand filtration

[2/] ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P = 0.05) โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาแนวทางในการคงระดับจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. เพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่า ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนของระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยในการทดลองนี้ได้ทดสอบหาชนิดและปริมาตรของวัสดุรองรับ และอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อประชากรและประสิทธิภาพในการควบคุมโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อดังกล่าว ได้ผลการทดลองดังนี้

ในการทดสอบความเป็นไปได้ของวัสดุรองรับ (วัสดุปลูก หรือวัสดุกรอง ซึ่งมีจุดมุ่งหมายนำไปใช้ในการเพิ่มจำนวนประชากรเชื้อปฏิปักษ์หรือการชะลอการลดลงของเชื้อดังกล่าวในระบบไฮโดรโพนิกส์) วัสดุรองรับ (เพอร์ไลท์และเวอร์มิคูไลท์) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการรักษาจำนวนประชากรเชื้อรา *T. harzianum* ภายหลังจากการทดลองเป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์ พบว่า มีมากกว่าในกรรมวิธีควบคุม 24 เท่า (ในวัสดุรองรับ) ส่วนในสารละลาย มีมากกว่า 10 เท่า ในขณะที่ Jaikengkaj *et al.* (2015) รายงานว่าการใช้เชื้อรา *T. harzianum* ในระบบไฮโดรโปนิกส์ที่ปราศจากวัสดุรองรับจำนวนประชากรเชื้อดังกล่าวจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุ สาเหตุสำคัญประการหนึ่งคือการมีวัสดุรองรับ เป็นการเพิ่มแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับเชื้อดังกล่าว แทนสารละลายธาตุอาหารเพียงอย่างเดียว ดังมีรายงานว่าวัสดุปลูกบางชนิด เช่น แกลบ เวอร์มิคูไลท์ และรำ สามารถเพิ่มจำนวนประชากรของเชื้อดังกล่าวได้ (Rajput *et al*., 2014; Singh *et al*., 2007) นอกจากนี้อุณหภูมิภายในวัสดุรองรับยังต่ำกว่าในสารละลายธาตุอาหารซึ่งอาจสูงถึง 37 องศาเซลเซียส จึงทำให้มีอัตราการรอดของเชื้อดังกล่าวสูงกว่า สอดคล้องกับ Reetha *et al.* (2014) ที่ได้รายงานว่า อุณหภูมิที่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียสทำให้เชื้อรา *T. harzianum* มีการเจริญลดลง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าประชากรเชื้อดังกล่าวในวัสดุรองรับมีจำนวนลดลง เนื่องจากประชากรเชื้อดังกล่าวเคลื่อนย้ายลงสู่สารละลายธาตุอาหารในกระบะ และบางส่วนก็เคลื่อนย้ายและเข้าครอบครองรากพืช (colonize) สันนิษฐานได้ว่าประชากรของเชื้อดังกล่าวถูกดึงดูดโดยสารขับราก และเข้าสู่ราก ดังการรายงานของ Badri *et al*. (2009) ที่รายงานว่า พืชหลั่งสารประกอบต่าง ๆ ผ่านทางราก ส่งผลต่อการดึงดูดจุลินทรีย์บริเวณรอบ ๆ รากพืช เมื่อเชื้อดังกล่าวเข้าครอบครองรากพืชแล้ว สามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น สอดคล้องกับ Vinale *et al.* (2009) ที่ได้รายงานว่าเชื้อรา *T. harzianum* สร้างสาร harzianic acid ซึ่งเป็นสารทุติยภูมิในการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

เนื่องจากการทดลองแรก แสดงให้เห็นว่าวัสดุรองรับสามารถรักษาระดับจำนวนประชากรของ *T. harzianum* ได้ การทดลองต่อมาได้ขยายขอบเขตของการทดลองไปยังวัสดุรองรับชนิดอื่นๆ โดยแบ่งเป็นวัสดุรองรับอินทรีย์ (organic supporting material) ได้แก่ แกลบ ขุยมะพร้าว รำ เปลือกไม้สับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวอร์มิคูไลท์ พีทมอส และสแฟกนั่มมอส วัสดุรองรับอนินทรีย์ (inorganic supporting material) ได้แก่ ทรายหยาบ ทรายละเอียด เม็ดดินเผา เพอร์ไลท์ ใยหิน ฟองน้ำ และแกลบเผา จากการทดลองได้วัสดุรองรับอินทรีย์ 2 ชนิด คือ ขุยมะพร้าวและสแฟกนั่มมอส วัสดุอนินทรีย์ 2 ชนิด คือ แกลบเผาและทรายหยาบ เนื่องจากสามารถรักษาระดับจำนวนประชากรของ *T. harzianum* ได้ดีที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากสารอาหารที่ทีภายในวัสดุรองรับ และการไหลเวียนของออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสแฟกนั่มมอส ซึ่งมีช่องว่างระหว่างอนุภาคสูงทำให้การมีไหลเวียนของออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งออกซิเจนสามารถทำให้ *T. harzianum* สามารถเจริญและสร้างสปอร์ได้มากขึ้นดังการรายงานของ Cavero *et al*. (2015) ที่ได้รายงานว่าออกซิเจนสามารถทำให้เชื้อรา *Trichoderma* sp. สามารถเพิ่มจำนวนได้มากขึ้น

หลังจากนั้นจึงได้พิจารณาคัดเลือกวัสดุรองรับเพื่อพัฒนาไปเป็นระบบกรองชีวภาพ (biofiltration) นั้น ยังมีข้อที่ควรคำนึงถึงอีกหนึ่งเรื่องคือความคงทนของวัสดุ ซึ่งวัสดุอินทรีย์นั้นยังสามารถเสื่อมสลายได้หากผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน แต่จากการทดลองเป็นระยะเวลา 3 เดือนนั้น ทำให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์ยังสามารถใช้งานต่อได้ ซึ่งโดยรวมลักษณะของโครงสร้างยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในด้านของความคงทน มีเพียงสีของวัสดุที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนวัสดุอินทรีย์นั้นเกิดจากการย่อยสลายจนสมบูรณ์แล้ว จึงไม่มีความจำเป็นต้องเป็นห่วงในด้านนี้ นอกจากนี้คุณสมบัติอีกประการที่จำเป็นต้องมีการพิจารณาอย่างยิ่ง คือคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของงานนี้ โดยจากการทดลองพบข้อสังเกตที่น่าสนใจบางประการคือ วัสดุรองรับที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคค่อนข้างน้อย (เช่น แกลบเผา ทรายละเอียด และทรายหยาบ) จะสามารถลดปริมาณเชื้อ *Pythium* sp. ได้ดี แต่ในทางกลับกัน วัสดุรองรับที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคค่อนข้างมาก (เช่น สแฟกนั่มมอสและเปลือกไม้สับ) จะสามารถลดปริมาณเชื้อดังกล่าวได้น้อย (จากการทดสอบเป็นระยะเวลา 1 เดือน) สอดคล้องกับ ทักษพร และคณะ (2558) ที่ได้รายงานว่าเชื้อรา *T. harzianum* ในวัสดุรองรับที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถคงประสิทธิภาพการเป็นปฏิปักษ์ได้ดี

ในด้านปริมาตรของวัสดุรองรับ ซึ่งได้ทำการทดลอง 2 ปริมาตร คือ 1 ลิตร และ 3 ลิตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วัสดุรองรับปริมาตร 3 ลิตร ทำให้ประชากรลดลงช้ากว่าปริมาตร 1 ลิตร อาจมีสาเหตุมาจากวัสดุรองรับ 3 ลิตร มีปริมาณสารอาหารมากกกว่า ซึ่งในสแฟกนั่มมอสนั้นประกอบไปด้วยไนโตรเจน (ทั้งในรูปของแอมโมเนียม และไนเตรต) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Brohammer, 1994) ส่วนแกลบเผาประกอบด้วย ซิลิกา อะลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีส (Patel *et al*., 2003) นอกจากนี้ปริมาตร 3 ลิตร อาจทำให้เพิ่มกิจกรรมการยับยั้งภายในวัสดุรองรับ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุรองรับ และอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารของระบบกรองชีวภาพ เพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่าของผักสลัดในระบบไฮโดรโพนิกส์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบกรองชีวภาพที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ และระบบกรองผ่านทรายแบบช้ามีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรคน้อยในอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่ต่ำ (0.5 ลิตรต่อนาที) เนื่องจากอัตราการไหลที่ต่ำ จึงทำให้อนุภาคอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอนินทรีย์รวมถึงเชื้อโรคจะถูกพื้นผิวทรายและวัสดุรองรับจับยึดไว้ (Wohanka, 1995) ส่งผลทำให้อัตราการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคในอัตราการไหลที่ต่ำมีน้อยกว่าอัตราการไหลที่สูง ขณะที่ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ กลับมีผลการทดลองไปในทิศทางตรงกันข้าม โดยอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่สูงที่สุด กลับมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรคน้อย ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากภายในวัสดุรองรับมี *T. harzianum* อยู่ในปริมาณมาก (ประมาณ log 4.9 cfu/ml) อัตราการไหลที่สูงอาจทำให้ประชากร *T. harzianum* หลุดรอดลงสู่กระบะสารละลายธาตุอาหารได้มากกว่า

หลังจากได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว จึงนำระบบกรองชีวภาพทั้งสอง หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นระบบกรองชีวภาพอินทรีย์ (สแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ) และระบบกรองชีวภาพอนินทรีย์ (แกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ) จึงนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมโรครากเน่าของผักสลัดที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. กับระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (เป็นหลักการพื้นฐานที่นำมาใช้อ้างอิง) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบกรองชีวภาพทั้งสองสามารถลดการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคลงได้มากกว่าในระบบกรองผ่านทรายแบบช้า ซึ่งเกิดจากในระบบระบบกรองชีวภาพมีเชื้อรา *T. harzianum* อยู่ ซึ่งทำให้เกิดกลไกการยับยั้งหรือกิจกรรมภายในชั้นของวัสดุรองรับโดยตรง และอาจเกิดจากกลไกอื่นร่วมด้วย คือกลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชสมบูรณ์แข็งแรง ยากต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุ (Paulitz, 2001; Gul *et al*., 2008; Vinale *et al*., 2009) นอกจากนี้เชื้อรา *T. harzianum* มีกลไกที่ช่วยกระตุ้นความต้านทานของพืชต่อโรคพืชได้ (Cai *et al*., 2013; Nawrocka and Malolepzsa, 2013) อย่างไรก็ตาม Garibaldi *et al*. (2003) ได้รายงานการใช้ SSF และ SSF ร่วมกับเชื้อปฏิปักษ์ *Trichoderma* sp. และ non-pathogenic *Fusarium* ในการลดการเกิดโรครากเน่าของเยอบีร่าที่เกิดจากเชื้อ *Phytophthora cryptogea* ผลการทดลองพบว่าการใช้ SSF ร่วมกับเชื้อปฏิปักษ์ สามารถลดการเกิดโรคได้ดีกว่า SSF เพียงอย่างเดียว

ในส่วนท้าย อีกหนึ่งสิ่งที่ควรพิจารณาอย่างยิ่งคือ ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้ในการประดิษฐ์ระบบกรองชีวภาพ (ตารางที่ 5.1) ดังนั้นหากจะใช้ระบบกรองชีวภาพที่ใช้แกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ จะมีราคาต้นทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ 1,260 บาท และหากใช้สแฟกนั่มมอสจะมีราคาอุปกรณ์ 1,680 บาท ซึ่งอาจจะรู้สึกว่าการติดตั้งระบบกรองทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น แต่หากมองในระยะยาว ระบบกรองชีวภาพนี้สามารถป้องกันโรคที่เกิดกับระบบราก ไม่เพียงแต่โรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. แต่อาจมีโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium* sp. และ *Phythopthora* sp. (Garbibaldi *et al*., 2003; Prenafeta-Boldu *et al*., 2017) นอกจากนี้ในสภาวะปกติ (ไม่มีเชื้อก่อโรค) ระบบกรองชีวภาพนี้ยังส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำระบบกรองชีวภาพ

อุปกรณ์	ราคา (บาท)*
1. ถังน้ำขนาด 200 ลิตร (หากใช้ในระบบใหญ่ เช่น ราง NFT)	400
2. วาล์วเปิด-ปิดน้ำ ชนิดลูกบอล 2 วาล์ว	70
3. ท่อ PVC	60
4. ข้อต่อตรงเกลียวนอก	40
5. ข้องอ 45 องศา 4 ตัว	80
6. ปั๊มแช่น้ำ ขนาด AP2400	230
7. กรวดขาว	160
8. หัวเชื้อราไตรโคเดอร์ม่าชนิดหัวเชื้อสด	120
8. แกลบเผา ขนาดถุงละ 10 ลิตร 5 ถุง	100
9. สแฟกนั่มมอส ขนาดถุงละ 12 ลิตร 6 ถุง	520

* ราคาอุปกรณ์ต่างๆ ขึ้นอยู่กับสถานที่ที่ซื้อ

จากงานวิจัยนี้สามารถตอบโจทย์การจัดการโรคในระบบไฮโดรโพนิกส์ ทั้งในด้านการรักษาระดับจำนวนประชากรของ *T. harzianum* ให้อยู่ในระบบได้ยาวนานขึ้น อีกทั้งยังสามารถใช้ทดแทนระบบกรองผ่านทรายแบบช้า โดยแก้ปัญหาในเรื่องข้อจำกัดของอัตราการไหลสารละลายธาตุอาหารของ SSF ที่จะมีได้เพียง 100 ถึง 300 ลิตร ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แต่ในระบบกรองชีวภาพนี้สามารถทำอัตราการไหลได้สูงกว่าประมาณ 40 เท่า และลดปัญหาในการติดตั้งอุปกรณ์ของ SSF ที่ใหญ่และใช้พื้นที่มาก อีกทั้งระบบกรองชีวภาพยังทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ภายใต้ข้อจำกัดที่น้อยกว่า อันจะนำไปสู่การจัดการโรคที่ยั่งยืนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาแนวทางในการคงระดับจำนวนประชากรของเชื้อรา *Trichoderma* sp. เพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่า ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนของระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เริ่มต้นจากการหาวัสดุเพื่อที่จะเป็นแหล่งอาศัยให้เชื้อรา *T. harzianum* แทนสารละลายธาตุอาหารเพียงอย่างเดียว จนพบว่าการมีวัสดุหรือวัสดุรองรับสามารถทำให้เชื้อราดังกล่าวอยู่ในระบบได้ยาวนานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง (14 สัปดาห์) กรรมวิธีที่มีวัสดุรองรับ (เพอร์ไลท์และเวอร์มิคูไลท์) มีประชากรเชื้อดังกล่าวมากกว่าในกรรมวิธีควบคุม 20 เท่า จากนั้นจึงได้ขยายขอบเขตการศึกษาไปยังวัสดุชนิดอื่น โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ อินทรีย์และอนินทรีย์ และพิจารณาคัดเลือกจากการรักษาประชากรเชื้อ *T. harzianum* การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุรองรับตลอดจนการยับยั้งเชื้อ *Pythium* sp. จนได้วัสดุรองรับจำนวน 4 ชนิด คือ สแฟกนั่มมอส ขุยมะพร้าว (วัสดุอินทรีย์) ทรายหยาบ และแกลบเผา (วัสดุอนินทรีย์) จึงนำไปทดสอบหาปริมาตรที่เหมาะสม โดยกำหนดให้มีปริมาตร 1 และ3 ลิตร พบว่า สแฟกนั่มมอส และแกลบเผา ที่ปริมาตร 3 ลิตร สามารถทำให้เชื้อรา *T. harzianum* อยู่ในระบบได้สูงสุด เมื่อได้ปริมาตรที่เหมาะสมแล้ว จึงนำไปทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหล 3 ระดับ คือ 0.5, 1 และ 2 ลิตร ต่อนาที ในการควบคุมโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp เปรียบเทียบกับระบบกรองผ่านทรายแบบช้า (slow sand filtration: SSF) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบกรองชีวภาพที่มีแกลบเผาเป็นวัสดุรองรับ และระบบกรองผ่านทรายแบบช้า จะมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรค ในอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารที่ต่ำ (0.5 ลิตรต่อนาที) ในขณะที่ระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับสามารถลดเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค และความรุนแรงของโรคได้ดีที่สุดที่อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วจึงนำมาเปรียบเทียบการจัดการโรคในระบบ solution culture ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพที่มีสแฟกนั่มมอสเป็นวัสดุรองรับ ที่สามารถลดการเกิดโรคและความรุนแรงของโรคลงได้ เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งหากมีการพัฒนาต่อยอด จะทำให้ลดความสูญเสียหรือป้องกันการเกิดโรคดังกล่าวตลอดจนโรคทางระบบรากโรคอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้ระบบกรองชีวภาพยังช่วยส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น อันจะนำไปสู่การจัดการโรคอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดการใช้สารเคมี ปลอดภัยต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภคต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้วัสดุรองรับ

1.1 การใช้แกลบเผา แกลบเผาเป็นวัสดุที่มีสมบัติเป็นด่าง ในการใช้ควรทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นประจำ มิฉะนั้นอาจทำให้สารละลายธาตุอาหารเป็นด่างมากจนเกินไป ทำให้พืชไม่สามารถดูดใช้ธาตุอาหารบางตัวได้ เช่น เหล็ก

1.2 การใช้สแฟกนั่มมอส สแฟกนั่มมอสมีสมบัติเป็นกรดเล็กน้อย แต่หากใช้ในปริมาณที่มากขึ้นอาจทำให้สารละลายเป็นกรดมากจนเกินไป ดังนั้นในการใช้ในปริมาณมาก จึงควรปล่อยให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านสแฟกนั่มมอสเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อน จึงทำการปรับค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายธาตุอาหาร

1.3 เมื่อหมดรอบการปลูกไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนวัสดุรองรับ เพียงเติมหัวเชื้อรา *T. harzianum* ลงไปเพิ่ม เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ได้ผ่านการคัดเลือกมาแล้ว

2. การติดตั้งและการนำไปใช้ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

2.1 ในการติดตั้งระบบกรองชีวภาพ เนื่องจากในการทดลองเป็นการกรองที่ยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นหากจะนำไปใช้ ควรทำให้เป็นระบบปิด โดยติดตั้งระบบดังกล่าวไว้ในลักษณะที่ให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านก่อนที่จะไปสู่ต้นพืช

2.2 หากเป็นระบบเล็ก (ท่อ PVC) จะมีปัญหาในด้านเศษของวัสดุรองรับหรือตะกอนขนาดเล็กไหลลงสู่ถังสารละลาย ดังนั้นจึงไม่ควรเจาะทางน้ำออกให้ลงแบบโดยตรง ควรเจาะด้านข้าง เพื่อให้มีพื้นที่ให้ตะกอนเหล่านั้นตกลงไป ส่วนในระบบใหญ่ (ถัง 100 ลิตร) ไม่พบปัญหาในส่วนนี้ เนื่องจากเจาะบริเวณด้านข้างอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2539. หลักและวิธีการผลิตผักอนามัย. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์และการเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 224 หน้า.

คเณศ ใจเก่งกาจ และพรหมมาศ คูหากาญจน์. 2559. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารของระบบกรองชีวภาพเพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่าของผักสลัดในระบบไฮโดรโพนิกส์. *ใน* การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14. 1-3 พฤศจิกายน คณะเกษตร ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ทักษพร ช้างม่วง, ปาณิศา ประสม และ พรหมมาศ คูหากาญจน์ 2558 การทดสอบความสามารถในการเป็นปฏิปักษ์ของรา *Trichoderma*จากวัสดุรองรับ ต่อเชื้อ *Pythium* sp. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า: 786-794.

ธิติ ทองคำงาม, พรหมมาศ คูหากาญจน์ และ ถนิมนันต์ เจนอักษร. 2555. รายงานครั้งแรกของโรคเหี่ยวในผักสลัดที่ปลูกในระบบ NFT ที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium oxysporum* f.sp. *lactucae* และการทดสอบความสามารถในการทำให้เกิดโรคกับผักสลัด 4 สายพันธุ์. *ใน* การประชุมวิชาการเกษตรนเรศวรครั้งที่ 10, คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, หน้า 72-81.

ปิยะชาติ แสงศาสตร์, อิทธิสุนทร นันทกิจ และพรหมมาศ คูหากาญจน์. 2555. การใช้ *Pseudomonas fluorescens* ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp. ของผักสลัดที่ปลูกในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. การประชุมวิชาการอารักขาพืชครั้งที่ 10. 22-24 กุมภาพันธ์ 2555 จังหวัดเชียงใหม่.

พรหมมาศ คูหากาญจน์ และ อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548ก. ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี ในการควบคุมโรครากเน่าของผักสลัดที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* ในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 36 (5-6): 1191-1194.

พรหมมาศ คูหากาญจน์ และ อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548ข. ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี และจุลินทรีย์บริเวณเขตรากพืชที่แยกได้จากผักสลัดที่ปลูกในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Pythium myriotylum*. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 36 (5-6): 1195-1198.

พรหมมาศ คูหากาญจน์. 2539. เรื่องน่ารู้บางประการเกี่ยวกับเชื้อ *Pythium* sp. (ตอนที่ 1). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 14(3): 41-45.

เพ็ญภัค เสาวภาคย์. 2552. ประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่เจริญครอบครองรากในการควบคุมโรครากเน่าของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 122 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพรทอง ละมุล. 2549. ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ในการควบคุมโรครากเน่าของผักกาดหอมที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 110 หน้า.

ศักดา ศรีนิเวศน์. 2546. ผลกระทบของสารเคมีที่มีต่อสุขภาพ. ส่วนบริหารศัตรูพืช.สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.กรุงเทพฯ. 39 หน้า.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2539. การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 193หน้า.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2545. การปลูกพืชในวัสดุปลูก (substrate culture). *ใน* เอกสารประกอบการอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินรุ่นที่ 4. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

Badri, D.V., Weir, T.L., Van der Lelie, D. and Vivanco, J.M. 2009. Rhizosphere chemical dialogues: plant-microbe interaction. Biotechnology 20: 642-650.

Bahgat, M., Dewedar, A. and Zayed, A. 1999. Sand-filters used for wastewater treatment buildup and distribution of microorganisms. Water Research 8: 1949-1955.

Baker, K.F. and Snyder, W.C. 1965. Ecology of soil-borne plant pathogens, Prelude to Biological Control, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, 571 pp.

Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture technique. European Vegetable Research and Development Center. Sint-Katelijine-Waver, Belgium. 71 pp.

Bergstand, K.J., Kalil, S., Hultberg, M. and Alsaninus, B.W. 2011. Cross response of slow filters to dual pathogen inoculation in closed hydroponics growing systems. The Open Horticulture Journal 4: 1-9.

Beutal, M.W. and Larson, L. 2015. Pathogen removal from urban pond outflow using rock biofilters. Ecological Engineering 78: 72–78.

Blancard, D., Lot H. and Maisoneuve, B. 2006. A colour atlas of diseases of lettuce and related salad crops. Manson Publishing. U.K. 375 pp.

Broghammer, E.L. 1994. Sphagnum moss of four bog habitats. Practicum in Aquatic Biology, South bend, Indiana, US. 22 pp.

Cai, F., Yu, G., Wang, P., Wei, Z., Fu, L., Shen, Q. and Chen, W. 2013. Harzianolide, a novel plant growth regulator and systemic resistance elicitor form *Trichoderma harzianum*. Plant Physiology and Biochemistry 73: 106-113.

Cavero, P. A. S., Hanada, R. E., Gasparotto, L., Neto, R. A.C. and Souza, J. T. D. 2015. Biological control of banana black Sigatoka disease with *Trichoderma*. Ciência Rural 45(6): 951-957.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chakrabarty, R., Acharya, G.C. and Sarma, T.C. 2014. Effect of substrate for multiplication of bio-agent, *Trichoderma viride*. African Journal Research 9(25): 1938-1940.

Dhingra, O.D. and Sinclair, J.B. 1985. Basic plant pathology methods. CRC Press Inc. Florida USA. 355 pp.

Elad, Y., Chet, I. and Henis, Y. 1981. Selective media for improving quantitative isolation of *Trichoderma* spp. from soil. Phytoparasitica 9(1): 59-67.

Funck-Jensen, D. and Hockenhull, J. 1983. The influence of some factors on the severity of Pythium root rot of lettuce in soilless (hydroponics) growing systems. Acta Horticulturae 133: 129-136.

Garibaldi, A., Minuto, A., Grasso, V. and Gullino, M.L. 2003. Application of selected antagonistic strains against *Phytophthora cryptogea* on gerbera in closed soilless systems with disinfection by slow sand filtration. Crop Protection 22: 1053-1061.

Goto, E., Both, A.J., Albright, L.D., Langhans, R.W. and Leed, A.R. 1996. Effect or dissolved oxygen concentration on lettuce growth in floating hydroponics. Acta Horticulturae 440: 205-210.

Gul, A., Kidogin, F., Tuzel, Y. and Tuzel, H.I. 2008. Effect of *Bacillus amyloliquefaciens* on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growing in perlite. Spainish Journal of Agricultural Research 6(3): 422-429.

Jaikengkaj, K., Koohakan, P. and Jaenaksorn, T. 2015. Comparisonof *Trichoderma* population in the re-circulating nutrient solution with and without supporting material. page 177-180. 2nd International symposium on Agricultural Technology. 1-4 July 2015. A-one the royal cruise hotel, Chonburi.

Japan External Trade Organization (JETRO). 2011. Guidebook for Export to Japan (Food Articles). Japan.

Kanjanamaneesathian, M., Wiwattanapatapee, R., Rothiam, W., Pengnoo, A., Wongpetkhiew, W. and Tanmala, V. 20113. Application of concentration formulation of *Bacillus velezensis* to control root rot of hydroponically-grown vegetable. New Zealand Plant Protection 66: 229-234.

Koohakan, P., Ikeda, H., Jaenaksorn, T., Tojo, M., Kusakari S.I., Okada K. and Sato S. 2004. Evaluation of the indigenous microorganisms in soilless culture: occurrence and quantitative characteristics in the different growing systems. Scientia Horticulturae 101: 179-188.

Lee, E. and Oki, L. R. 2013. Slow sand filters effectively reduce *Phytophthora* after a pathogen switch form *Fusarium* and a simulated pump failure. Water Research 47: 5121-5129.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Matinez, F., Castillo, S., Carmona, E. and Aviles, M. 2010. Dissemination of *Phytophthora cactorum*, cause of crown rot in strawberry, in open and closed soilless growing system and the potential for control using slow sand filtration. Scientia Horticulture 124: 756-760.

Minuto, A., Gaggero, L., Gullino, M.L. and Garibaldi, A. 2008. Influence of pH, nutrient solution disinfection and antagonists application in closed soilless system on severity of Fusarium wilt of gerbera. Phytoparasitica 36(3): 294-303.

Nawrocka J. and Malolepsza U. 2013. Diversity in plant systemic resistance induced by *Trichoderma*. Biological Control 67: 149-156.

Oszako, T., Kubiak, K.A., Siebyla, M. and Nowakowska, J. 2013. Slow sand filters as a part of integrated protection of seedlings against disease in forest nurseries. Forest Research Papers 74 (1): 49–56.

Paulitz, T.C., 200,1. Biological control in greenhouse systems. Annual Review Phytopathology 39: 103-133.

Postma, J., Willemsen-de klien, M.J.I.M. and Van-Elsas, J.D. 2000. Effect of the indigenous microflora on the development of root rot and crown rot caused by *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown on rock wool. Phytopathology 90: 125-133.

Prenafeta-Boldu, F.X., Trillas, I., Vinas, M., Guivernan, M., Caceres, R. and Marfa, O. 2017. Effectiveness of a full-scale horizontal slow sand filter for controlling phytopathogens in recirculating hydroponics: From microbial isolation to full microbiome assessment. Science of the Total Environment 599-600: 780-788.

Rajput, A.Q., Khanzada, M.A. and Shahzad, S. 2014. Effect of different organic substrates and carbon and nitrogen sources on growth and shelf life of *Trichoderma harzianum*. Journal of Science Technology 16: 731-745.

Reetha, S., Bhuvaneswari, G., Selvakumar, G., Thamizhiniyan, P. and Pathmavathi, M. 2014. Effect of temperature and pH on growth of fungi *Trichoderma harzianum*. Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences 4(4): 3287-3292.

Seeger, E.M., Braeckevelt, M.m Reiche, N., Muller, J.A. and Kastner, M. 2016. Removal of pathogen indicators from secondary effluent using slow sand filtration: Optimization approaches. Ecological Engineering 95: 635–644.

Singh, A., Srivastava, S. and Singh, S.B. 2007. Effect of substrate on growth and shelf life of *Trichoderma harzianum* and it use biocontrol of disease. Bioresource Technology 98: 470-473.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Smolingka, U., Kowalska, B., Kowalczyk, W. and Szczech, M. 2014. The use of agro-industrial wastes as carriers of *Trichoderma* fungi in the parsley cultivation. Scientia Horticulture 179. 1-8.

Tewari, L. and Bhanu, C. 2003. Screening of various substrate for sporulation and mass multiplication of biocontrol agent *Trichoderma harzianum* through solid state fermentation. Indian Phytopathology 56(4): 476-478.

Vinale, F., Flematti, G., Sivasithamparum, K., Lorito, M., Marra, R., Skelton, B.W. and Ghisalberti, E.L. 2009. Harzianic acid, an antifungal and plant growth promoting metabolite from *Trichoderma harzianum*. Journal of Natural Products 72: 2032-2035.

Virginie, M., Sylvain, C., Patrice, C., Herve, C., Claire, G. and Thierry, L. 2015. Structure and activity of spontaneous fungal communities in organic substrates used for soilless crops. Scientia Horticulturae 192: 148–15.

Wohanka, W. 2002. Disinfection of recirculating nutrient solution by slow sand filtration. Acta Horticulturae 382: 246-255.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รายละเอียดสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลอง

สูตรสารละลายธาตุอาหาร

สารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นสารละลายธาตุอาหารตามสูตร Modified Benoit (1992) ซึ่งมีส่วนผสมดังต่อไปนี้

สารละลายเข้มข้น A (ต่อน้ำ 20 ลิตร): ความเข้มข้น 100 เท่า

Potassium nitrate (14% N, 46% K_2O)	0.592 kg.
Calcium nitrate (15.5% N, 20% Ca)	1.340 kg.
Fe-chelate (6% Fe)	0.100 kg

สารละลายเข้มข้น B (ต่อน้ำ 20 ลิตร): ความเข้มข้น 100 เท่า

Potassium nitrate (14% N, 46% K_2O)	0.592 kg.
Magnesium sulphate (16.7% MgO, 13% S)	0.320 kg.
Mono- potassium phosphate (35% K_2O, 53% P_2O_5)	0.354 kg.
Microelement (nick spray®)	0.030 Kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

คเณศ ใจเก่งกาจ, ชิติพันธ์ ทองเจริญสุขชัย และพรหมมาศ คูหากาญจน์. 2558. การศึกษาผลของวัสดุรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร *Trichoderma harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน. *ใน* การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติครั้งที่ 14. 18-20 พฤศจิกายน. โรงแรมสวนนงนุชการ์เด้น, ชลบุรี.

คเณศ ใจเก่งกาจ และพรหมมาศ คูหากาญจน์. 2559. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุรองรับและอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารของระบบกรองชีวภาพเพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่าของผักสลัดในระบบไฮโดรโพนิกส์. *ใน* การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14. 1-3 พฤศจิกายน คณะเกษตร ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

Jaikengkaj, K., Koohakan, P. and Jaenaksorn, T. 2015. Comparisonof *Trichoderma* population in the re-circulating nutrient solution with and without supporting material. page 177-180. 2nd International symposium on Agricultural Technology. 1-4 July 2015. A-one the royal cruise hotel, Chonburi.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายคเณศ ใจเก่งกาจ
วัน เดือน ปีเกิด	30 ตุลาคม 2534
ที่อยู่	เลขที่ 57 หมู่ที่ 7 ต.หัวโพธิ์ อ. สองพี่น้อง จ. สุพรรณบุรี 72110
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการศัตรูพืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	พ.ศ. 2560 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
	2. โรครากเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium* sp.

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2557	ผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษากรรมวิธีในการลดการเกิดโรคกุ้งแห้งของพริกที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum* sp.
พ.ศ.2558	ผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาผลของวัสดุรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร *Trichoderma harzianum* ในสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียน
พ.ศ.2558	ผลงานวิจัยเรื่อง Comparison of *Trichoderma* population in the re-circulating nutrient solution with and without supporting material
พ.ศ.2559	ผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุรองรับ และอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารของระบบกรองชีวภาพเพื่อควบคุมเชื้อ *Pythium* sp. สาเหตุโรครากเน่าของผักสลัดในระบบไฮโดรโพนิกส์
พ.ศ.2559	ผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาผลของสารละลายธาตุอาหารที่ผ่านการใช้งานแล้วต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักบางชนิด
พ.ศ.2559	รางวัลดีเด่นการนำเสนอผลงานภาคบรรยาย สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร ในการประชุมวิชาการ งานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14
พ.ศ.2560	เกียรติบัตรจาก คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในฐานะสร้างชื่อเสียงให้กับคณะเทคโนโลยีการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้