โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ผลของคลื่นไมโครเวฟในการทำลายราในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา

Effect of microwave irradiation on fungal eradication in microbiology laboratory

ชื่อนิสิต นายณัฐภัทร สารบุญ **เลขประจำตัว** 5832317423

ภาควิชา จุลชีววิทยา

ปีการศึกษา 2561

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงงานทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงงานทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด
The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

หัวข้อโครงงาน	ผลของคลื่นไมโครเวฟในการทำลายราในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา
โดย	นายณัฐภัทร สารบุญ รหัสนิสิต 5832317423
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์
ปีการศึกษา	2561

ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต ในรายวิชา 2312499 โครงงานวิทยาศาสตร์

..... หัวหน้าภาควิชาจุลชีววิทยา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์)

คณะกรรมการสอบโครงงาน

..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. อัญชริดา สวารชร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธัญนุช เกรียงไกรพิพัฒน์)

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

เรื่อง

ผลของคลื่นไมโครเวฟในการทำลายราในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ผศ. ดร.กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์

นิสิตในโครงการ

นายณัฐภัทร สารบุญ

รหัสประจำตัวนิสิต 5832317423

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเพิ่มประสบการณ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาจุลชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ชื่อโครงการ	ผลของคลื่นไมโครเวฟในการทำลายราในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา
นิสิตผู้นำเสนอโครงการ	นายณัฐภัทร สารบุญ 5832317423
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ. ดร.กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์
ภาควิชา	จุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาการใช้ไมโครเวฟมาใช้ในการทำให้ปลอดเชื้อของราสายใยในห้องปฏิบัติการ ราสายใยในการศึกษา 4 ชนิดได้แก่ *Aspergillus niger*, *Rhizopus digosporus*, *Mucor racemosus* และ *Penicillium* sp. เพาะเลี้ยงอยู่ในอาหารและภาชนะที่แตกต่างกันคือ จานอาหาร PDA วุ้นเอียง PDA และใน PDB จากการทดลองเมื่อฉายรังสีไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ พบว่าที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้อาหารเดือดเพียงพอต่อการฆ่าราทั้งหมดทั้ง 4 ชนิดได้ และเมื่อทดลองประยุกต์ใช้ในการกำจัดราในธรรมชาติที่เจริญบนจานอาหาร PDA โดยผลการทดสอบพบว่าที่ระยะเวลาเดือดของอาหารนั้นจะสามารถยับยั้งการเจริญของราในธรรมชาติได้ โดยงานวิจัยนี้มีความต้องการที่จะนำไมโครเวฟไปใช้ในการทำให้ปลอดเชื้อแทนวิธีการทั่วไปที่ทำในห้องปฏิบัติการ

Project title Effect of microwave irradiation on fungal eradication in microbiology laboratory

Investigator Mr. Nattapat Saraboon

Advisor Asst. Prof. Kobchai Pattaragulwanit, Dr.rer.nat.

Department of Microbiology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Abstract

The objective of this research in to use household microwave to sterilize selected filamentous fungi used in teaching laboratories. Four filamentous fungi was used including *Aspergillus niger, Rhizopus digosporus, Mucor racemosus* and *Penicillium* sp. All fungi have been cultured on PDA plate, PDA slant as well as PDB. Microwave irradiation was done at 800 watt. The result revealed that all fungi could be killed by microwave 800 watt immediately after boiling the culture media. Application of microwave to kill fungi isolated from air and soil grown on PDA plate showed that all fungi were sterilized by using the same condition as the laboratory experiment. This can be concluded that microwave irradiation could be on alternative method for sterilization of filamentous fungi grown on plate, slant or in culture broth.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย ภัทรกุลวณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ซึ่งได้ให้ความรู้ ความเมตตา คำแนะนำในการวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขต้นฉบับของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์จนเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความรู้ อำนวยความสะดวกต่างๆเป็นอย่างดี และขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ งบประมาณปี 2561 ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ของภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณห้องปฏิบัติการ 1804/14 1804/16และ 1904/14 ที่แบ่งปันอุปกรณ์ และช่วยเหลือกันและกันเสมอมา

ขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆ ในภาควิชาจุลชีววิทยาที่มีส่วนในการช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ และเป็นแรงผลักดันสำคัญในชีวิตให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
สารบัญรูป ..... ฉ
บทที่ 1 1
บทที่ 2 11
บทที่ 3 13
บทที่ 4 17
บทที่ 5 26
ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง..... 29
เอกสารอ้างอิง 30
ภาคผนวก 34
ภาคผนวก ก 35
ภาคผนวก ข 38
ภาคผนวก ค 39

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. จำนวนสูงสุดของภาชนะที่ใช้ในการทดลอง.....17
ตารางที่ 2. ช่วงเวลาในการเดือดของอาหารแข็งและอาหารเหลวในแต่ละภาชนะที่มีจำนวนแตกต่างกัน.....20
ตารางที่ 3. การเจริญของราในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA หลังจากฉายรังสีไมโครเวฟที่เวลาต่างๆ.....21

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. Electromagnetic spectrum 2
รูปที่ 2. ถุงพลาสติกที่มีจานแก้วบรรจุอยู่ 9 ใบ ต่อ 1 ถุง ทั้งหมด 3 ถุงในเครื่องไมโครเวฟ.....17
รูปที่ 3. บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรที่มีหลอดทดลองบรรจุอยู่ 20 หลอด ทั้งหมด 4 บีกเกอร์.....18
ที่ถูกบรรจุอยู่ในเครื่องไมโครเวฟ
รูปที่ 4. ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจำนวน 5.....18
ขวดที่บรรจุอยู่ในเครื่องไมโครเวฟ
รูปที่ 5. จุดบริเวณ Hot spot ของไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลอง.....19
รูปที่ 6. ลักษณะของราจากอากาศที่พบบริเวณลานจักรพงษ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....22
รูปที่ 7. ลักษณะของราจากดินที่พบบริเวณลานจักรพงษ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....22
รูปที่ 8. ลักษณะของราจากอากาศที่พบบริเวณลานพระบรมรูป 2 รัชกาล.....23
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 9. ลักษณะของราจากดินที่พบบริเวณลานพระบรมรูป 2 รัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....23
รูปที่ 10. ลักษณะของราจากอากาศที่พบบริเวณตึกมหามกุฎ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....24
รูปที่ 11. ลักษณะของราจากดินที่พบบริเวณตึกมหามกุฎ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....24
รูปที่ 12. ลักษณะของแบคทีเรียนรอดชีวิตจากการฉายรังสีไมโครเวฟ.....25
รูปที่ 13. ลักษณะของแบคทีเรียและ endospore ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายที่ 1000 เท่า.....25
รูปที่ 14. ลักษณะของจานอาหารเลี้ยงเชื้อเมื่อผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ.....35
รูปที่ 15. ลักษณะของฟลาสก์ที่บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ 100 มิลลิลิตรเมื่อผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ.....35
รูปที่ 16. ลักษณะของ Slant ที่มีอาหารวุ้นแข็ง 5 มิลลิลิตรเมื่อผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ.....36
รูปที่ 17. การตรวจสอบการเจริญของราจากจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ.....36
รูปที่ 18. การตรวจสอบการเจริญของราจาก Slant ที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ.....37
รูปที่ 19. การตรวจสอบการเจริญของราจากฟลาสก์ที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ.....37
รูปที่ 20. ลักษณะการหั่นของมันฝรั่ง.....39
รูปที่ 21. การชั่งน้ำหนักมันฝรั่ง.....39
รูปที่ 22. การต้มมันฝรั่ง.....40
รูปที่ 23. การเดือดของน้ำมันฝรั่ง.....40

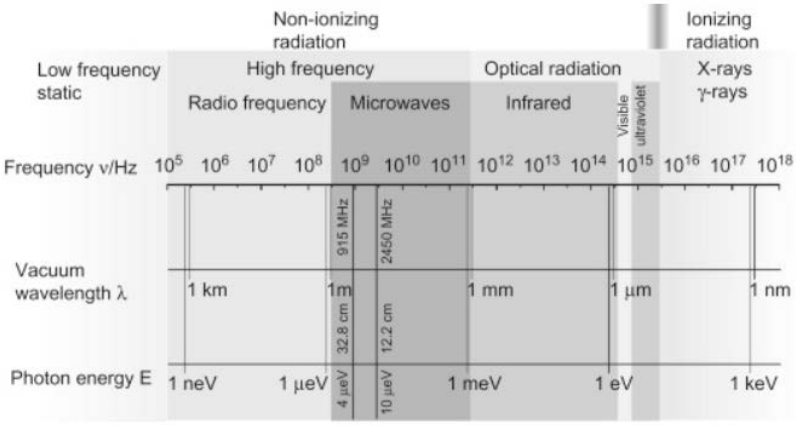
บทที่ 1

บทนำ

1. ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดความร้อน ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ช่วงคริสต์ศักราช 1946 โดย Dr. Percy Spencer (Cooper, 2009) การเกิดความร้อนในไมโครเวฟจะอาศัยคลื่นชนิดหนึ่งที่สร้างขึ้นในตัวเครื่องนั่นคือ คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งในสมัยก่อนไมโครเวฟยังไม่ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งต่างๆ ซึ่งในสมัยนั้นผู้คนส่วนใหญ่มักใช้ไมโครเวฟในการปรุงอาหารรวมถึงใช้อุ่นอาหาร เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถทำให้เกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็วและความร้อนที่เกิดขึ้นสูงมากพอที่จะใช้ในการปรุงอาหารปัจจุบันไมโครเวฟถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านหลายๆด้าน อาทิเช่น การใช้ในการสังเคราะห์ทางด้านสารเคมีของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์, การใช้ทางด้านอุตสาหกรรมทางอาหาร, ทางด้านชีววิทยาและการบำบัดสิ่งแวดล้อม เนื่องจากความร้อนที่ได้จากไมโครเวฟสามารถให้ความร้อนได้ตรงจุด โดยมีอัตราให้ความร้อนสูงใช้ระยะเวลาสั้น สามารถกำหนดปริมาณความร้อนได้ มีการสูญเสียความร้อนต่ำ ประหยัดพลังงาน เนื่องจากความร้อนไม่ได้ออกสู่นอกระบบ การเปิดปิดใช้เวลาที่รวดเร็วและมีการควบคุมกระบวนการได้อย่างแม่นยำ (Mello และคณะ, 2014) ไมโครเวฟสามารถปลดปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้โดยการให้พลังงานกับสิ่งที่เรียกว่า Magnetron ที่อยู่ในไมโครเวฟโดยความถี่คลื่นไมโครเวฟที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ให้แก่ Magnetron ในเครื่องไมโครเวฟ (Birla and Pitchai, 2017)

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่อยู่ในพวกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) อยู่ในจำพวก non Ionization มีความถี่อยู่ที่ 300 ถึง 300,000 MHz มีความยาวคลื่นอยู่ที่ 1 m ถึง 1 mm อยู่ในช่วง ระหว่างคลื่นวิทยุและ อินฟราเรด ดังแสดงในรูปที่1. (Regier และคณะ, 2017) คลื่นไมโครเวฟมีความสามารถในการหมุนโมเลกุลของสารที่รับคลื่นไมโครเวฟ โมเลกุลของสารจะมีปฏิสัมพันธ์กับคลื่นไมโครเวฟที่แตกต่างกัน โดยมีคุณสมบัติ 3 อย่างได้แก่ Reflective, Transparent, Absorptive โดย Reflective เป็นความสามารถในการสะท้อนคลื่นไมโครเวฟ ได้แก่สารจำพวกโลหะ Transparent เป็นความสามารถในการที่ให้คลื่นไมโครเวฟผ่านไปได้ ได้แก่พวกเครื่องแก้ว Absorptive เป็นความสามารถในการดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ ได้แก่ น้ำหรือสารมีขั้ว (Mello และคณะ, 2014)



รูปที่ 1. Electromagnetic spectrum (Regier และ คณะ, 2017)

เมื่อวัตถุได้รับคลื่นไมโครเวฟจะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นในวัตถุหรือสารที่ดูดซับคลื่นไมโครเวฟไว้ หลักการให้ความร้อนของคลื่นไมโครเวฟจะแตกต่างกับการให้ความร้อนแบบปกติ การให้ความร้อนแบบปกติจะเป็นการนำพาความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนเข้าไปในระบบทำให้สารมีอุณหภูมิสูงขึ้น เรียกว่าการให้ความร้อนแบบปกติ (Conventional heating) แต่การให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟจะทำให้สารหรือวัตถุนั้นมีการเพิ่มอุณหภูมิด้วยตัวเองสามารถเกิดความร้อนได้จากภายใน เรียกการให้ความร้อนโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าว่า Dielectric Heating (Mello และคณะ 2014)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเพิ่มอุณหภูมิของวัตถุหรือสารจากคลื่นไมโครเวฟคือ Dielectric properties, Ionic conduction, Dipole rotation สมบัติทาง Dielectric properties มีส่วนเกี่ยวข้องกับการรับคลื่นไมโครเวฟโดยเกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวคลื่น โดยสารที่มีความสามารถในการสูญเสีย Dielectric ได้ดีจะสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มาก (Majdzadeh and Holl, 2017) Ionic Conduction การเคลื่อนที่ของไอออนมีส่วนเกี่ยวข้องต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเช่นกันโดยเมื่อมีการเคลื่อนที่ของไอออนที่มีประจุ +,- จะเพิ่มสนามไฟฟ้ามากขึ้นรวมถึงการเคลื่อนที่ของไอออนไปมาทำให้เกิดการชนกันกับโมเลกุลหรือไอออนข้างเคียงส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นได้เช่นกัน (Anwar และคณะ, 2015) Dipole Rotation คลื่นไมโครเวฟเป็น Electromagnetic wave หรือมีสนามไฟฟ้าอยู่ในคลื่นโมเลกุลประเภทมีขั้วจะเกิดการปรับเปลี่ยนตัวเองให้เป็นไปตามสนามไฟฟ้าที่ไหลผ่านก่อให้เกิดเป็นสภาวะไม่เป็นระเบียบ จากนั้นโมเลกุลจะกลับสู่สภาวะเดิมทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุลและมีการคายพลังงานออกมาโดยพลังงานที่คายออกมาจะทำให้วัตถุหรือสารมีอุณหภูมิสูงขึ้น (Mello และคณะ, 2014, Anwar และคณะ, 2015)

โดยในปัจจุบันไมโครเวฟที่ใช้ตามบ้านเรือนจะมีความถี่ของคลื่น อยู่ที่ 2.45 GHz หรือ 2450 MHz โดยความถี่นี้จะทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลอยู่ที่ 2.5 พันล้านครั้ง ต่อ วินาที ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนเกิดขึ้นได้ตามหลักการของไมโครเวฟข้างต้นนั่นเอง ด้วยเหตุผลนี้ทำให้มีการคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานการบุคคลทั่วไปเนื่องจากว่า คลื่นไมโครเวฟนั้น สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับ เนื้อเยื่อของมนุษย์ได้ด้วยเช่นกัน จึง

จำเป็นต้องมีการออกแบบตัวเครื่องและกำหนดความถี่ที่จะใช้ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของรังสีออกนอกเครื่อง (Baron, 2009) ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่าเครื่องไมโครเวฟจะไม่เป็นอันตรายต่อผู้ทดลองได้อย่างแน่นอน

2. การนำไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

ด้วยหลักการเกิดความร้อนของไมโครเวฟทำให้มีการนำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ประโยชน์มากมายในด้านหลายๆด้าน ทั้งด้านอุตสาหกรรมอาหาร, การเกษตร, สิ่งแวดล้อม, และอื่นๆอีกมากมาย ตัวอย่างงานที่นำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้เช่น

ด้านอาหาร

การนำไมโครเวฟไปใช้ในกระบวนการ Pasteurization กับ Sterilization ในการทำ Pasteurization โดยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพมากพอที่จะช่วยลดจุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหารไมโครเวฟสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้กับอาหารเนื่องจากอาหารมีโมเลกุลที่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟและอุณหภูมินั้นสูงพอที่อยู่ในขั้น Pasteurization ประมาณ 72 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิระดับนี้ลดจุลินทรีย์จำพวกก่อโรคได้การทำ Sterilization โดยไมโครเวฟสามารถใช้เพื่อฆ่าเชื้อเชิงพาณิชย์ได้ โดยใช้ไมโครเวฟที่มีกำลังและความถี่ที่สูงมากๆ การฆ่าเชื้อเชิงพาณิชย์สามารถช่วยทำลายพวกจุลินทรีย์ต่างๆได้ในจำพวกจุลินทรีย์ที่ไม่ทนร้อน ข้อดีของการทำ Pasteurization และ Sterilization โดยใช้ไมโครเวฟคือสามารถทำในอาหารที่ถูกปิดผนึกหรือถูก Package ไว้แล้วโดยไม่ทำให้อาหารมีการเปลี่ยนแปลง (Bozkurt and Davidson, 2017, Stanley and Petersen, 2017, Regier, 2017)

การศึกษาการพัฒนาทางด้านการใช้ไมโครเวฟในการทำ Sterilization ในอาหารที่ใช้ข้าวที่ โดยใช้หลักการที่ว่าถ้าค่า Dielectric properties เปลี่ยนไปจะส่งผลต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟและส่งผลต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นในข้าว จึงใช้เกลือผสมในข้าวเพื่อเปลี่ยนค่า Dielectric properties ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงถึงว่าค่า Dielectric properties นั้นส่งผลต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟในการศึกษาค่า Dielectric properties นั้นจะมีประโยชน์ในด้านของการทำให้ปราศจากเชื้อด้วยไมโครเวฟ โดยทำให้สามารถออกแบบการให้ความร้อนของไมโครเวฟได้ (Thammanoon และคณะ, 2018)

การนำไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการทำ Pasteurization ในน้ำนมจากคน ซึ่งใช้ระยะเวลาน้อยกว่า 16 นาทีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระบวนการ Pasteurization แบบเดิมที่ใช้เวลานานกว่าการใช้ไมโครเวฟสามารถ ในการยับยั้งเชื้อก่อโรค โดยจะใช้ความร้อนที่อยู่ในช่วง 62 – 72 องศาเซลเซียส ธนาคารน้ำนมคนใช้การฆ่าเชื้อตามปกติที่ 62 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที ด้วยระยะเวลานี้ จะส่งผลให้คุณค่าทางสารอาหารในน้ำนมลดลง การใช้ไมโครเวฟนั้นจะใช้อุณหภูมิที่ 62.5 และ 66 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5 และ 3 นาที ตามลำดับซึ่งจะใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า การสูญเสียคุณค่าในน้ำนมก็จะน้อยกว่า (Edyta และคณะ, 2019)

ด้านการเกษตร

การใช้ไมโครเวฟในการช่วยเก็บรักษาและกำจัดราบนถั่วเฮเซลนัทที่มีการปนเปื้อนราที่ผลิต aflatoxin โดยการทดลองนี้ใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 1250 วัตต์ ระยะเวลา 120 วินาที สามารถส่งผลให้ลดจำนวนของรา *Aspergillus parasiticus* ลงได้นอกจากนี้ตัวไมโครเวฟยังไม่ได้ส่งผลใดๆต่อตัวถั่วเฮเซลนัทอีกด้วย (Basaran and Akhan, 2010)

ตัวอย่างงานวิจัยที่นำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ในการทำลายราเช่น ผลกระทบของไมโครเวฟต่อราที่เป็น Pathogen ในเมล็ดข้าวสาลีจำพวกราในกลุ่ม *Fusarium* spp. และ *Microdochium nivale* โดย นำเมล็ดข้าวสาลีไปฉายรังสีไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2.45 GHz ใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ โดยศึกษา Agar plate tests และ DNA analysis ของเมล็ดที่ถูกฉายรังสี กับไมโครเวฟ จากผลการทดลองพบว่าการที่เมล็ดฉายรังสีกับ ไมโครเวฟระยะเวลา 45 วินาทีสามารถลดจำนวนราลงได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของ DNA analysis พบว่าการ เปลี่ยนแปลงของ DNA ในราไม่ได้ส่งผลต่อการตายของรา โดยการตายของรานั้นจะมาจากการโดนความร้อน มากที่สุด (Knox และคณะ, 2013)

การใช้ไมโครเวฟในการย่อยสารชีวโมเลกุลจำพวก lignocellulose ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ ซังข้าวโพด ชานอ้อย เปลือกอ้อย กากกาแฟ และ ใบไผ่ เพื่อให้เปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงทางชีวภาพ โดยผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว และ แก๊ส อยู่ในช่วง 18-20, 40-48 และ 30-40 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า EROI (Energy return on investment) อยู่ที่ 3.56 ดังนั้นการใช้ไมโครเวฟในกระบวนการย่อยสารจำพวก lignocellulose เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและช่วยประหยัดพลังงาน (Lo และ คณะ, 2017)

มีการนำไมโครเวฟมาเปลี่ยนแปลง Phenotypic และ Genetic ในดอกเบญจมาศ โดยทดลองนำดอกเบญจมาศมาฉายรังสีกับคลื่นไมโครเวฟที่ ความถี่ 2.45 GHz ในระยะเวลาต่างๆ จากผล การทดลองพบว่าไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากในทาง Genetic และ Phenotypic แต่ในทางพืชสวนถือว่ามีลักษณะที่ดีขึ้นสรุปได้ว่าไมโครเวฟมีส่วนในการเปลี่ยนแปลงทางพันธุ์กรรมได้ (Miler and Kulus, 2018)

ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไมโครเวฟในการช่วยบำบัดดินที่ปนเปื้อน Hexachlorobenzne (HBC) โดยในการทดลองนี้จะเติมผง MnO_2 และ Fe เพื่อเป็นตัวดูดซับพลังงานของไมโครเวฟ และใช้สารละลาย H_2SO_4, NaOH, H_2O และ Na_2SO_4 ผลการทดลองพบว่า ที่การใช้ไมโครเวฟ 10 นาที และเติมผง MnO_2 กับ H_2SO_4 สามารถย่อยสลาย HBC ได้อย่างสมบูรณ์ โดยลดลงจาก 55.8 mg/kg เหลือ 0.91 mg/kg (Songhu และ คณะ, 2006)

การใช้ไมโครเวฟในการช่วยฟื้นฟูดินที่บนเปื้อนน้ำมันดิบ โดยในการทดลองนี้จะใช้ไมโครเวฟกับคาร์บอนไฟเบอร์ในการช่วยเสริมกันในการฟื้นฟู โดยคาร์บอนไฟเบอร์จะเป็นตัวเสริมพลังงานความร้อนที่เกิดจากไมโครเวฟในดิน ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ความถี่ของไมโครเวฟที่ 2.45GHz ผลการทดลองพบว่าดินนั้นมี

อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 700 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 4 นาที ด้วยไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ และสามารถกำจัดน้ำมันดิบออกจากดินได้ถึง 94 เปอร์เซ็นต์นอกจากนี้น้ำมันดิบที่อยู่ในดินยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยการควบแน่นบนอ่างน้ำแข็ง (Dawei และคณะ, 2009)

การใช้ไมโครเวฟในการช่วยบำบัด สารอินทรีย์จำพวก lipophilic จากขยะหรือดิน โดยเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ความร้อนแบบปกติที่สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าเนื่องจากการนำความร้อนของตัววัสดุมีการนำความร้อนที่ต่ำจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานมากให้การบำบัดในแต่ละครั้ง ในส่วนของการใช้ไมโครเวฟจะสามารถนำมาช่วยแก้ไขในจุดๆนี้ได้ด้วยข้อดีของไมโครเวฟ ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองที่ขยายขนาดมากขึ้นจากห้องปฏิบัติการโดย ในการทดลองนี้จะใช้ไมโครเวฟกำลังไฟอยู่ที่ 6 กิโลวัตต์ ความถี่ที่ 2.45GHz จากผลการทดสอบพบว่าการนำไมโครเวฟมาใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ lipophilic ประสบความสำเร็จในการบำบัดโดยมีแนวโน้มเดียวกันกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Krouzek และคณะ, 2018)

ด้านการแพทย์

การนำไมโครเวฟมาใช้ในการทำลาย *Mycobacterium bovis* บนใบมีดผ่าตัด โดยใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 600 วัตต์ เป็นระยะเวลา 4 นาที ผลการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาและกำลังวัตต์ของไมโครเวฟที่กำหนดสามารถทำลาย *Mycobacterium bovis* ได้ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการฆ่าเชื้อทั่วไปซึ่งผลไม่แตกต่างกัน และเมื่อนำไปตรวจสอบด้วยกล้อง SEM พบว่าแบคทีเรียมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเกิดเป็นร่องเกิดขึ้นบนบริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรีย (Rosaspina และคณะ, 1994)

การใช้ไมโครเวฟควบคู่กับการใช้สารเคมี ในการทำลาย Biofilm Fungi ในฟันปลอมที่สามารถถอดออกได้ จากผลการทดลองพบว่า การใช้ไมโครเวฟในการฆ่าเชื้อกับการแช่ใน sodium hypochlorite 5.25 เปอร์เซ็นต์ สามารถ ฆ่าเชื้อได้มากที่สุด และการฆ่าเชื้อในไมโครเวฟทำให้ฟันปลอมเสียสภาพด้วย (Al-Saadi, 2014)

การใช้ไมโครเวฟในการทำลายสปอร์ของ *Clostridium difficile* ที่เป็นสาเหตุของติดเชื้อในโรงพยาบาล ซึ่งส่งผลให้เกิดอาการท้องเสีย จนถึงขั้นลำไส้อักเสบได้ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครเวฟความที่ 2.45GHz กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ในการทำลายสปอร์ ผลการทดสอบพอว่า ที่ระยะเวลาในการฉายไมโครเวฟ 60 วินาที สามารถกำจัดสปอร์ของ *Clostridium difficile* ได้นอกจากนี้ยังตรวจสอบลักษณะสปอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) พบว่าสปอร์มีความเสียหายเกิดขึ้นทำให้สปอร์มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป (Ojha และคณะ, 2016)

ด้านเคมี

การใช้ไมโครเวฟในการช่วยสังเคราะห์ฟิล์มของอนุภาคนาโนของเงินกับไคโตซานในการยับยั้งแบคทีเรีย ซึ่งการสังเคราะห์สังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินจะไคโตซานเป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งการสังเคราะห์ภายใต้

คลื่นไมโครเวฟ จะใช้ระยะเวลาอยู่ที่ 11 นาที และการสร้างฟิล์มจะใช้เวลาอยู่ที่ 90 นาที โดยใช้พลังงาน 0.146 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีการทั่วไป โดยฟิล์มที่สร้างขึ้นนั้นสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* และแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* ได้ซึ่งการสร้างฟิล์มด้วยวิธีนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงานในการใช้ (Raghavenda และคณะ, 2016)

การใช้คลื่นไมโครเวฟในการช่วยตกตะกอน (Magnesium Carbonate, $MgCO_3$) ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงผลของไมโครเวฟที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดการจับตัวการเป็นผลึกของ $MgCO_3$ จากการทดลองพบว่าการตกตะกอนในสภาวะที่มีคลื่นไมโครเวฟสามารถช่วยทำให้เกิดสภาพ Crystals ของ $MgCO_3$ ได้มากขึ้น จึงสรุปได้ว่าไมโครเวฟนั้นสามารถช่วยเร่งในการตกผลึกของสารเคมีได้ (Zhichao และคณะ, 2018)

การใช้ไมโครเวฟในการช่วยสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเหล็กและทองแดง เพื่อใช้ทดสอบในการยับยั้งรา *Cladosporium herbarum* ในการทดลองนี้ จะใช้สารสกัดจากใบของ *Euphorbia helioscopia* โดยในใบของ *Euphorbia helioscopia* มีส่วนประกอบของ Tanins ช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเหล็กและทองแดง เมื่อได้สารสกัดจากใบของ *Euphorbia helioscopia* จะนำไปผสมกับเหล็กและทองแดง จากนั้นนำไปผ่านไมโครเวฟกำลังไฟที่ 0.3-300 GHz โดยอนุภาคนาโนที่ ได้นั้นมีขนาดอยู่ที่ 7-10 นาโนเมตร จากผลการทดสอบพบว่า อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้สามารถยับยังราได้ (Henam และคณะ, 2019)

นอกจากการที่นำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆแล้วในส่วนของการนำไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในด้านงานจุลินทรีย์ได้เช่นกันตัวอย่างงานวิจัยที่นำไมโครเวฟมาใช้ในทางด้านจุลินทรีย์เช่น

การเจริญของราและแบคทีเรียที่อยู่ในธรรมชาติและในห้องปฏิบัติการที่ได้รับไมโครเวฟที่กำลังไฟแตกต่างกันโดยกำลังที่ใช้คือ กำลังสูง 700 วัตต์ กำลังปานกลาง 385 วัตต์ และกำลังต่ำ 119 วัตต์ ผลการทดลองพบว่าอัตราการรอดของจุลินทรีย์ต่อการได้รับไมโครเวฟที่กำลังต่างๆ นั้นแตกต่างกัน โดยกำลังสูงสุดจะลดการเจริญของรา ได้มากที่สุดนอกจากนี้ยังพบด้วยว่า ราและแบคทีเรียที่อยู่ในธรรมชาติจะมีอัตราการรอดมากกว่าราและ แบคทีเรียที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ (Yan and Maosheng, 2010)

ผลกระทบของไมโครเวฟต่อ yeast ZSM- 001 โดยทดลองการให้ yeast ได้รับไมโครเวฟที่ปริมาณและระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าความเข้มข้นของไมโครเวฟและระยะเวลามีผลต่อการเจริญและ Permeability ของเยื่อหุ้ม cell โดยที่ yeast ที่ได้รับไมโครเวฟกำลังไฟปริมาณ 1.6 วัตต์ต่อกรัม ระยะเวลา 120 วินาที มีการเจริญมากที่สุด แต่ก็มีการเพิ่ม Permeability ของเยื้อหุ้ม cell เช่นกันส่งผลให้มีการรั่วไหลของสารชีวโมเลกุลต่างๆและส่งผลให้ yeast ตาย (Shu-wei และคณะ, 2014)

การใช้ไมโครเวฟในการช่วยทำแห้งแบบเยือกแข็งในแบคทีเรียจำพวกแลกติกแอซิดแบคทีเรีย แบคทีเรีย *Lactobacillus paracasei* และ *Bifidobacterium lactis* โดยในการทดลองนี้ ต้องการแปรผันพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบในกระบวนการ คือ ความดัน ได้แก่ 0.6, 1, 2 มิลลิบาร์ และไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า

ได้แก่ 1.5, 2, 2.5, 3 วัตต์ต่อกรัม จากผลการทดสอบพบว่า *Lb. paracasei* สามารถอยู่รอดชีวิตได้ในทุกค่าพารามิเตอร์ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้ง คือ ระดับความดัน 1 มิลลิบาร์ กำลังไฟไมโครเวฟ 1.5 วัตต์ต่อกรัม และความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ *B. lactis* ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้จุลินทรีย์มีอัตราการรอดชีวิตมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ที่ระดับความดัน 0.6 มิลลิบาร์ และกำลังไฟไมโครเวฟ 1.5 วัตต์ต่อกรัม ความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระยะเวลาในการทำแห้งแบบเยือกแข็งโดยการใช้ไมโครเวฟ จะใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ขณะเดียวกันวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งจะใช้เวลาในการทำแห้ง 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสองวิธี วิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งโดยการใช้ไมโครเวฟ จะใช้เวลาลดลงกว่าวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ การทำแห้งแบบเยือกแข็งโดยการใช้ไมโครเวฟ เป็นทางเลือกที่ดีในการทำแห้งจุลินทรีย์ (Amros และคณะ, 2018)

3. การทำให้ปราศจากเชื้อในห้องปฏิบัติการ

การทำให้ปลอดเชื้อ หรือ Sterilization หมายถึงกระบวนการกำจัดหรือทำลายจุลินทรีย์ทุกชนิด รวมทั้งสปอร์ของราและแบคทีเรีย โดยใช้วิธีทางกายภาพหรือทางเคมี

วิธีทางกายภาพ

ความร้อน

การใช้ความร้อนเป็นวิธีการวิธีหนึ่งที่นิยมใช้มากที่สุดในการทำลายจุลินทรีย์ในห้องปฏิบัติการ โดยการใช้ความร้อนในการทำลายจุลินทรีย์จะใช้ความร้อนสองลักษณะได้แก่ ความร้อนชื้น และ ความร้อนแห้ง ยกตัวอย่างการใช้ความร้อนชื้นในการทำลายจุลินทรีย์ได้แก่ วิธีการ autoclave โดยหลักการของวิธีนี้คือใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนเข้าไปหาจุลินทรีย์ซึ่งการที่น้ำจะมีจุดเดือดที่ 121 องศาเซลเซียสได้นั้นจะต้องเพิ่มความดันไปที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยระยะเวลาในการทำให้ปราศจากเชื้อจะอยู่ที่ 15 นาที ซึ่งวิธี autoclave เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในการทำให้ปลอดเชื้อในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างการใช้ความร้อนแห้งในการทำลายจุลินทรีย์ได้แก่ ตู้อบลมร้อน (hot air) โดยจะใช้การกระจายความร้อนภายในตู้ทำให้เกิดการทำลายตัวจุลินทรีย์ โดยจะใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ถึง 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2558)

รังสี

การใช้รังสีเป็นวิธีการอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ในห้องปฏิบัติการโดยอาศัยความสามารถของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ Non-ionizing radiation และ Ionizing radiation ในกลุ่ม Non-ionizing radiation เช่น รังสี Ultra violet (UV) รังสี UV มีความสามารถทำให้เกิด Thymine dimers ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของกระบวนสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลในเซลล์ของจุลินทรีย์

ผิดปกติซึ่งส่งผลทำให้จุลินทรีย์ตาย ส่วนกลุ่ม Ionizing radiation เช่น รังสีแกมม่า (Gamma rays) รังสีแกมม่าเป็นรังสีที่มีพลังงานสูงกว่า รังสี UV ซึ่งรังสีแกมม่ามีความสามารถในการทำลายสาย DNA ได้โดยตรง โดยทำให้เกิดการแตกหักของ DNA ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลของเซลล์ผิดปกติไป เช่นเดียวกันซึ่งส่งผลทำให้จุลินทรีย์นั้นตาย (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2558)

วิธีทางเคมี

น้ำยาเคมี และ แก๊สเคมี

น้ำยาเคมี หรือสารเคมีชนิดต่างๆที่มีความสามารถในการทำลายจุลินทรีย์ได้โดยอาศัยความสามารถที่ทำให้เกิดความเป็นพิษในตัวเซลล์จุลินทรีย์ ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ Sodium hypochlorite, glutaraldehyde, hydrogen peroxide, alcohol เป็นต้น ในส่วนของแก๊สเคมีนั้นหลักการเช่นเดียวกันกับการใช้สารเคมีคือมีความเป็นพิษต่อตัวเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยตัวอย่างแก๊สที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ในห้องปฏิบัติการ เช่น ethylene oxide (สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ, 2551)

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นวิธีทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการในปัจจุบัน แต่ก็ยังมีข้อเสียหลายด้าน เช่นในการทำปราศจากเชื้อด้วยความร้อน ด้วยวิธี autoclave และ ตู้อบลมร้อน โดยสองวิธีนี้เป็นวิธีที่มีการนำไปใช้งานมากที่สุด โดยทั้งสองวิธีนี้นั้นจะต้องใช้เครื่องมือที่จำเพาะ เครื่องมือมีราคาแพงมาก และใช้พลังงานสูงมากในการใช้งานทำให้เสียค่าใช้ไฟฟ้าสูงด้วยเช่นกัน และที่สำคัญที่สุดนั่นคือทั้งสองวิธีนี้ใช้ระยะเวลาในการทำงานนานมากด้วยใช้เวลาขั้นต่ำเป็นเวลาในหน่วยชั่วโมง ถึงแม้ว่าหลักการของวิธี autoclave จะใช้ระยะเวลา 15 นาที แต่เวลานี้เป็นเวลาที่ทำให้เกิดการปลอดเชื้อเท่านั้นโดยไม่ได้คิดรวมถึงเวลาในการเพิ่มระดับและลดระดับของอุณหภูมิในตัวเครื่อง ในการใช้รังสี UV และ รังสีแกมม่า จะต้องใช้เครื่องมือที่จำเพาะเช่นกันซึ่งเครื่องมือมีราคาที่แพงมาก โดยเครื่องกำเนิดรังสีแกมม่าจะมีราคาที่แพงมากกว่าเครื่องกำเนิดรังสี UV นอกจากนี้ยังใช้ระยะเวลา มากกว่า 15 นาทีในการที่ทำให้เกิดการปลอดเชื้อ และในส่วนของน้ำยาเคมีและแก๊ส ถึงแม้ว่าทั้งสองวิธีทางเคมีนี้จะใช้ระยะเวลาที่รวดเร็วในการทำลายเชื้อ แต่ตัวสารเคมีบางชนิดนั้นมีความสามารถกัดกร่อนเครื่องมือเครื่องใช้หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและที่สำคัญสารบางชนิดนั้นเป็นอันตรายต่อตัวผู้ทำปฏิบัติการด้วย นอกจากนี้ ในการทำปฏิบัติการในแต่ละครั้งมีความไม่แน่นอนในเรื่องของปริมาณงานที่ทำ ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณงานในการทำน้อยส่งผลให้มีสิ่งของที่จะต้องทำการปลอดเชื้อน้อย จึงทำให้ไม่เกิดความคุ้มค่าในการใช้เครื่องมือในการทำให้ปลอดเชื้อด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้จึงควรมีวิธีที่สามารถตอบโจทย์ให้กับปัญหาที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวมา

ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ต้องการนำไมโครเวฟมาใช้ทำลายราจากห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาโดยมีความคาดหวังว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง และทดแทนวิธีการทำให้ปลอดเชื้อในห้องปฏิบัติการวิธีอื่นๆ โดยอาศัยหลักการของไมโครเวฟที่ทำให้เกิดความร้อนและส่งผลให้เกิดการตายของรา อย่างไรก็ตามการ

ทำลายราด้วยไมโครเวฟนั้นจะเป็นการใช้ความร้อนที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานออกมาจากสารที่อยู่ใกล้เคียงกับจุลินทรีย์ที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟ (thermal effect) ตัวอย่างเช่น ในอาหาร เนื่องจาก อาหารมีส่วนประกอบของน้ำ ซึ่งเป็นโมเลกุลที่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟได้และเกิดปฏิสัมพันธ์กันจึงเกิดเป็นพลังงานความร้อน ในส่วนของคลื่นรังสีไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้โดยตรงเหมือนรังสีชนิด อื่นๆ เช่นรังสี UV, Gamma (Bozkurt and Davidson, 2017) อย่างไรก็ตามมีรายงานถึงผลของคลื่นไมโครเวฟที่มีผลกระทบต่อตัวจุลินทรีย์ได้โดยตรง ซึ่งมีผลกับโครงสร้าง, DNA, เมทาบอลิซึม โดยตรงกับตัวของจุลินทรีย์ โดยเรียกผลกระทบนี้ว่า Biological effects หรือ non-thermal effect (Banik และคณะ, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Fang และ คณะ 2011 ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟในการยับยั้งรา *Aspergillus parasiticus* โดยใช้ความถี่ของไมโครเวฟ 2.45GHz กำลังไฟอยู่ที่ 1.5 วัตต์ต่อกรัม ผลการทดสอบพบว่าไมโครเวฟสามารถทำให้เกิดการเพิ่มการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ออกนอกเซลล์และมีความเสียหายต่อ DNA ของ *Aspergillus parasiticus*

ซึ่งไมโครเวฟนั้นเป็นวิธีที่สามารถตอบโจทย์กับปัญหาที่เกิดขึ้นจากที่กล่าวมาได้ เนื่องจากการใช้ไมโครเวฟนั้นสามารถให้ความร้อนได้สูงและใช้ระเวลารวดเร็ว รวมถึงยังสามารถใช้กับงานที่มีปริมาณน้อยได้ นอกจากนี้ตัวเครื่องไมโครเวฟนั้นใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า และราคาเครื่องมือมีราคาที่ถูกกว่าหาได้ทั่วไป นั่นจึงเป็นเหตุที่จะนำไมโครเวฟมาใช้ในการทำปลอดเชื้อในห้องปฏิบัติการ

วัตถุประสงค์ของโครงการ

การใช้ไมโครเวฟในครัวเรือนเพื่อฆ่าราจากห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำไมโครเวฟมาใช้ในการกำจัดราได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถไปประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อแทนวิธีการทำให้ปลอดเชื้อวิธีอื่นๆได้

บทที่ 2

อุปกรณ์การทดลองและ เคมีภัณฑ์

อุปกรณ์และเคมีภัณฑ์

2.1 อุปกรณ์

- อุปกรณ์เครื่องแก้วพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ
- กระบอกฉีดยาฉีดยาพลาสติก ขนาด 60 ml บริษัท นิโปร ประเทศญี่ปุ่น
- ที่เจาะอาหารเลี้ยงเชื้อ (cork borer) เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร
- ขวดดูแรน (duran) ขนาด 500 มิลลิลิตร ของบริษัท Schott ประเทศ เยอรมัน
- Hot plate ของบริษัท Gibthai ประเทศไทย
- เครื่องอบนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) รุ่น SS-325 และรุ่น ES-315 ของบริษัท Tomy Seiko Ltd., ประเทศญี่ปุ่น รุ่น MLS 3020 ของบริษัท Sanyo Co.,Ltd., Japan และรุ่น HV-25 ของบริษัท Hirayama Co., Ltd., ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Incubator shaker) รุ่น InnovaTM 4300 ของบริษัท New Brunswick Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องชั่งละเอียด รุ่น AG 285 ของบริษัท Metler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- เครื่องชั่งหยาบ รุ่น PG 2002-S ของบริษัท Metler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- ตู้อบแห้ง (hot air oven) รุ่น UE 600 ของบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน
- ไมโครปิเปต (micropipette) รุ่น P10 P20 P100 P200 P1000 และ P5000 ของบริษัท Gilson ประเทศฝรั่งเศส
- กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) ของบริษัท Olympus ประเทศ ญี่ปุ่น
- เตาไมโครเวฟ รุ่น MS2127CW ของบริษัท LG ประเทศไทย
- ถุงพลาสติก PP ขนาด 4X6, 7X11,8X12, 9X14 นิ้ว

2.2 เคมีภัณฑ์

- เดกซ์โตรส (dextrose) ของบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

- เอทานอล (C_2H_5OH) ของบริษัท Merck ประเทษเยอรมัน

- เมทานอล (CH_3OH) ของบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 การเพาะเลี้ยงราตัวอย่าง

3.1.1 ตัวอย่างราที่ใช้การศึกษา

Aspergillus niger MSCU 0361

Rhizopus digosporus MSCU 0366

Mucor racemosus MSCU 0367

Penicillium sp. MSCU 0047

ตัวอย่างรา *Aspergillus niger* MSCU 0361 ได้รับความอนุเคราะห์จาก คุณ นันท์ธร เภาราช คลังจุลินทรีย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และตัวอย่างราที่เหลือได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.จิราภรณ์ ธนียวัน ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 การเพาะเลี้ยงราตัวอย่าง

การเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง PDA

เพาะราตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด ลงบนอาหารแข็ง PDA (potato dextrose agar) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จานเดียวกันจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ถึง 5 วัน

การเพาะเลี้ยงบนอาหารเอียง (Slant)

เพาะราตัวอย่างทั้ง 4 ชนิดลงใน Slant PDA ปริมาตร 5 มิลลิลิตร โดยเพาะรา Slant ละ 1 ชนิด จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ถึง 5 วัน

การเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว PDB

เพาะราตัวอย่างทั้ง 4 ชนิดลงใน PDB (potato dextrose broth) ปริมาตร 100 มิลลิลิตรในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มแบบเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 ถึง 5 วัน

3.2 ทดสอบบริเวณที่เกิดความร้อนในเครื่องไมโครเวฟ Hot spot

นำกระดาษแฟกซ์ปูให้เต็มบริเวณในเครื่องไมโครเวฟ จากนั้นพรมน้ำบนกระดาษแฟกซ์เล็กน้อยเปิดเครื่องไมโครเวฟด้วยกำลังไฟสูงสุดระยะเวลา 1 นาที สังเกตบริเวณเกิดรอยสีดำบนตัวกระดาษ ซึ่งบริเวณสีดำที่เกิดขึ้นก่อนนั้นจะเป็นจุดที่ร้อนที่สุดในตัวเครื่องไมโครเวฟ

* ข้อควรระวัง กระดาษสามารถเกิดการลุกไหม้ได้ถ้าปล่อยไว้ในระยะเวลาที่นานเกินไปในการทดลองให้สังเกตรอยสีดำบนกระดาษตลอดเวลาถ้าเกิดรอยสีดำแล้วให้รีบปิดสวิตซ์เครื่องทันที

3.3 การบรรจุภาชนะในไมโครเวฟ

ในส่วนของ Slant จะนำหลอดทดลองบรรจุในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ให้เต็มบีกเกอร์นับจำนวนหลอดที่สามารถบรรจุ จากนั้นนำบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ใส่เข้าไปในไมโครเวฟวางบนจานหมุนให้เต็มและนับจำนวนของบีกเกอร์ที่อยู่ในไมโครเวฟ ในส่วนของ ฟลาสก์นำเข้าเครื่องไมโครเวฟโดยใช้ขนาด 250 มิลลิลิตร วางบนจานรองให้เต็มและนับจำนวน ในส่วนของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ นำจานอาหารเลี้ยงเชื้อบรรจุใส่ถุงพลาสติดชนิดทนไมโครเวฟและนับจำนวนจานแก้วที่สามารถนำเข้าไมโครเวฟได้โดยคำนึงถึงความสูงและปริมาตรที่นำใส่

3.4 ทดสอบการเดือดของน้ำ

3.4.1 การเดือดในฟลาสก์

นำ ฟลาสก์ ขนาด 250 มิลลิลิตร มาบรรจุน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำฟลาสก์บรรจุเข้าเครื่องไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ ตามข้อที่3.3ใช้ระดับไฟสูงสุดและจับเวลารอจนกว่าน้ำจะเดือดทุกฟลาสก์ (ถือว่าเวลาในการเดือดของน้ำมีค่าใกล้เคียงกับค่าเวลาในการเดือดของอาหารเหลว)

3.4.2 การเดือดของอาหารแข็งในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

นำจานแก้วที่มีบรรจุวุ้นเปล่าปริมาตร 25 มิลลิลิตร จำนวนที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3 จากนั้นนำเข้าเครื่องไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ โดยใช้ระดับไฟสูงสุดและจับเวลารอจนกว่าวุ้นจะละลายและเดือดทุกจาน(ถือว่าเวลาในการเดือดของวุ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าเวลาในการเดือดของอาหารแข็ง PDA)

3.4.3 ทดสอบการเดือดของอาหารแข็งใน Slant

นำหลอดทดลอง ที่มีวุ้นเปล่าปริมาตรหลอดละ 5 มิลลิลิตร บรรจุ Slant ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร จนเต็มก่อนนำเข้าเครื่องไมโครเวฟ จากนั้นนำเข้าเครื่องไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ โดยใช้ระดับไฟสูงสุดและจับเวลารอจนกว่าวุ้นจะหลอมและเดือด (ถือว่าเวลาในการหลอมและเดือดของวุ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าเวลาในการเดือดของอาหารแข็ง PDA)

3.5 การใช้ไมโครเวฟในการกำจัดรา

เลี้ยงรา 4 ชนิดตามวิธีในข้อ 3.1.2 บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีราเจริญตามวิธีในข้อ 3.3 ฉายรังสีไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ โดยใช้ระดับไฟสูงสุดนำจับเวลาโดยจับหลังจากที่อาหารเดือดต่อไปอีก 60, 120, 180 วินาที

3.6 ตรวจสอบการเจริญของราหลังจากผ่านรังสีไมโครเวฟ

นำราที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟในแต่ละเวลามาตรวจสอบการเจริญโดยการเลี้ยงบน PDA โดยใช้สายใยราจาก Slant และจานอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยใน Slant จะใช้เข็มเขี่ยเอาสายใยขอราที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟมาลงในอาหาร PDA ในส่วนของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ จะใช้ที่เจาะอาหารเลี้ยงเชื้อ (cork borer) เจาะเอาอาหารและชิ้นส่วนของราจากจานอาหารเลี้ยงเชื้อของราที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ มาวางบนอาหาร PDA และในส่วนของฟลาสก์ ให้ Spread plate น้ำเลี้ยงเชื้อด้วยปริมาตร 100 ไมโครลิตรบน PDA จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ถึง 5 วัน และตรวจสอบการเจริญทั้งหมด

3.7 ตรวจสอบชนิดของรา

นำราที่มีการเจริญหลังจากผ่านการเข้าไมโครเวฟ นำไปทำ Slide culture และตรวจสอบลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 400 เท่า ตรวจสอบลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของราที่รอดชีวิตหลังผ่านการเข้าไมโครเวฟ

3.8 ทดสอบการใช้ไมโครเวฟเพื่อกำจัดราที่มาจากธรรมชาติ

3.8.1 เพาะเลี้ยงราตัวอย่างจากในดินและในอากาศ

การเลี้ยงราจากดิน

เก็บดินตัวอย่างจากสถานที่ต่างๆ 3 แหล่ง แหล่งละ 10 กรัม ละลายดินด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นดูดมาปริมาตร 100 ไมโครลิตรนำไป Spread plate ลงบน PDA จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ถึง 5 วัน

การเลี้ยงราจากอากาศ

นำ PDA plate ไปวางโดยเปิดฝาอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เพื่อให้สัมผัสอากาศเป็นระยะเวลา 60 นาที ทั้งหมด 3 แหล่ง จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 ถึง 5 วัน

3.8.2 ทดสอบการใช้ไมโครเวฟในการกำจัดราจากธรรมชาติ

ทดสอบการฆ่าเชื้อราจากธรรมชาติโดยใช้ไมโครเวฟตามวิธีในข้อ 3.5 จากนั้นนำตัวอย่างราที่ผ่านการเข้าไมโครเวฟ ไปตรวจสอบการเจริญเพื่อยืนยันว่าระยะเวลาในการทดสอบจากการทดลองที่ 3.6 นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดราจากธรรมชาติได้หรือไม่

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ปริมาณภาชนะที่สามารถบรรจุเข้าเครื่องไมโครเวฟ

ภาชนะที่ใช้บรรจุในเครื่องไมโครเวฟในการทดลอง 3 ชนิดได้แก่ จานแก้ว บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากการทดลองนำภาชนะทั้ง 3 ชนิด บรรจุในไมโครเวฟให้ได้จำนวนมากที่สุดผลแสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ตารางแสดงจำนวนสูงสุดของภาชนะที่ใช้ในการทดลอง

ภาชนะที่ใช้บรรจุ	จำนวนที่บรรจุได้สูงสุด
จานแก้ว	27 จาน
บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร บรรจุหลอดทดลองขนาด 16 X 125 มิลลิลิตร จำนวน 20 หลอด	4 ใบ
ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร	5 ขวด

โดยในจานแก้วจะถูกบรรจุอยู่ในถุงพลาสติก 2 ชั้น โดยถุงชั้นในมีขนาด 8X12 และถุงชั้นนอก มีขนาด 9X14 นิ้วตามลำดับ ในแต่ละถุงจะมีจานแก้วอยู่ถุงละ 9 จาน ทั้งหมด 3 ถุง

รูปที่ 2. ถุงพลาสติกที่มีจานแก้วบรรจุอยู่ 9 ใบ ต่อ 1 ถุง ทั้งหมด 3 ถุงในเครื่องไมโครเวฟ

ในส่วนของบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร จะบรรจุหลอดทดลองขนาด 16X125 มิลลิลิตรจำนวน 20 หลอด โดยหลอดทดลองจะถูกบรรจุอยู่ในถุงพลาสติกขนาด 8X12 นิ้ว

รูปที่ 3. บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรที่มีหลอดทดลองบรรจุอยู่ 20 หลอด ทั้งหมด 4 บีกเกอร์ที่ถูกบรรจุอยู่ในเครื่องไมโครเวฟ

และในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุน้ำ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยจะมีถุงพลาสติกขนาด 4X6 นิ้วคอบบริเวณปากขวดโดยใช้หนังยางเป็นตัวมัดเพื่อป้องกันการหลุดออกของจุกสำลี

รูปที่ 4. ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB ปริมาตร 100 มิลลิลิตรจำนวน 5 ขวดที่บรรจุอยู่ในเครื่องไมโครเวฟ

4.2 ผลการทดสอบการเดือดของอาหารแข็งและอาหารเหลว

ในการทดลองการเดือดของอาหารแข็งและอาหารเหลวโดยในการทดลองนี้จะใช้น้ำและวุ้นเปล่าเป็นตัวทดสอบโดยประมาณระยะเวลาการเดือดของน้ำและวุ้นในการทดลองจะใกล้เคียงระยะเวลาการเดือดของอาหารที่ใช้จริง โดยทดสอบการเดือดดังต่อไปนี้

1. จานแก้ว บรรจุจานแก้วที่มีวุ้นปริมาตร 25 มิลลิลิตร 9 ใบ ต่อถุงพลาสติกเป็นจำนวน 1 – 3 ถุง

2. Slant จำนวน 20 หลอดที่มีวุ้นหลอดละ 5 มิลลิลิตรบรรจุในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรจำนวน 1 – 4 บีกเกอร์

3. ฟลาสก์ บรรจุน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตรจำนวน 1 – 5 ขวด

ในการทดลองจะตั้งภาชนะที่ใช้ในการทดลองบนบริเวณที่เป็นจุด Hot spot (แสดงดังรูปที่ 5) ของเครื่องไมโครเวฟโดยภาชนะจะตั้งอยู่บนจานหมุนในเครื่องซึ่งจะเกิดการหมุนในตัวเครื่องไมโครเวฟ ในการหมุนของจานหมุนจะส่งผลให้ภาชนะทุกภาชนะผ่านจุด Hot spot ทำให้ได้รับตัวคลื่นและเกิดความร้อนได้อย่างสูงสุดและสม่ำเสมอเท่ากันทุกภาชนะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อได้สม่ำเสมอเท่ากัน โดยในการทดลองจะใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 800 วัตต์ จับเวลาจนกว่าน้ำหรืออาหารวุ้นในทุกภาชนะจะเดือดทั้งหมด ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2

รูปที่ 5. ภาพแสดงจุดบริเวณ Hot spot ของไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 ช่วงเวลาในการเดือดของอาหารแข็งและอาหารเหลวในแต่ละภาชนะที่มีจำนวนแตกต่างกัน

ภาชนะ	จำนวน	ระยะเวลาในการเดือด (นาที)
จานอาหารวุ้น	9 จาน	4.00(±0.40)
	18 จาน	8.00(±0.51)
	27 จาน	12.00(±0.40)
บีกเกอร์บรรจุ Slant 20 หลอด	1 บีกเกอร์	1.30(±0.17)
	2 บีกเกอร์	2.30(±0.00)
	3 บีกเกอร์	3.30(±0.17)
	4 บีกเกอร์	4.30(±0.17)
ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิตร บรรจุน้ำ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร	1 ขวด	1.00(±0.25)
	2 ขวด	2.03(±0.25)
	3 ขวด	3.02(±0.25)
	4 ขวด	4.02(±0.25)
	5 ขวด	5.01(±0.26)

*หมายเหตุ

ในการทดลองการทดสอบการเดือดของอาหารแข็งและอาหารเหลว ในส่วนของจานอาหารวุ้นและบีกเกอร์บรรจุ Slant 20 หลอด ผู้วิจัยได้จับเวลาและตรวจสอบอัตราการเดือดโดยแบ่งเป็นช่วงเวลาช่วงละ 30 วินาทีในการตรวจสอบการเดือดโดยให้เหตุผลว่าในการตรวจสอบด้วยสายตาในเครื่องไมโครเวฟนั้นตรวจสอบได้ยากจึงจำเป็นต้องนำภาชนะออกมาตรวจสอบภายนอกเครื่องดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แบ่งช่วงเวลาในการตรวจสอบเป็นช่วงเวลาตามที่กล่าวข้างต้น

4.3 ผลการทดสอบการใช้ไมโครเวฟในการฆ่าราในห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองในการนำราทั้ง 4 ชนิดได้แก่ *Aspergillus niger*, *Rhizopus digosporus*, *Mucor racemosus* และ *Penicillium* sp. มาทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยไมโครเวฟ เตรียมราในอาหาร PDA หรือ PDB ตามวิธีในข้อ 3.1 บรรจุภาชนะในไมโครเวฟตามวิธีในข้อ 3.3 ใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ จับเวลาต่อจากเวลาที่อาหารเดือดไป อีก 60, 120, และ180 วินาที หลังจากผ่านกระบวนการไมโครเวฟแล้ว ทดสอบการรอดชีวิตของราตามวิธีในข้อ 3.6 ผลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเจริญของราในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA หลังจากฉายรังสีไมโครเวฟที่เวลาต่างๆ

ภาชนะ	จำนวน	ระยะเวลาเดือด	+ 60 วินาที	+ 120 วินาที	+180 วินาที
จานอาหารเลี้ยงเชื้อ	9 จาน	-	-	-	-
	18 จาน	-	-	-	-
	27 จาน	-	-	-	-
บีกเกอร์บรรจุ Slant 20 หลอด	1 บีเกอร์	-	-	-	-
	2 บีเกอร์	-	-	-	-
	3 บีเกอร์	+	-	-	-
	4 บีเกอร์	+	-	-	-
ฟลาสก์บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ 100 มิลลิลิตร	1 ขวด	-	NA	NA	NA
	2 ขวด	-	-	-	-
	3 ขวด	-	-	-	-
	4 ขวด	-	-	-	-
	5 ขวด	-	–	-	-

*หมายเหตุ เครื่องหมาย +,– แสดงถึงการเจริญของราหลังจากที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ

NA หมายถึงไม่ได้ทำการทดลองเนื่องจากเกิดการเดือดรุนแรงของอาหารจนล้นภาชนะ

4.4 ผลทดสอบการใช้ไมโครเวฟในการกำจัดราจากธรรมชาติ

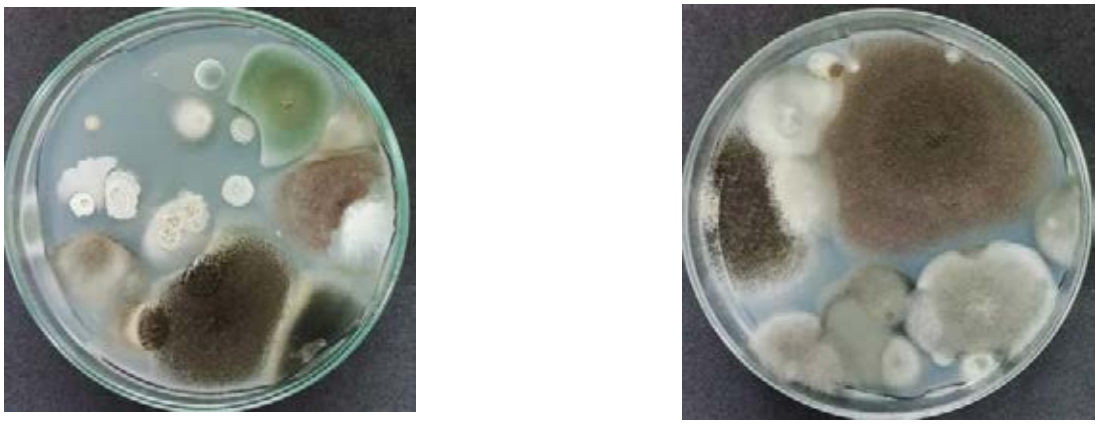
ในการทดลองการกำจัดราจากธรรมชาติผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างราในดินและราในอากาศ โดยสถานที่เก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 แหล่ง แหล่งละ 9 จาน ได้แก่

1. ลานจักรพงษ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิกัด 13°44’11’’N 100°31’54’’E

รูปที่ 6. ลักษณะของราจากอากาศที่พบบริเวณลานจักรพงษ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7. ลักษณะของราจากดินที่พบบริเวณลานจักรพงษ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ลานพระบรมรูป 2 รัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิกัด 13°44’18’’N 100°31’53’’E

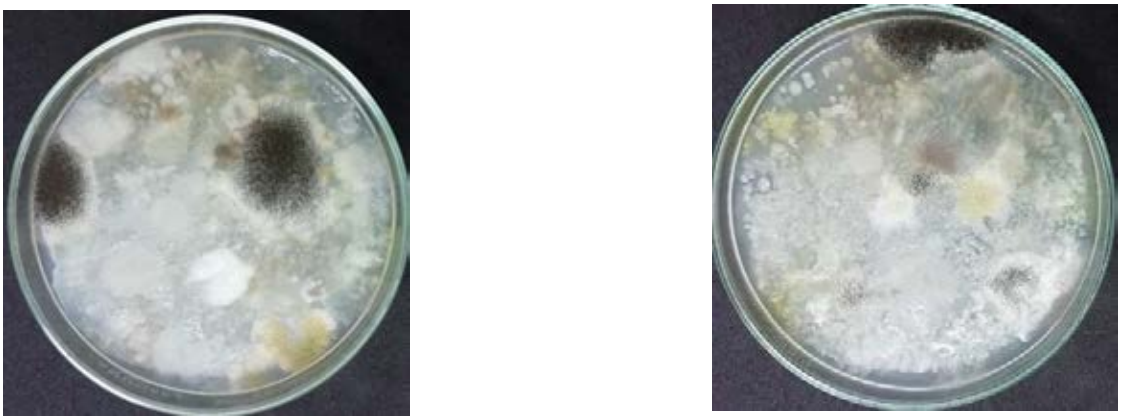


รูปที่ 8. ลักษณะของราจากอากาศที่พบบริเวณลานพระบรมรูป 2 รัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 9. ลักษณะของราจากดินที่พบบริเวณลานพระบรมรูป 2 รัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ตึกมหามกุฎ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิกัด 13°44’08’’N 100°31’51’’E

รูปที่ 10. ลักษณะของราจากอากาศที่พบบริเวณตึกมหามกุฎ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



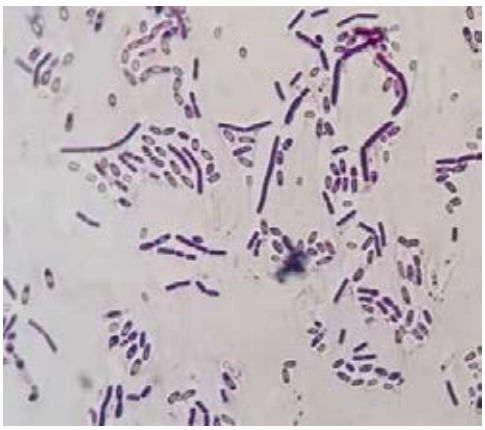
รูปที่ 11. ลักษณะของราจากดินที่พบบริเวณตึกมหามกุฎ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการทดลองนี้เป็นการทดสอบการใช้ไมโครเวฟในการกำจัดราจากธรรมชาติ ซึ่งผู้วิจัยทดสอบการกำจัดราจากจานอาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 9 ใบ ซึ่งให้เหตุผลจากผลการทดลองที่ 4.2 เนื่องจากอัตราการเดือดจะเพิ่มขึ้นโดยใช้เวลาเท่ากันเมื่อจำนวนจานอาหารเพิ่มขึ้น 9 ใบ จึงเป็นสาเหตุที่ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างราสถานที่ละ 9 จาน นำจานอาหารที่มีราตัวอย่างในแต่ละแหล่งนำเข้าเครื่องไมโครเวฟใช้กำลังไฟที่ 800 วัตต์ โดยใช้ระยะเวลาที่ 4 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ไม่มีการเจริญของราเกิดขึ้นจากผลการทดลองที่ 4.3

ของจานอาหารเลี้ยงเชื้อจำนวน 9 ใบ ซึ่งผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาในการเข้าไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 4 นาที จะสามารถกำจัดราจากภายในห้องปฏิบัติการได้

นอกจากนี้ในการทดลองการใช้ไมโครเวฟในการกำจัดราจากธรรมชาติผู้วิจัยไม่ได้คัดแยกนำแบคทีเรียในธรรมชาติออกด้วยซึ่งผลการทดลองพบว่ามีแบคทีเรียสามารถรอดชีวิตจากการฉายไมโครเวฟได้ โดยผู้วิจัยได้ตรวจสอบลักษณะของโคโลนีและตรวจสอบด้วยวิธี gram stain พบว่าโคโลนีมีลักษณะสีขาวขุ่นด้านขนาดใหญ่และย้อมติดสีของ crystal violet และพบ endospore ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าแบคทีเรียที่พบนั้นอยู่ในกลุ่มของ *Bacillus* sp.

รูปที่ 12. ลักษณะของแบคทีเรียที่รอดชีวิตจากการฉายรังสีไมโครเวฟ



รูปที่ 13. ลักษณะของแบคทีเรียและ endospore ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายที่ 1000 เท่า

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการใช้ไมโครเวฟในการกำจัดราทั้ง 4 ชนิดได้แก่ ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Rhizopus digosporus*, *Mucor racemosus* และ *Penicillium* sp. พบว่าการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ที่ระยะเวลาในการทำให้อาหารเดือดนั้นมีผลมากพอที่จะสามารถกำจัดราทั้ง 4 ชนิดนี้ที่อยู่ในรูปแบบภาชนะที่แตกต่างกันได้แก่ อยู่ในรูปของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ และ ขวดรูปชมพู่ ในส่วนของหลอดทดลองที่ถูกบรรจุลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร จากผลการทดลองพบว่าที่ จำนวนบีกเกอร์ 3 และ 4 บีกเกอร์ มีการเจริญของราที่ระยะเวลาในการเดือดของอาหารซึ่งผู้วิจัยให้เหตุผลว่า ราที่เจริญขึ้นนั้นอาหารที่ใช้เลี้ยงราไม่ได้เกิดการละลายของอาหารซึ่งอาจเกิดจากตำแหน่งที่วางและปริมาณของอาหารที่มีมากเกินไปจึงส่งผลให้ราอดชีวิตที่ระยะเวลาอาหารเดือดได้ แต่ที่ระยะเวลาหลังอาหารเดือด 60 วินาทีไม่พบการเจริญของราจึงสรุปได้ว่าที่ระยะเวลาหลังอาหารเดือด 60 วินาทีสามารถกำจัดราที่ทั้ง 4 ชนิดที่อยู่ในรูปหลอดทดลองได้ ในการทดลองนี้นั้นเป็นการทดลองที่จะนำไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้กำจัดราสายใยในห้องปฏิบัติการโดยผลการทดลองพบว่าคลื่นไมโครเวฟนั้นสามารถนำมาประยุกต์ในการกำจัดราได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการนำไมโครเวฟมาใช้ในการกำจัดรา Knox และคณะ, 2013 ใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ที่ระยะเวลา 45 วินาที สามารถลดการเจริญของราได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ในเมล็ดข้าวสาลี รวมถึงงานวิจัยของ Yan and Maosheng, 2010 ที่ใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 700 วัตต์ เป็นระยะเวลา 1.5 นาที ส่งผลให้การรอดชีวิตของรา *Aspergillus versicolor* ลดลงเหลือ 11 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ Martin และ คณะ, 2006 ในการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 1000 วัตต์ในการกำจัดรา *Fusarium oxysporum* ซึ่งผลของไมโครเวฟที่ระยะเวลา 24 วินาทีสามารถกำจัดราได้ทั้งหมดจาก microconidia จำนวน 5 X 10^6 ต่อ 1 มิลลิลิตร จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ สามารถนำไปใช้ในการกำจัดราในห้องปฏิบัติการได้ ในการทดลองการกำจัดราจากธรรมชาติ จากการเก็บตัวอย่างราในอากาศและในดินทั้ง 3 แหล่งได้แก่ ลานจักรพงษ์ ลานพระบรมรูป 2 รัชกาล และ ตึกมหามกุฎ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบการเจริญของราหลายชนิด โดยมีลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกันไปกลุ่มราที่พบเป็นกลุ่มราจำพวกราสายใย และจากการสังเกตุลักษณะภายนอกด้วยตาเปล่ากลุ่มราที่พบมากที่สุดเป็นราที่ในกลุ่มของตะกูล *Aspergillus* sp. จากการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟที่ 800 วัตต์ ในการทดสอบการกำจัดราจากธรรมชาติในรูปของภาชนะจานแก้วจำนวน 9 ใบ ซึ่งใช้ระยะเวลา 4 นาที โดยผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาในการเข้าไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 4 นาที จะสามารถกำจัดราจากธรรมชาติได้แต่

จากการทดลองมีโคโลนีของจุลินทรีย์เจริญเกิดขึ้นซึ่งจากการตรวจสอบ พบว่าจุลินทรีย์ที่พบเป็นแบคทีเรียที่อยู่ในกลุ่มของ *Bacillus* sp. ซึ่งในแบคทีเรียนกลุ่มนี้จะมีการสร้าง endospore ที่มีความสามารถในการทนความร้อนได้สูง (Nicholson และคณะ, 2000) จึงเป็นสาเหตุในการรอดชีวิตจากการผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ

ในการทดลองการใช้ไมโครเวฟในการกำจัดราในห้องปฏิบัติการนั้นมีปัจจัยที่สำคัญได้แก่

1. ปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

เนื่องจากปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการกำจัดรา ซึ่งถ้าปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้อมีมากขึ้นจะส่งให้ใช้ระยะเวลาในการที่จะทำให้อาหารเดือดนั้นใช้ระยะเวลานานมากขึ้น (Ahmed and Ramaswamy, 2007) โดยความร้อนที่ทำให้อาหารเดือดนั้นเป็นความร้อนที่สูงมากพอในการที่จะเกิดยับยั้งการเจริญของราได้ แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ทำให้อาหารเดือดในการทดลองนี้เป็นระยะเวลาของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ปริมาตรได้แก่ จานแก้วจานละ 25 มิลลิลิตร หลอดทดลองหลอดละ 5 มิลลิลิตร และ ฟลาสก์มีปริมาตรอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ที่ขวดละ 100 มิลลิลิตร

2. ปริมาณของเชื้อ

จากที่ทราบกันดีว่าปริมาณของเชื้อนั้นมีผลต่อการใช้ระยะเวลาในการกำจัดเชื้อ ถ้าเชื้อมีปริมาณที่มากจำเป็นจะต้องใช้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (Najdovski และคณะ, 1991) ดังนั้นงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ใช้เชื้อที่เจริญที่ 5 วันในการทำการทดลองซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองหลังอาหารเดือดนั้นมีความสามารถมากพอในการกำจัดราได้

3. ตำแหน่งที่วางในการทำการทดสอบ

ตำแหน่งในเครื่องไมโครเวฟนั้นมีความสำคัญอย่างมากในการทดลองนี้ซึ่งด้วยคุณสมบัติของคลื่นที่สามารถสะท้อนไปมาได้ของคลื่นไมโครเวฟ (Tang and JR, 2009) ทำให้เกิดบริเวณที่เป็นจุดร้อนที่สุดเรียกว่า Hot spot ซึ่งจะเกิดความร้อนได้เร็วและมีความร้อนสูงมากที่สุดในตัวเครื่อง ดังนั้นจึงจะต้องวางภาชนะบนจานหมุนให้ผ่านบริเวณจุดร้อนที่สุดเพื่อให้ผลการทดลองออกมามีประสิทธิภาพในการกำจัดรามากที่สุดนั่นเอง

นอกจากนี้ยังมีข้อเสียของไมโครเวฟบางประการเช่น ปรากฏการณ์การเกิด super heating ในไมโครเวฟ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเดือดจัดของอาหารเลี้ยงเชื้ออย่างรวดเร็วและรุนแรงส่งผลทำให้เกิดแรงดันเกิดขึ้นทำให้มีการพุ่งของอาหารและตัวเชื้อออกมาภายนอกภาชนะได้ การเกิด super heating ในการทดลองนี้จะเกิดขึ้นแบบสุ่มในการทดลอง ถึงแม้ว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการพุ่งออกมาจะมีอุณหภูมิที่สูงมากและส่งผลทำ

ให้เชื้อตายได้แล้วนั้นแต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับในทางด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ นั่นจึงเป็นสาเหตุในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยจึงได้ใช้ถุงพลาสติกมาใช้เป็นสิ่งบรรจุภาชนะในการทดลองเพื่อป้องกันการล้นออกของอาหารเลี้ยงเชื้อที่เกิดจากการเดือดด้วยรังสีไมโครเวฟ ออกมาปนเปื้อนในบริเวณของเตาไมโครเวฟนอกจากนี้ถุงพลาสติกยังมีความสามารถช่วยกักเก็บความร้อนทำให้ความร้อนหรือไอน้ำไม่ได้ถูกระบายออกไปอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นข้อดีในการช่วยส่งเสริมในการฆ่าเชื้อด้วย แต่ในการใช้ถุงพลาสติกในการทดลองจะต้องมีการเจาะรูเล็กน้อยให้มีการระบายของไอน้ำออกไปเพื่อป้องกันการเกิดแรงดันจากไอน้ำที่อาจส่งผลให้เกิดการระเบิดหรือการบวมของถุงที่จะเป็นอุปสรรคในการทดลอง ถึงแม้ว่าจะมีการเจาะรูเกิดขึ้นแต่บริเวณรูที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่มีการรั่วไหนของอาหารเลี้ยงเชื้อออกมา ในส่วนการทดลองฟลาสก์ 1 ขวดที่ไม่สามารถทำการทดลองต่อในระยะเวลาหลังเดือด 60 วินาทีเนื่องจากฟลาสก์ปริมาณเพียง 1 ขวดนั้นได้รับผลของตัวคลื่นไมโครเวฟที่เข้มข้นที่สุดส่งผลให้มีสภาวะการเดือดของอาหารที่รุนแรงมากและเกิดการล้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ ถึงแม้ว่าจะมีถุงพลาสติกป้องกันแต่อาหารที่ล้นออกมามีปริมาณที่มากเกินไปจนล้นออกจากรูระบายอากาศของถุงพลาสติก โดยในการทดลองนี้สามารถระบุได้ว่าเมื่อมีปริมาณของภาชนะที่มากขึ้นจะทำให้เกิดการกระจายพลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่มากขึ้นด้วยเช่นกันจึงส่งผลให้ภาชนะปริมาณมากขึ้นมีลักษณะเดือดที่ลดลง

แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้เนื่องจากการตรวจสอบการเดือดที่เกิดจากไมโครเวฟเป็นการใช้สายตาและดุลพินิจของตัวผู้วิจัยแต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่เกิดนั้นสามารถระบุได้ชัดเจนว่า ไมโครเวฟสามารถนำไปใช้ในการกำจัดราได้ นอกจากนี้การตายของราด้วยผลจากไมโครเวฟผู้วิจัยคาดว่านอกจากผลของอุณหภูมิหรือความร้อนที่เกิดจากตัวคลื่นแล้ว ในตัวคลื่นของไมโครเวฟนั้นอาจจะมีความสามารถส่งผลโดยตรงต่อลักษณะภายนอกของรารวมถึงมีผลต่อสารชีวโมเลกุลของราด้วย (Banik และคณะ, 2003, Fang และคณะ, 2011) ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการตายของราได้มากขึ้นซึ่งแนวคิดนี้เป็นผลจากการทดสอบของงานวิจัยก่อนๆที่กล่าวถึงผลของไมโครเวฟนั้นมีความสามารถส่งผลได้โดยตรงต่อทางชีวภาพของรา โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความคลาดหวังว่าจะสามารถนำไมโครเวฟไปใช้ในการกำจัดราในห้องปฏิบัติการแทนวิธีการทำให้ปลอดเชื้อวิธีอื่นๆได้

ข้อควรระวังและข้อเสนอแนะ

1. Hot spot

ในไมโครเวฟแต่ละเครื่องนั้นจะมีบริเวณของ Hot spot ที่แตกต่างกันดังนั้นก่อนที่จะทดสอบการกำจัดเชื้อด้วยไมโครเวฟจะต้องหาบริเวณของ Hot spot ในเครื่องไมโครเวฟเครื่องนั้นๆก่อนการทดสอบเพื่อที่จะทำให้เกิดการกำจัดเชื้อได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. การไหม้ของสำลี

ในการนำสำลีเข้าเครื่องไมโครเวฟส่งผลให้เกิดการไหม้ของสำลีเนื่องจากสำลีนั้นสามารถรับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟได้ โดยในงานวิจันนี้ผู้วิจัยได้ทดลองแก้ไขปัญหา โดยการหยดน้ำบริเวณสำลีทำให้เปียกชื้นแต่การทำเช่นนี้กลับส่งผลให้เกิดการไหม้ของสำลีให้เร็วขึ้นซึ่งเมื่อน้ำได้รับพลังงานจากไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนเกิดขึ้นและส่งผลทำให้น้ำระเหยออกไปซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำนั้นส่งผลให้สำลีเกิดการเพิ่มของอุณหภูมิได้เร็วมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการไหม้ของลำสีได้เร็วมากขึ้นผู้วิจัยจึงได้แก้ไขปัญหาโดยใช้ถุงพลาสติกที่ทนไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ซึ่งการใช้ถุงพลาสติกนั้นจะทำให้ไอน้ำรั่วไหลออกไปได้น้อยลงส่งผลให้เกิดความร้อนชื้นบริเวณสำลีทำให้สำลีไม่เกิดการไหม้ในระยะเวลาที่ทำการทดลอง

3. การเกิด Super heating

Super heating เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในไมโครเวฟซึ่งส่งผลให้น้ำไม่เกิดการเดือดเกิดขึ้นถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะถึงที่ 100 องศาเซลเซียส (Ferrari และคณะ, 2015) ซึ่ง Super heating มีทั้งข้อดีและข้อเสียในเวลาเดียวกันโดยข้อดีน้ำจะมีอุณหภูมิที่มากกว่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการฆ่าเชื้อได้ดีมากขึ้น แต่ข้อเสียนั้นเมื่อเกิด super heating จะทำให้เกิดการพุ่งของอาหารทำให้เชื้อกระเด็นออกนอกภาชนะทำให้เกิดการปนเปื้อนในไมโครเวฟได้และนอกจากนี้ยังอาจส่งผลเสียต่อตัวเครื่องไมโครเวฟด้วย ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้ใช้ถุงพลาสติกทนไมโครเวฟนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองซึ่งนอกเหนือจากที่ช่วยแก้ปัญหาจากในข้อที่ 2 แล้วยังสามารถป้องกันการกระเด็นของเชื้อและอาหารออกนอกภาชนะไปยังบริเวณในเตาไมโครเวฟได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2558. คู่มือปฏิบัติด้านความปลอดภัย ห้องปฏิบัติการกรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 110 หน้า.

สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ. 2551. คู่มือความปลอดภัยทางชีวภาพสำหรับห้องปฏิบัติการ. กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 201 หน้า.

ภาษาอังกฤษ

Ahmed, J. and Ramaswamy, S. H. 2007. Microwave pasteurization and sterilization of foods. In : Rahman, S. M. Handbook of Food Preservation (Second Edition). 691-771. New York: taylor & francis group.

Al-Saadi, M. H. 2014. Effectiveness of chemical and microwave disinfection on denture biofilm fungi and the influence of disinfection on denture base adaptation. Journal of Indian Prosthodontic Society. 14: 24-30.

Anwar, J., Shafique, U., Zaman, W. U., Rehman, R., Salmon, M., Dar, A., Anzano, J. M., Ashraf, U. and Ashraf, S. 2015. Microwave chemistry: Effect of ions on dielectric heating in microwave ovens. Arabian Journal of Chemistry. 8: 100-104.

Banik, S., Bandyopadhyay, S., Ganguly, S. 2003. Bioeffects of microwave––A brief review. Bioresource Technology. 87: 155-159.

Baron, D. 2017. Microwave oven safety. In : Pescheck, P., and Lorence, M. Development of Packaging and Products for Use in Microwave Ovens (1st Edition). 290-301. Cambridge: Woodhead Publishing.

Basaran, P and Akhan, U. 2010. Microwave irradiation of hazelnuts for the control of aflatoxin producing *Aspergillus parasiticus*. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 11(1): 113-117.

Birla, S. L. and Pitchai, K. 2017. Simulation of microwave processes. In : Regier, M., Knoerzer, K., and Schubert, H. The microwave processing of foods (Second Edition). 407-431. Duxford: Woodhead Publishing.

Bozkurt, C. H. and Davidson, P. M. 2017. Microwaves for microbial inactivation efficiency and inactivation kinetics . In : Regier, M., Knoerzer, K., and Schubert, H. The Microwave Processing of Foods (Second Edition). 220-251. Duxford: Woodhead Publishing.

Cooper, N. 2009. Microwave oven. In : Pescheck, P., and Lorence, M. Development of packaging and products for use in microwave ovens (1st Edition). 105-108. Cambridge: Woodhead Publishing.

Edyta, P. M., Klaudia, K., Katarzyna, S., Malgorzata, P., Dorota, Z. M., and Bogumila, K. 2019. Microwave heat treatment application to pasteurization of human milk. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 52: 42-48.

Fang, Y., Hu, J., Xiong, S., Zhao, S. 2011. Effect of low-dose microwave radiation on Aspergillus parasiticus. Food Control. 22: 1078-1084.

Fernandez, F.B. 2015. Microwave potential for bioenergy production. Renewable Energy Focus. 16: 5-6.

Ferrari, A., Hunt, J., Stiegman, A., Dudley, B. G. 2015. Microwave-assisted superheating and/or microwave-specific superboiling (nucleation-limited boiling) of liquids occurs under certain conditions but is mitigated by stirring. Molecules. 20: 21672-21680.

Henam, D. S., Ahmad, F., Shah, A. M., Parveen, S., and Wani, H. A. 2019. Microwave synthesis of nanoparticles and their antifungal activities. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 213: 337-341.

Knox, O.G.G., McHugh, M.J., Fountaine, J.M., Havis, N.D. 2013. Effects of microwaves on fungal pathogens of wheat seed. Crop Protection. 50: 12-16.

Krouzek, J., Durdak, V., Hendrych, J., Masin, P., Sobek, J., and Spacek, P. 2018. Pilot scale applications of microwave heating for soil remediation. Chemical Engineering & Processing: Process Intensification. 130: 53-60.

Lo, S.L., Huang, Y.F., Chiueh, P.T., Kuan, W.H. 2017. Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass. Energy Procedia. 105: 41-46.

Majdzadeh-Ardakani, K., Holl, M.M. B. 2017. Nanostructured materials for microwave receptors. Progress in Materials Science. 87: 221–245.

Martin, S. M.L., Piedra, P. A., Soriano, P. A. 2006. Use of microwaves in the prevention of *Fusarium oxysporum* f. sp. Melonis infection during the commercial production of melon plantlets. Crop Protection. 25(1): 52-57.

Mello, P.M., Barin, J.S., Guarnieri, R.A. 2014. Microwave heating. In : Flores M.M. E. Microwave-assisted sample preparation for trace element analysis. 59-75. Amsterdam:Elsevier.

Miler, N., Kulus, D. 2018. Microwave treatment can induce *Chrysanthemum* phenotypic and genetic changes. Scientia Horticulturae. 227: 223-233.

Najdovski, L., Dragas, A.Z., Kotnik, V. 1991. The killing activity of microwaves on some non-sporogenic and sporogenic medically important bacterial strains. Journal of hospital infection. 19(4): 239-247

Nicholson, L. W., Munakata, N., Horneck, G., Melosh, J. H., Setlow, P. 2000. Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 64(3): 548-572.

Ojha, C. S., Chankhamhaengdecha, S., Singhakaew, S., Ounjai, P., Janvilisri, P. 2016. Inactivation of *Clostridium difficile* spores by microwave irradiation. Anaerobe. 38: 14-20.

Raghavendra, M. G., Jeyoung, J., Dowan, K. Jongchul, S. 2016. Microwave assisted antibacterial chitosan–silver nanocomposite films. International Journal of Biological Macromolecules. 84: 281-288.

Regier, M., Knoerzer, K., and Schubert, H. 2017. Introducing microwave-assisted processing of food: Fundamentals of the technology. In : Regier, M., Knoerzer, K., and Schubert, H. The Microwave processing of foods (Second Edition). 1-22. Duxford: Woodhead Publishing.

Regier, M. 2017.Food Technologies: Microwave heating. Reference Module in Food Science. 3: 202-207.

Rosaspina, S., Salvatorelli, G., Anzanel, D. 1994. The bactericidal effect of microwaves on *Mycobacterium bovis* dried on scalpel blades. Journal of Hospital Infection. 26(1): 45-50.

Shu-Wei, Z., Qi-Lin, H., Si-Ming, Z. 2014. Effects of microwave irradiation dose and time on yeast ZSM-001 growth and cell membrane permeability. Food Control. 46: 360-367.

Songhu, Y., Meng, T., Xiaohua, L. 2006. Microwave remediation of soil contaminated with hexachlorobenzene. Journal of Hazardous Materials. 137(2): 878-885.

Stanley, R.A. and Petersen, K. 2017. Microwave-assisted pasteurization and sterilization commercial perspective. In : Regier, M., Knoerzer, K., and Schubert, H. The Microwave Processing of Foods (Second Edition). 200-219. Duxford: Woodhead Publishing.

Tang, J., Jr. Resurreccion, F.P. 2009. Electromagnetic basis of microwave heating. In : Pescheck, P., and Lorence, M. Development of packaging and products for use in microwave ovens (1st Edition). 105-108. Cambridge: Woodhead Publishing.

Thammanoon, A., Juming, T., Zhongwei, T., Huimin, L., Sirichai, S. 2018. Dielectric properties of rice model food systems relevant to microwave sterilization process. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 45: 98-105.

Yan, W. and Maosheng, Y. 2010. Inactivation of bacteria and fungus aerosols using microwave irradiation. Journal of Aerosol Science. 41: 682-693.

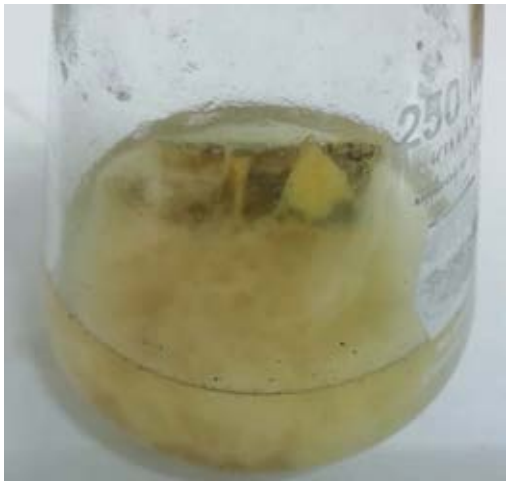
Zhichao, G., Wenxiang, H., Wenli, Z., Liye, L., Baodong, W., Yongfeng, X., Alopaeus, V. 2018. The effect of microwave on the crystallization process of magnesium carbonate from aqueous solutions. Powder Technology. 328: 358-366.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

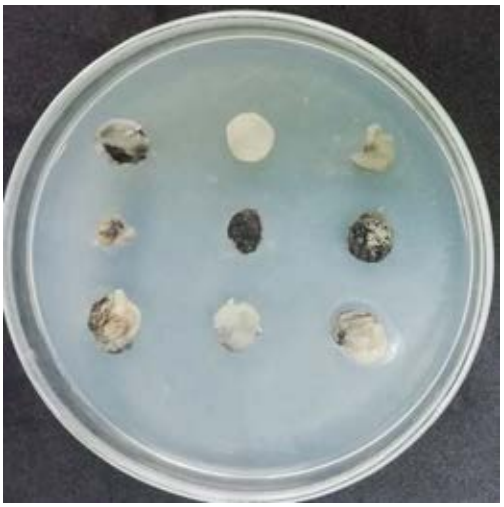
ภาพแสดงผลการทดลอง

รูปที่ 14. ลักษณะของจานอาหารเลี้ยงเชื้อเมื่อผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ

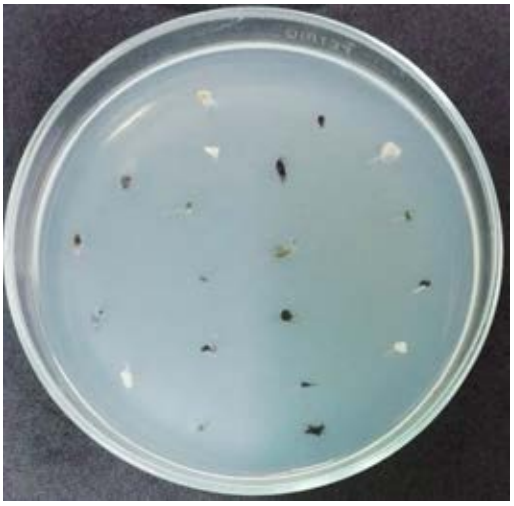


รูปที่ 15. ลักษณะของฟลาสก์ที่บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ 100 มิลลิลิตรเมื่อผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ

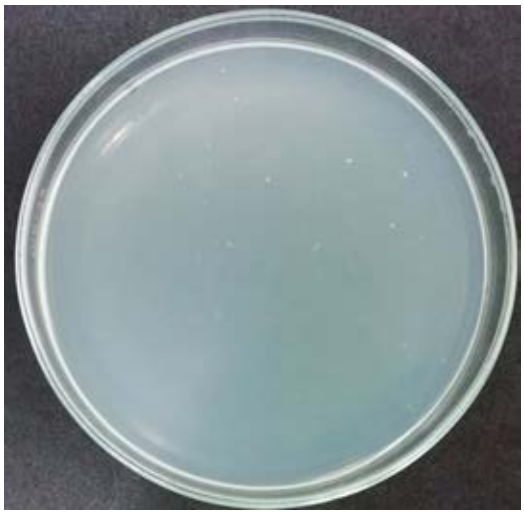
รูปที่ 16. ลักษณะของ Slant ที่มีอาหารวุ้นแข็ง 5 มิลลิลิตรเมื่อผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ



รูปที่ 17. การตรวจสอบการเจริญของราจากจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ



รูปที่ 18. การตรวจสอบการเจริญของราจาก Slant ที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ



รูปที่ 19. การตรวจสอบการเจริญของราจากฟลาสก์ที่ผ่านการฉายรังสีไมโครเวฟ

ภาคผนวก ข

สูตรอาหารและการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Potato Dextrose Broth (PDB)

มันฝรั่งหันเป็นชิ้น	200 กรัม
เดกซ์โตรส (dextrose)	20 กรัม

ชั่งส่วนผสมที่กำหนดใส่ลงในน้ำกลั่นปริมาณ 1 ลิตร จากนั้นต้มให้เดือดจนมันฝรั่งมีสีสุกใส และสีน้ำมีสีเหลืองขุ่น เทแยกกากมันฝรั่งออก จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2.อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง Potato Dextrose Agar (PDA)

น้ำมันต้มจากข้อ 1	1 ลิตร
ผงวุ้น (Agar)	20 กรัม

ชั่งส่วนผสมดังกล่าว นำผงวุ้นละลายในน้ำมันต้มแล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการเตรียมน้ำสกัดจากมันฝรั่ง

1. ปอกมันฝรั่งและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ

รูปที่ 20. ลักษณะการหั่นของมันฝรั่ง

2. ชั่งมันฝรั่งตามน้ำหนักที่ต้องการจะเตรียมอาหาร

รูปที่ 21. การชั่งน้ำหนักมันฝรั่ง

3. นำมันฝรั่งไปต้มพร้อมกับน้ำกลั่น

รูปที่ 22. การต้มมันฝรั่ง

4. ต้มจนกว่าน้ำจะออกสีเหลืองขุ่นและมันฝรั่งมีลักษณะใส

รูปที่ 23. การเดือดของน้ำมันฝรั่ง

5. จากนั้นกรองเอาส่วนใสของน้ำและแยกกากมันฝรั่งออก ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเพื่อที่จะนำไปใช้ในการทำอาหาร PDB หรือ PDA