

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายทองแดงจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์
ของเชื้อ *Acidophilic Aspergillus turcosus*

STUDY OF OPTIMUM CONDITIONS FOR COPPER BIOLEACHING
FROM PRINTED CIRCUIT BOARD OF ACIDOPHILIC
Aspergillus turcosus



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2565 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF OPTIMUM CONDITIONS FOR COPPER BIOLEACHING
FROM PRINTED CIRCUIT BOARD OF ACIDOPHILIC

Aspergillus turcosus



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL
MICROBIOLOGY)

DEPARTMENT OF BIOLOGY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2022** ภายใต้งานไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายทองแดงจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเชื้อ Acidophilic *Aspergillus turcosus*
Study of optimum conditions for copper bioleaching from printed circuit board of Acidophilic *Aspergillus turcosus*

ชื่อนักศึกษา นางสาวญาณิศา เบ่งดี รหัสนักศึกษา 62050590

นางสาวสุธารัตน์ สุขแดง รหัสนักศึกษา 62050656




ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)

ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นิลเนตร อัคระศิริจินดา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร
บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กานต์ วงศาริยะ ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.โชคชัย กิตติวงศ์วัฒนา กรรมการ	
ดร.นิลเนตร อัคระศิริจินดา กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายทองแดงจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเชื้อ <i>Acidophilic Aspergillus turcosus</i>
ชื่อนักศึกษา	นางสาวญาณิศา เป็งดี รหัสนักศึกษา 62050590
	นางสาวสุธารัตน์ สุขแดง รหัสนักศึกษา 62050656
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	ชีววิทยา
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.นิลเนตร อัคระศิริจินดา

บทคัดย่อ

ในการเปลี่ยนแปลงของโลกปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างกว้างขวาง ทำให้อุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์มีการเจริญเติบโตอย่างมาก เกิดความหลากหลายของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอายุการใช้งานที่จำกัด ทำให้ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มมากขึ้น จึงมีการนำวิธีที่หลากหลายมาใช้เพื่อลดปัญหาดังกล่าว และวิธีการชะละลายทางชีวภาพเป็นวิธีหนึ่งซึ่งช่วยกำจัดหรือย่อยสลายโลหะในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นวิธีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ประหยัด และใช้พลังงานน้อย แต่ยังเป็นวิธีที่มีการศึกษาค่อนข้างน้อย ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาการชะละลายของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเชื้อ *Aspergillus turcosus* 4 สายพันธุ์ ได้แก่ YGS 1.1, YGD 1000, YGS 2.1 และ YGD 2.1 โดยทดสอบกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และทดสอบการลดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0,10 และ 500 มิลลิโมลาร์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการชะละลายทางชีวภาพ พบว่าเมื่อศึกษาการชะละลายของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เชื้อ *A. turcosus* สายพันธุ์ YGD 1000 และ YGD 2.1 สามารถชะละลายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ดีที่สุด สามารถสังเกตการเกิดหลุมลึกบนพื้นผิวบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อนำไปส่องด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) และเมื่อทดสอบการลดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟต เชื้อสามารถเจริญได้ในอาหาร 9K ที่มีความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต 500 มิลลิโมลาร์ พบเส้นใยของเชื้อมีการดูดซับสารโลหะหนักในผนังเซลล์เมื่อสังเกตด้วยกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลทรรศน์ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถตรวจพบความแตกต่างของปริมาณคอเปอร์ซัลเฟตในอาหาร
เลี้ยงเชื้อ 9K ได้จากการวัดด้วยวิธี Spectrophotometer ดังนั้นควรมีการวัดปริมาณคอเปอร์
ซัลเฟตวิธีอื่นร่วมด้วย

คำสำคัญ : *Aspergillus turcosus*, การชะละลายทางชีวภาพ, อาหารเลี้ยงเชื้อ 9K, แผ่นวงจรร
อิเล็กทรอนิกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Study of optimum conditions for copper bioleaching from printed circuit board of Acidophilic *Aspergillus turcosus*

Students Miss Yanisa Pengdee Student ID 62050590
Miss Sutarat Suktang Student ID 62050656

Degree Bachelor of Science (Industrial Microbiology)

Department Biology

School Science

University King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang(KMITL)

Academic Year 2022

Advisor Dr. Nilnate Assavasirijinda

Abstract

Nowaday, technology has been widely developed. Industry of electrical and electronic equipments has grown tremendously. The amount of electronic devices with limit lifespan can be increased a huge of e-waste. Various methods have been adopted to reduce the problem. Bioleaching is one of the methods that help to remove and corrode metals from electronic devices. The method has less worth effect on the environments. Otherwise, it is economical, and low energy consumption. However, there are still few studies. This research focuses on the study of bioleaching of printed circuit board (PCBs) by four strains of *Aspergillus turcosus* which are YGS 1.1, YGD1000, YGS 2.1 and YGD 2.1 . The tests are carried out on the printed circuit board weathering, and the reduction test of copper(II) sulfete in 9K medium with copper sulfete concentrations of 0,10 and 500 mmol. The result found that *A. turcosus* strains of YGD 1000 and YGD 2.1 were able to corrode PCBs by showing the deep holes of PCBs when observed by a scanning electron microscope (SEM). The experiment of copper(II)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้กฎหมายการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sulfate reduction showing that all *A. turcosus* can grow in 9K medium with 500 mmol of copper(II) sulfate . The mycelium of *A. turcosus* become dark by absorbing heavy metal into cell wall when observed under a microscope. However, the difference in the determination of copper sulfate content in 9K medium by spectrophotometry has not been detected and other copper(II) sulfate evaluation method should be employed.

Keyword : *Aspergillus turcosus*, Bioleaching, 9K medium, PCBs



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

จากงานวิจัยเรื่องการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายทองแดงจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์เนื่องด้วย ได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นิลเนตร อัครวะศิริจินดา ประธานกรรมการ ผศ.ดร.กานต์ วงศาโรยยะ และกรรมการ รศ.ดร.โชคชัย กิตติวงศ์วัฒนา ที่สละเวลาอันมีค่าเพื่อคอยให้ข้อมูล คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

ขอกราบขอบคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนมาโดยตลอด และสุดท้ายขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อนที่คอยให้ความช่วยเหลือ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้ที่ได้ศึกษางานวิจัยฉบับนี้จะได้ประโยชน์และความรู้มากยิ่งขึ้นหากมีข้อผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำขออภัยไว้ทั้งหมด และขอกราบขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

นางสาวญาณิศา เป็งดี

นางสาวสุธารัตน์ สุขแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การชะละลายทางชีวภาพ (Bioleaching).....	3
2.2 แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board : PCB)	6
2.3 ความสามารถในการต้านทานต่อโลหะหนักของจุลินทรีย์.....	11
2.4 <i>Aspergillus</i> sp.	11
2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM)	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	17
3.1 เครื่องมืออุปกรณ์.....	17
3.2 สารเคมี.....	18
3.3 แหล่งที่มาของเชื้อรา.....	18
3.4 การทดสอบการชะละลายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board : PCB)....	19
3.5 การทดสอบการลดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟตในอาหารเหลว.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	22
4.1 การเลี้ยงเชื้อกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB)	22
4.2 การวัดน้ำหนักแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB)	25
4.3 การตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด.....	27
4.4 การลดปริมาณคออปเปอร์ซัลเฟตในอาหารเหลว.....	28
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	34
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก.....	41
ภาคผนวก ก.....	42
ภาคผนวก ข.....	44
ภาคผนวก ค.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปในแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์.....	7
4.1 ผลการเจริญของเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ บนอาหารแข็ง PDA หลังบ่มกับแผ่นวงจร อิเล็กทรอนิกส์.....	22
4.2 ลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นหลังเลี้ยงเชื้อกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์.....	24
4.3 ลักษณะของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก่อนและหลังจากเลี้ยงเชื้อ.....	25
4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละน้ำหนักของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่หายไปหลังเลี้ยงเชื้อ.....	26
4.5 ลักษณะโคโลนีหลังบ่มครบ 7 วัน ที่นำมาหยดบนอาหารแข็ง 9K ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ ซัลเฟตที่เท่ากับอาหารเหลวก่อนหน้า.....	30
4.6 ลักษณะก่อนและหลังเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ 9K ที่มีเติมคอปเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น ตั้งแต่ 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์.....	31
4.7 ค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเลี้ยงเชื้อ 9K ที่ความยาวคลื่น 845 นาโนเมตร ที่เติมความเข้มข้นที่ 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพรวมของวิธีชีวภาพในการผลิตกรดอินทรีย์ด้วยกลไกการชะทางชีวภาพของเชื้อราในการชะละลายโลหะจากแผ่นวงจรขยะอิเล็กทรอนิกส์.....	4
2.2 การกู้คืนธาตุทองแดงจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยกระบวนการชะละลายทางชีวภาพสองขั้นตอน.....	5
2.3 แผนผังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์อันเนื่องมาจากการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ถูกต้อง.....	10
2.4 กลไกของจุลินทรีย์เพื่อต่อต้านและกำจัดสารพิษของโลหะหนักที่เป็นอันตราย.....	11
2.5 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ <i>Aspergillus</i> sp.	12
2.6 ส่วนประกอบและหลักการทำงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	14
4.2 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายใต้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายของภาพ 5000 เท่า (ก) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้นที่ไม่ได้นำไปบ่มกับอาหาร, (ข) แผ่นวงจรที่บ่มกับอาหาร 9K, แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่บ่มกับเชื้อสายพันธุ์ (ค) YGD 1000, (ง) YGS 2.1 และ (จ) YGD 2.1.....	28
4.3 ลักษณะของเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (กำลังขยายของภาพ 1000 เท่า) เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0 (ก), 10 (ข) และ 500 มิลลิโมลาร์ (ค).....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการเปลี่ยนแปลงของโลกปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างกว้างขวาง ทำให้อุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์มีการเจริญเติบโตอย่างมาก จึงมีส่วนที่ส่งผลให้จำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพิ่มมากขึ้น เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต เครื่องใช้ไฟฟ้า และอื่นๆ เป็นต้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ สร้างความสะดวกสบายในการดำรงชีวิต ทั้งด้านความเป็นอยู่และด้านธุรกิจ ในปี 2019 ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกสูงถึง 53.6 ล้านเมตริกตัน ขยะอิเล็กทรอนิกส์หลายล้านเมตริกตันที่เกิดขึ้น มีขยะเพียงร้อยละ 17.4 เท่านั้นที่ถูกรวบรวม เพื่อส่งต่อไปยังสถานีรีไซเคิลอย่างเหมาะสม ทำให้ขยะอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีปริมาณเกือบเทียบเท่าบรรจุภัณฑ์พลาสติก (กรมอนามัยสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2558) ในปีประเทศไทย 2564 มีขยะอิเล็กทรอนิกส์ถึง 435,187 ตัน (คิดเป็นร้อยละ 65 ของของเสียอันตรายทั้งหมด) และมีการกำจัดอย่างถูกต้องเพียงร้อยละ 20 ส่วนที่เหลือถูกนำไปกองรวมกับขยะมูลฝอยอื่นๆ เพื่อรอการฝังกลบ (ทัศนธร, 2022) ภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พบว่า มีแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปประกอบไปด้วยวัสดุหลัก 3 ประเภท ได้แก่ 1. โลหะ เช่น ทองแดง ทองคำ แพลทินัม อะลูมิเนียม เหล็ก ตะกั่ว ดีบุก สังกะสี และนิกเกิล 2. พลาสติก เช่น โพลีเอทิลีน โพลีสไตรีน โพลีไวนิลคลอไรด์ เรซิน และยาง และ 3. แก้วและกระจก ซึ่งการรีไซเคิลวัสดุเหล่านี้ เบื้องต้นสามารถทำได้โดยเทคโนโลยีแตงแร่พื้นฐาน แต่สำหรับกรณีรีไซเคิลโลหะแล้วจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีโลหะวิทยาในการแยกสกัด (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2556) การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่เหมาะสมเหล่านี้ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัย โดยสารอันตรายจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ เช่น โลหะหนัก เมื่อนำไปฝังกลบสารเคมีจะปนเปื้อนในดิน แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน สารพิษจะเข้าสู่ระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหาร ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัย เช่น ความเป็นพิษของตะกั่ว จะมีผลทำลายระบบประสาท ระบบโลหิต การทำงานของไต ระบบสืบพันธุ์ เป็นต้น ถ้านำไปเผาก็เกิดกลิ่นเหม็น และเกิดสารมลพิษทางอากาศต่างๆ ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารไดออกซิน และพีวีแรน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (ทัศนธร, 2022)

ปัจจุบันมีหลายวิธีที่ใช้ในการชะละลายโลหะจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วิธีเชิงกล วิธีทางเคมีไฟฟ้า และวิธีทางกายภาพ ซึ่งวิธีที่กล่าวมาจะ

ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ แต่วิธีเหล่านี้ก็มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง และที่สำคัญวิธีเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พิษจากสารเคมี หรือการใช้พลังงานที่สูง ดังนั้น

ไม่ว่าการนี้... หวังสน... อีกทั้ง... ไม่มีเห็นแต่สิ่ง... และต้องอยู่... ของเอกสารที่... มาใช้

วิธีที่เป็นทางเลือกที่จะสามารถชะละลายโลหะในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือวิธีทางชีวภาพ โดยการใช้จุลินทรีย์มาช่วยในการกำจัดหรือย่อยสลายโลหะในแผ่นอิเล็กทรอนิกส์จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นวิธีที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด อีกทั้งยังสามารถนำโลหะมีค่ากลับมาใช้ใหม่

มาริสสา และคณะ (2563) ได้ทำการคัดแยกเชื้อ *Aspergillus* sp. ที่มีความสามารถในการทนต่อโลหะทองแดงได้ถึง 1000 มิลลิโมลาร์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง 9K จากนั้น พิรยา และคณะ (2564) ได้ทำการทดสอบการทนต่อโลหะหนักพบว่า *Aspergillus* sp. ทั้ง 4 สายพันธุ์ สามารถทนต่อโลหะหนักได้หลากหลายชนิด เช่น Aluminium, Zinc, Ferric, Litium, Manganese และจัดจำแนกเชื้อราดังกล่าวโดยใช้ 18S rRNA พบว่า เชื้อราทั้ง 4 คือสายพันธุ์คือ *Aspergillus turcosus* งานวิจัยนี้จึงจะทดสอบการชะละลายโลหะจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เชื้อ *Aspergillus turcosus* เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในกระบวนการ Bioleaching

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาความสามารถของ *Aspergillus turcosus* ในการชะละลายโลหะจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- 2) เพื่อศึกษากลไกการเกิด Bioleaching จากเชื้อ *Aspergillus turcosus*

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) ทดสอบความสามารถในการละลายโลหะทองแดงของ *Aspergillus turcosus* จากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- 2) ศึกษาการสะสมสารประกอบทองแดงภายในเซลล์ของ *Aspergillus turcosus*
- 3) ศึกษาการฟุ้งร่อนของโลหะทองแดงบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงกระบวนการ bioleaching ทองแดงจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ *Aspergillus turcosus*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การชะละลายทางชีวภาพ (Bioleaching)

แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board : PCB) เป็นแผ่นที่สร้างด้วยพลาสติกที่มีการฉาบผิวด้วยทองแดงเติมแผ่น ในปัจจุบันมีการวิจัย และพัฒนาเกี่ยวกับกัศลินโลหะต่างๆหลายชนิด เช่น ทองแดง สังกะสี ทองคำ และเงิน เป็นต้น จึงได้มีการนำวิธีการชะละลายทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์มาใช้ชะละลายโลหะต่างๆเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ๆได้ การชะละลายทางชีวภาพเป็นวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพสำหรับการกัศลินโลหะชนิดต่างๆ

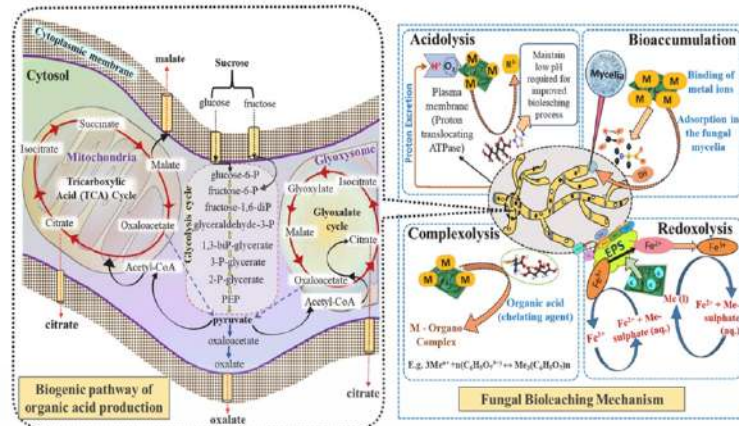
2.1.1 การชะละลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์

มีการศึกษาและพบว่าการกัศลินโลหะจากแร่ธาตุซัลไฟด์ ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของแบคทีเรียในกลุ่ม chemolithotrophic ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียในสกุล *Thiobacillus ferrooxidans* และ *T. thiooxidans* คุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปชะละลายโลหะ (กิตติพันธ์, 2551) ซึ่งเปลี่ยนโลหะซัลไฟด์ที่ไม่สามารถละลายน้ำให้เป็นโลหะซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ แร่และแร่ธาตุที่ไม่ใช่ซัลไฟด์สามารถใช้แบคทีเรียในกลุ่ม heterotrophic และเชื้อรา โดยการชะละลายโลหะเกิดจากการผลิตกรดอินทรีย์ สารประกอบคีเลตและ สารประกอบเชิงซ้อนที่ถูกขับออกมาจากตัวเซลล์สู่สิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างกลไกการชะละลายทางชีวภาพด้วยเชื้อรา แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- Acidolysis : $\text{NiO} + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Ni}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
- Complexolysis : $\text{Ni}^{2+} + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \longrightarrow \text{Ni}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)^- + 3\text{H}^+$
- Redoxolysis : $\text{MnO}_2 + 2\text{e}^- + 4\text{H}^+ \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ภาพรวมของวิถีชีวภาพในการผลิตกรดอินทรีย์ด้วยกลไกการชะทางชีวภาพของเชื้อรา ในการชะละลายโลหะจากแผ่นวงจรขยะอิเล็กทรอนิกส์

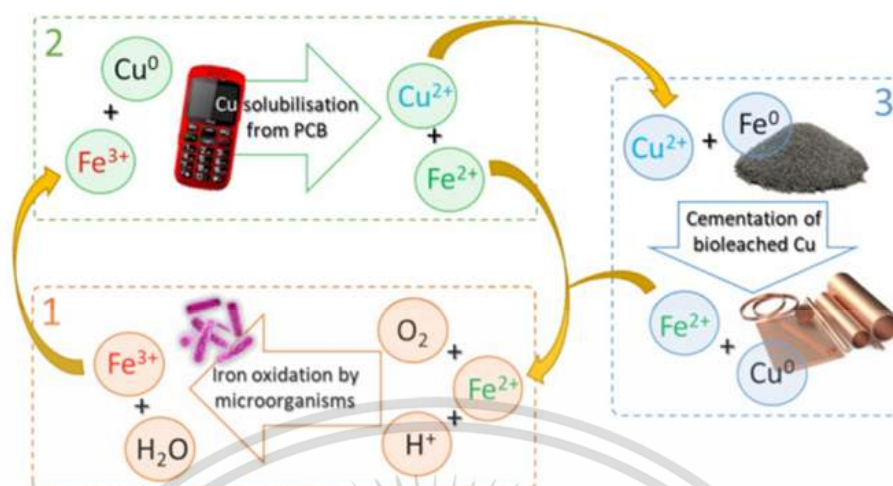
(ที่มา : Trivedi *et al.*, 2022)

ในปัจจุบันการชะละลายทางชีวภาพถูกใช้เป็นวิธีพื้นฐานสำหรับการนำทองแดง ทองคำ และ ยูเรเนียม กลับมาใช้ใหม่ การชะละลายทางชีวภาพยังมีศักยภาพในการกู้คืนโลหะและการล้างพิษของของเสียจากภาคอุตสาหกรรม ภาคตะกอนน้ำเสียและดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก การชะละลายทางชีวภาพและเกิดขึ้นในธรรมชาติที่มีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถชะละลายทางชีวภาพได้ (Klaus, 1997)

2.1.2 ขั้นตอนการชะละลายทางชีวภาพ

การกู้คืนทองแดงจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB) จากโทรศัพท์มือถือ ประกอบกระบวนการย่อยทางชีวภาพสองขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ ไอออนของ Fe(II) ถูกออกซิไดซ์ทางชีวภาพเป็น Fe(III) โดย *Acidithiobacillus ferrooxidans* ต่อมาขั้นตอนที่สองคือ ไอออน Fe (III) จะไปสัมผัสกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการละลายของทองแดง (รูปที่ 2.1) ในสภาวะที่ทดสอบ จากนั้นทองแดงจะถูกทำให้ตกตะกอนและแยกจากสารละลาย จากการศึกษาพบว่า ภายในเวลา 48 ชั่วโมง ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ความเข้มข้น 7.5 กรัม/ลิตร สามารถกู้คืนทองแดงได้ถึง 95–100% โดยวิธีดังกล่าวใช้ต้นทุนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Benzal *et al.*, 2020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การกู้คืนธาตุทองแดงจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยกระบวนการชะละลายทางชีวภาพ
สองขั้นตอน

(ที่มา : Benzal *et al.*, 2020)

2.1.3 ข้อดีของการชะละลายทางชีวภาพ

การชะละลายทางชีวภาพสามารถนำไปใช้ในการกู้คืนโลหะหนักที่มีมูลค่าได้ โดยการใช้จุลินทรีย์และการใช้เอนไซม์เป็นตัวกลางในการชะละลาย (Brandl *et al.*, 2001; Krebs *et al.*, 1997) การชะละลายทางชีวภาพได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเกิดมลพิษเพียงเล็กน้อยหรืออาจจะมีเลยในระหว่างการนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ซึ่งจัดว่าเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพ (Trivedi *et al.*, 2022) และเป็นข้อได้เปรียบทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมมากกว่าวิธีทางเคมี นอกจากนี้ ขั้นตอนยังง่ายไม่ซับซ้อน ใช้ต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานน้อย และไม่ต้องการแรงงานที่มีทักษะมาก (Mulligan *et al.*, 2004; Simate *et al.*, 2010) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เช่น การชะละลายด้วยสารเคมี พบว่าการชะละลายทางชีวภาพสามารถกู้คืนโลหะมีค่าจากแหล่งที่ความเข้มข้นต่ำได้ดีกว่า (Castro *et al.*, 2020; Liang and Gadd, 2017) ดังนั้นในปัจจุบันการชะละลายทางชีวภาพจึงเป็นที่สนใจและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board : PCB)

การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของขยะอิเล็กทรอนิกส์ (electronic wasteren : e-waste) และการจัดการกับขยะเหล่านี้ตามหลักวิทยาศาสตร์นั้นมีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมซึ่งแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board : PCB) นั้นเป็นหนึ่งในส่วนประกอบของขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีปริมาณโลหะสูง มีทั้งโลหะเป็นพิษและโลหะมีค่า ดังนั้นการนำโลหะกลับมาใช้ใหม่จึงมีความสำคัญไม่เพียงแต่เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อสุขภาพของสิ่งแวดล้อมแต่ยังรวมถึงการเติบโตทางเศรษฐกิจด้วย (Trivedi *et al.*, 2022)

2.2.1 องค์ประกอบของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

โดยทั่วไปแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ แผ่นรองและสารตัวนำหรือลายทองแดง แผ่นรองทำจากแผ่นฉนวนบางๆซึ่งยึดรวมกันด้วยสารประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermo-setting) (microlinepcb, 2010) นอกจากนี้ ยังมีส่วนประกอบที่เป็นพลาสติก และเซรามิกส์ โดยองค์ประกอบเคมีทั่วไปของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปในแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

องค์ประกอบ		ร้อยละโดยน้ำหนัก
โลหะ (40%)	ทองแดง (Cu)	20
	อะลูมิเนียม (Al)	2
	ตะกั่ว (Pb)	2
	สังกะสี (Zn)	1
	นิกเกิล (Ni)	2
	เหล็ก (Fe)	8
	ดีบุก (Sn)	4
	พลวง (Sb)	0.4
	ทอง (Au)	0.1
	เงิน (Ag)	0.2
	พลาตินั่ม (Pd)	0.005
เซรามิกส์ (30%)	แก้ว (SiO ₂)	15
	อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	6
	อัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ธออกไซด์ (Alkaline Oxide, Alkaline Earth Oxide)	6
	Titanates, Mica etc.	3
พลาสติก (30%)	Epoxies	4.8
	Polypropylene : PP	4.8
	Polyethylene : PE	9.9
	Polyesters	4.8
	Polyvinyl-chloride	2.4
	Polytetra-flouroethane	2.4
	Nylon	0.9

(ที่มา : Shuey *et al.*, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความเป็นพิษของโลหะในแผ่นวงจรรอิเล็กทรอนิกส์

2.2.2.1 ความเป็นพิษของสังกะสี

สังกะสีเป็นโลหะหนักที่ค่อนข้างหนักมักมีสีชาวน้ำเงิน สามารถทนการกัดกร่อนและถูกในอุตสาหกรรมพวกชุบโลหะ ภาชนะเคลือบโลหะ สังกะสีเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต โดยสังกะสีเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิดมีส่วนประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีทางชีวเคมีของร่างกาย เมื่อร่างกายได้รับปริมาณสังกะสีมากกว่า 100 มิลลิกรัม/วัน จะส่งผลต่อร่างกายในระยะยาวเป็นสารก่อมะเร็งในร่างกาย (สิรพงษ์, 2561) เมื่อมีความเข้มข้นที่สูงถึง 20 ppm จะส่งผลทำให้โครโมโซมหัก และความเข้มข้น 30 ppm จะส่งผลทำให้เกิดการแบ่งเซลล์ที่ผิดปกติ (ศุภลักษณ์, 2557)

2.2.2.2 ความเป็นพิษของอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมเป็นธาตุโลหะหนักที่พบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวันอะลูมิเนียมบริสุทธิ์จะมีสีขาวเงิน เป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบาและอ่อน แข็งแรง สามารถตัดหรือยึดตัวได้ง่าย ความหนาแน่นน้อย นำความร้อนได้ดี ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมอากาศยานในการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างของเครื่องบิน เป็นต้น (สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2557) ในภาคครัวเรือน อะลูมิเนียมถูกใช้ในการผลิต หม้อต้ม จาน ช้อน หรือภาชนะใส่อาหาร จากการสำรวจภาชนะอะลูมิเนียมที่ไม่มีคุณภาพ ส่งผลทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะมีการปนเปื้อนของสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง และเมื่อนำไปใส่ อาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะทำให้เกิดการกัดกร่อน หรือทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของอะลูมิเนียมออกมากับอาหารที่รับประทานเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆตามมามโดยจากการรายงานขององค์กร ระหว่างประเทศ หรือ World Health Organization (WHO) และ European food safety authority (EFSA) พบว่าอะลูมิเนียมเป็นธาตุที่เป็นพิษต่อระบบประสาทและในผู้ป่วยโรคไตมีความเสี่ยงที่จะทำให้เป็นโรคอัลไซเมอร์หรือโรคเกี่ยวข้องกับระบบประสาท แต่ในปัจจุบันก็ยังไม่สามารถระบุชี้ชัดได้ถึงสาเหตุของ โรคอัลไซเมอร์ มีเพียงปัจจัยแนวโน้มจากอายุ พันธุกรรม และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆเท่านั้น (สำนักคุณภาพ และความปลอดภัยอาหาร, 2017)

2.2.2.3 ความเป็นพิษของเหล็ก

เหล็กเป็นธาตุที่สามารถพบได้มากที่สุด เป็นธาตุที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิต มักพบในดินที่อยู่ในรูปแบบของเฟอร์ริกออกไซด์และซัลไฟด์ เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ มี pH เป็นกลาง (กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข, 2558) เมื่อธาตุเหล็กถูกสะสมในร่างกายสูงเกินไป

ความจำเป็นจะส่งผลทำให้ระบบต่างๆในร่างกายผิดปกติ เช่น ความดันเลือดลดลง เลือดแข็งตัวช้า แต่เมื่อได้รับธาตุเหล็กน้อยเกินไปหรือร่างกายขาดธาตุเหล็ก จะทำให้การสังเคราะห์เม็ดเลือดแดงในร่างกายลดน้อยลง มีผลต่อผู้ป่วยที่เป็นโรคโลหิตจาง (ธีรนาถ, 2563)

2.2.2.4 ความเป็นพิษของทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะที่พบได้ตามธรรมชาติในรูปของแร่ที่เป็นสารประกอบซัลไฟด์ เป็นของแข็ง ที่มีความคมเหนียว และเนื้ออ่อน สามารถดัดให้มีรูปร่างตามที่ต้องการได้ ทนทานต่อการกัดกร่อนสูง และสามารถเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย ปริมาณทองแดงในร่างกายของคนปกติมีค่าประมาณ 80-120 มิลลิกรัม จะถูกสะสมมากในตับและสมอง เมื่อร่างกายมีปริมาณทองแดงมากเกินไป จะส่งผลให้เกิดการอาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย เม็ดเลือดถูกทำลาย มีภาวะความดันโลหิตสูง เกิดความเป็นพิษทำลายเซลล์จนตาย รวมถึงเปลี่ยนแปลงชีวเคมีภายในเซลล์ เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมและโครโมโซม ภูมิคุ้มกันร่างกายเสื่อม และเกิดการผิดปกติทางจิต (Adminsaj, 2021)

2.2.2.5 ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่พบในสิ่งแวดล้อม มีสีเงินปนเทา มีลักษณะอ่อนไม่เปราะ หลอมเหลวได้ง่าย สามารถทำให้อ่อนและดัดแปลงรูปร่างลักษณะต่างๆได้ตามต้องการ มีการนำไฟฟ้าได้ไม่ดี แต่มีความคงทนต่อการสึกกร่อน ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ผลิตรถยนต์ ผลิตหรือรีไซเคิลตะกั่ว โรงพิมพ์ เป็นต้น เมื่อร่างกายได้รับสารตะกั่วจะส่งผลทำให้ระบบของร่างกาย เช่น ระบบประสาท ระบบเม็ดเลือด ระบบสืบพันธุ์และระบบไต เกิดความผิดปกติ (อรพันธ์, 2557)

2.2.3 การสร้างขยะจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก

ในปัจจุบันการใช้ชีวิตของมนุษย์มีการพึ่งพาเทคโนโลยีกันมากขึ้น ทำให้มีทิศทางการต้องการอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการสร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์อย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน (Ghimire and Ariya, 2020; Hazra *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019) ในปี 2019 มีการการสร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกเพิ่มขึ้นประมาณ 53.6 ล้านเมตริกตัน (Mt) คาดว่าภายในปี 2573 จะมีปริมาณการผลิตขยะอิเล็กทรอนิกส์ถึง 74.4 ล้านเมตริกตัน (Forti *et al.*, 2020) ซึ่งขยะอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก มีประมาณ 3-6% ของน้ำหนักโดยรวม (Zhang *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์น้ำหนักจะแตกต่างกันไปตามประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในปี 2019 แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์คิดเป็น

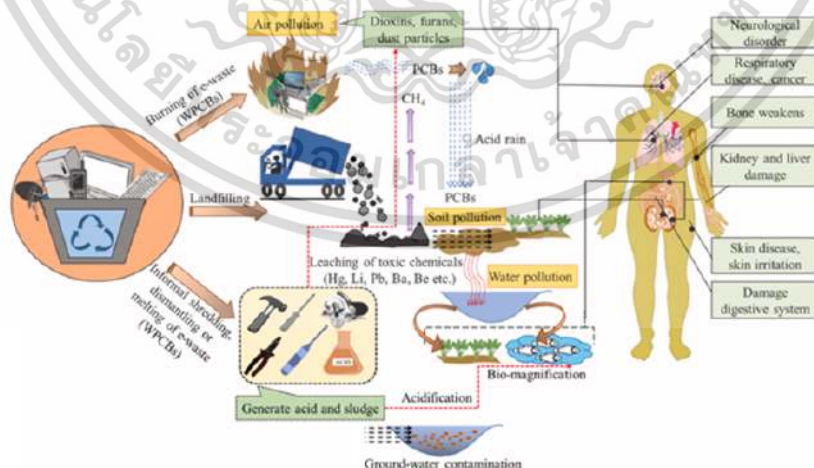
1.2 ล้านตันของขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่สร้างขึ้นจากทั่วโลก โดยมีเพียง 34% (คิดเป็น 0.4 ล้านเมตริกตัน) ที่ได้รับการรับรองว่ามีวิธีการรีไซเคิลอย่างเป็นทางการ (Balde *et al.*, 2022) จากราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานที่เผยแพร่โดยสถาบันเพื่อการฝึกอบรมและการวิจัยแห่งสหประชาชาติ (UNITAR) รายงานว่าทวีปเอเชียมีการสร้างขยะจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นอันดับหนึ่งของโลก ด้วยการสร้างขยะจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด 0.6 ล้านเมตริกตัน ในขณะที่ยุโรปสร้าง 0.3 ล้านเมตริกตันและอเมริกา 0.3 ล้านเมตริกตัน อยู่ในอันดับที่สองและสาม ตามลำดับ (Balde *et al.*, 2022) นอกจากนี้ ยุโรปยังมีการสนับสนุนการรวบรวมและการรีไซเคิลแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์สูงสุด (61%) ในปีนั้น ตามมาด้วยอเมริกา (44%) โอเชียเนีย (31%) เอเชีย (17%) และแอฟริกา (13%) นอกจากนี้ยังมีการส่งออกและนำเข้าแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นขยะคิดเป็นประมาณ 0.3 ล้านตันทั่วโลก โดยยุโรปและอเมริกามีส่วนสนับสนุนประมาณ 87% ของการส่งออกทั้งหมด เมื่อเทียบกับเอเชียที่มีการนำเข้ามากกว่า 31% ของขยะจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ในขณะที่ส่งออกเพียง 10% เท่านั้นส่งผลทำให้ประเทศผู้รับที่มีความสามารถในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ไม่เพียงพอ และมีภาระจากของเสียอันตรายเพิ่มมากขึ้น (Trivedi *et al.*, 2022)

2.2.4 การจัดการและผลกระทบของขยะแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการและการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นที่น่าสนใจเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดการจัดการที่ไม่เหมาะสม และการกำจัดขยะแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ (Barba-Gutiérrez *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2021b) ดังรูปที่ 2.3 แม้ว่ามีการรีไซเคิลเบื้องต้นอาจกำจัดองค์ประกอบบางอย่างของขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้ แต่ยังมีปริมาณขยะมหาศาลที่ยังคงต้องนำไปฝังกลบอยู่ (Robinson, 2009)



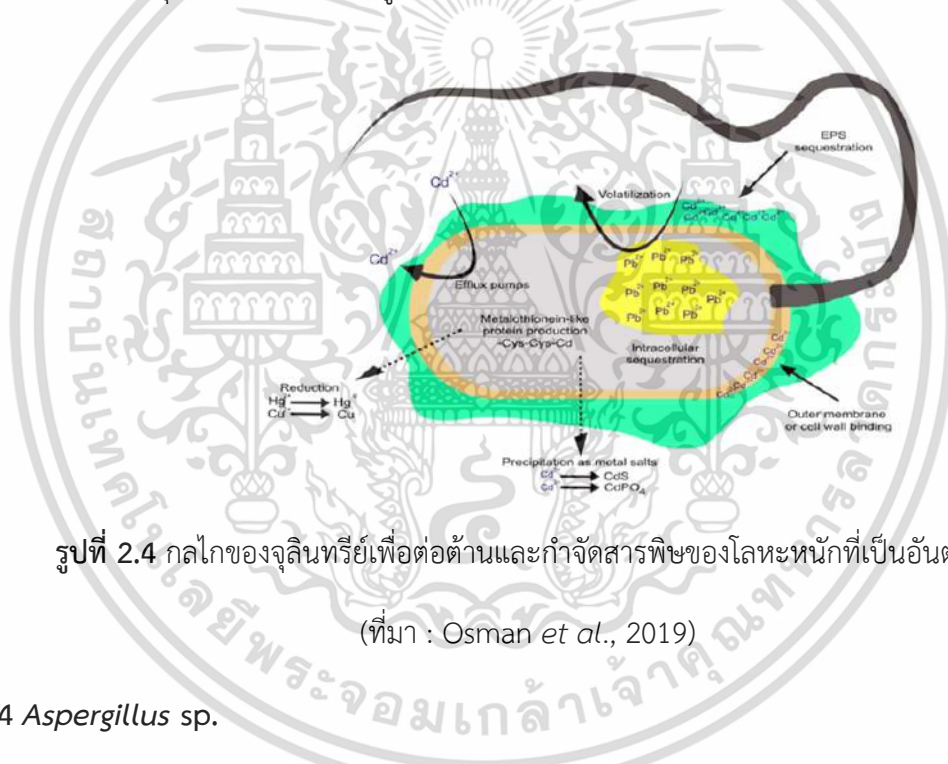
รูปที่ 2.3 แผนผังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์อันเนื่องมาจากการจัดการขยะ

อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ถูกต้อง (ที่มา : Trivedi *et al.*, 2022)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียงการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้รับใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความสามารถในการต้านทานต่อโลหะหนักของจุลินทรีย์

โลหะหนักส่วนใหญ่มีความเป็นพิษต่อเซลล์จุลินทรีย์ ไม่ว่าจะโลหะนั้นจะอยู่ในรูปประจุบวกและประจุลบ หรือโลหะที่ไม่สามารถถูกรีดิวซ์ได้ซึ่งเป็นรูปที่มีความเฉื่อยล้วนเป็นพิษต่อเซลล์ โลหะหนักบางตัวเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ต่างๆที่เซลล์ผลิตขึ้น ดังนั้นเซลล์จึงจำเป็นต้องได้รับโลหะหนักเหล่านี้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยสำหรับการชีวิตอยู่ โลหะที่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ได้แก่ โคบอลต์ แมงกานีส นิกเกิล และสังกะสี ส่วนโลหะที่จุลินทรีย์ไม่จำเป็นต้องใช้ และมีความเป็นพิษต่อเซลล์สูงได้แก่ แอนติโมนี อาร์ซีนิก บิสมัท แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว พรอท และเทลลูเรียม โดยทั่วไปในสิ่งแวดล้อมที่มี การปนเปื้อนสารประกอบโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง เช่น ในดินและน้ำ กลไกการต้านทานไอออนโลหะ คือ ไอออนโลหะจะเข้าและออกเซลล์โดยผ่านกระบวนการขนส่ง ไอออนของเซลล์จุลินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



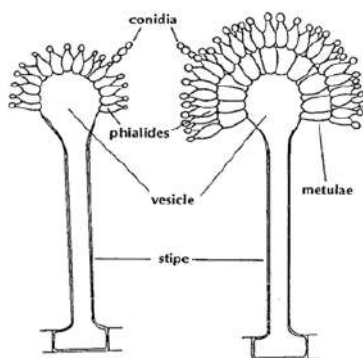
รูปที่ 2.4 กลไกของจุลินทรีย์เพื่อต่อต้านและกำจัดสารพิษของโลหะหนักที่เป็นอันตราย

(ที่มา : Osman *et al.*, 2019)

2.4 *Aspergillus sp.*

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา *Aspergillus sp.* โคลนินของราจะมีสีขาว สีเหลือง สีเหลืองอมเขียว บางชนิดอาจมีสีน้ำตาลจนถึงสีดำ เส้นใยเจริญเติบโตได้ดี ไม่มีสีหรือสีอ่อน (hyaline หรือ subhyaline) และมีผนังกัน (septum hypha) มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างสปอร์หรือโคนิเดีย (conidia) ก้านชูสปอร์มีลักษณะเป็นก้านยาวไม่แตกกิ่งส่วนปลายของก้านชูสปอร์มีลักษณะโป่งออกเป็นเวสิเคิล (vesicle) และมีส่วนที่ยื่นออกมาเป็นสเตอร์ริกมา (sterigma) มี 1 ชั้นหรือ 2 ชั้น ทำหน้าที่สร้างสปอร์ และสปอร์มีการสร้างติดต่อกันเป็นลูกโซ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ *Aspergillus* sp.

(ที่มา : <https://www.google.com/search?q=Aspergillus%20sp.&tbm=isch>)

2.4.1 สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ

เชื้อรา *Aspergillus* sp. มีความต้องการความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในการเจริญที่แตกต่างกัน เช่น *A. flavus* ต้องการความชื้นสัมพัทธ์ 80-90% และอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเจริญได้คือ 6-8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 36-38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถเจริญได้คือ 44-46 องศาเซลเซียส *A. niger* ต้องการความชื้นสัมพัทธ์ 80-90% มีอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเจริญได้คือ 6-8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 35-37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถเจริญได้คือ 46-48 องศาเซลเซียส (โสพิศ, 2540) และเชื้อรา *Aspergillus* sp. สามารถเจริญในสภาวะที่มีค่า aw ใกล้เคียงกับ 0.99 และมีค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญอยู่ระหว่าง 2-10.5 (นฤมล, 2546) เนื่องจากมีสภาวะในการเจริญที่หลากหลาย จึงส่งผลให้เชื้อราชนิดนี้สามารถพบได้ง่ายทั่วไปในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

2.4.2 ประโยชน์และโทษของ *Aspergillus* sp.

เชื้อรามีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ได้หลากหลายชนิด เพื่อย่อยสลายสารอาหารและดูดซึม สารอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (สำนักงานชั้นสูงตรสารอาหารสุข, 2561) พบว่ามักมีการนำเชื้อราไปใช้ประโยชน์ ในด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารหมัก เช่น การผลิตนมเปรี้ยว โยเกิร์ต และเต้าเจี้ยว เชื้อรา *A. niger* มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์บีตา-กาแลคโตซิเดส (β -galactosidase) กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) อะไมเลส (amylase) และไลเปส (lipase) ซึ่งถูกนำมาใช้ในเอกสารนี้ อุตสาหกรรมมีหลายประเภท เช่น การผลิตผงซักฟอก การนำไปใช้ในทางเภสัชกรรม เช่น เป็นส่วนการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

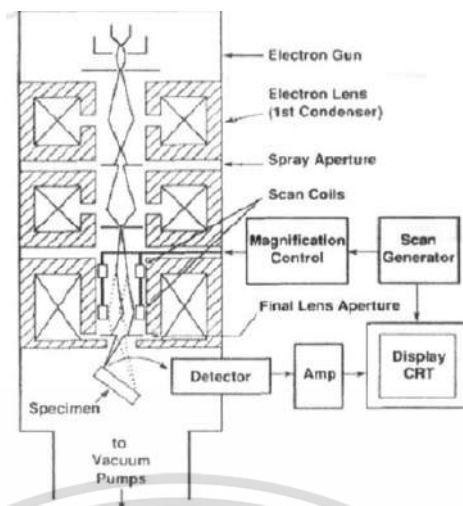
ประกอบในผลิตภัณฑ์ยาช่วยย่อย (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2542) และในงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า เชื้อราชนิดนี้สามารถใช้ในการชะละลายโลหะได้ (Acharya *et al.*, 2002)

เชื้อราในกลุ่มนี้มักปนเปื้อนในวัตถุดิบประกอบอาหาร และผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าวโพด เมล็ดธัญพืช ถั่วชนิดต่างๆ และผลไม้ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต และก่อโรคในสิ่งมีชีวิตที่รับประทานเข้าไป อีกทั้งเชื้อราในกลุ่มนี้ยังเป็นสาเหตุการตายของโรคที่เกิดจากเชื้อเป็นอันดับที่สามอีกด้วย (Fascr *et al.*, 1979) โรคที่เกิดขึ้นอาจเกิดที่ปอด ระบบประสาท ผิวหนัง จมูก หู ตา และเล็บ นอกจากนี้ *Aspergillus* บางสายพันธุ์สามารถสร้างสารพิษได้ เช่น aflatoxin และ ochratoxin สารพิษจากเชื้อร่าก่อให้เกิดพยาธิสภาพของโรค เช่น การทำให้ตับเป็นพิษโดยสาร flatoxins และการทำลายเซลล์ไตด้วยสาร ochratoxin (ศูนย์พิษวิทยารามาธิบดี, 2548)

2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งที่ทำภาพชิ้นงานโดยอาศัยหลักการกราดไปบนพื้นผิวตัวอย่างด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด (Electron gun) เมื่ออิเล็กตรอนดังกล่าวกระทบกับผิวชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จะปล่อยสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ องค์ประกอบของพื้นผิวและคุณสมบัติอื่นๆ เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนประกอบของ SEM ประกอบไปด้วยส่วนบนสุดเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (electron gun) อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งมีสภาพสุญญากาศ ด้วยความต่างศักย์เร่ง (Accelerating Voltage) ในช่วง 0-30 kV โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมด้วยแอฟเพอเจอร์ (aperture) หรือช่องเปิดที่มีลักษณะต่างๆ กันตามลักษณะการใช้งาน (दनัย, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(ที่มา : https://soreda.oas.psu.ac.th/files/944_file_Chapter4.pdf)

เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรก ที่เรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์อิเล็กตรอน (electron optics) เพราะเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบอัดอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากแหล่งกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กเป็นส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ชุดสุดท้าย จะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน (electron beam) ให้ไปตกบนผิวของตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ (scan coil) ทำหน้าที่กราดลำอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวของตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวอย่างบริเวณที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนจะเกิดสัญญาณ (Signal) ต่างๆ ขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกัน และ SEM จะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (Detector) ชนิดต่างๆ เหล่านั้น แล้วส่งไปประมวลผลเป็นภาพแสดงบนจอภาพต่อไป (दनัย, 2547)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jin Ho Joo *et al.*, (2012) พบว่า *Aspergillus niger* สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มี Zn^{2+} ในอาหารแข็ง PDA เมื่อเทียบกับชุดควบคุม

Ahmed *et al.*, (2022) ได้ทำการคัดแยกเชื้อราจากโรงกลั่นปิโตรเลียมในประเทศอียิปต์ ซึ่งทำการคัดแยกและได้เชื้อราสายพันธุ์ *Aspergillus sp.* AHM 69 ทำการเพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก Fe^{3+} และ CO^{2+} ที่ความเข้มข้นของโลหะ 400 และ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร พบเชื้อราที่มีชีวิตหลังการเพาะเลี้ยง 0.5% และ 0.4 ในโลหะ Fe^{3+} และ CO^{2+} ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หลังสัมผัสกับโลหะเป็นเวลา 180 นาที ที่อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส ที่ pH 4.5-5 จากการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์พบว่ามีการดูดซับทางชีวภาพและการสะสมโลหะบนพื้นผิวของชีวมวลดังกล่าว

Catherine N Mulligana *et al.*, (2014) ได้ศึกษาวิจัยโดยใช้เชื้อรา *Aspergillus niger* เพื่อชะละลายโลหะหนักโดยใช้เทคนิค biohydrometallurgical จากงานวิจัยพบว่า *A. niger* มีศักยภาพที่ดี ในการสร้างกรดอินทรีย์ซึ่งมีประสิทธิภาพในการละลายโลหะหนัก ซึ่งทองแดง สังกะสี และนิกเกิลสามารถละลายได้สูงสุด 68% 46% และ 34% ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้ใช้เชื้อรา *A. niger* เพื่อที่จะนำโลหะกลับมาใช้ใหม่จากเหมืองแร่เนื่องจากโลหะเหล่านี้ปะปนเป็นจำนวนมากอยู่ในเหมืองแร่

Sadia Qayyum *et al.*, (2019) ได้คัดแยกสายพันธุ์ของเชื้อราในดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักโดยระบุได้ว่าเป็นเชื้อรา *Aspergillus flavus* โดยพบว่าเมื่อใช้ซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน ที่ pH 7 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการชะละลายทางชีวภาพ สำหรับการกำจัดโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยวิธีการชะละลายทางชีวภาพ แบ่งออกเป็นการชะละลายทางชีวภาพแบบขั้นตอนเดียวประสิทธิภาพการชะละลายทางชีวภาพของโลหะหนัก (Pb) 18.16%, (Cd) 49.66% และ (Zn) 65.73% ประสิทธิภาพในการชะละลายทางชีวภาพแบบสองขั้นตอน ประสิทธิภาพการชะละลายทางชีวภาพของโลหะหนัก (Pb) 16.91%, (Cd) 39.77% และ (Zn) 58.22%

Xiangfeng Zeng *et al.*, (2015) ได้ทำการวิจัยเชื้อรา *Aspergillus niger* SY1 ที่แยกได้จากดินตะกอนของแม่น้ำซีเหอ ประเทศจีน โดยพบว่าเชื้อรา *A. niger* SY1 สามารถชะละลายโลหะ Pb 65.4%, Cd 99.5%, Cu 71.9% และ Zn 76.4 % โดยเชื้อรา *A. niger* SY1 สามารถกำจัดโลหะหนักในดินตะกอนที่ปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Anna G. Villalba *et al.*, (2018) พบว่าระดับความทนทานของเชื้อรากับโลหะหนักอาจมีความแตกต่างกันเนื่องจากความแปรผันของกลไกความต้านทานต่อโลหะ และเชื้อราเส้นสายบางชนิดสามารถทนต่อสังกะสีได้เนื่องจากกลไกการดูดซึมและแลกเปลี่ยนภายในและนอกเซลล์ เชื้อรา *Aspergillus niger* สามารถ เจริญได้ใน $HgCl_2$ ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ แต่ไม่เจริญที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ของ Cd, Pb, Zn และ Cr เชื้อราเจริญเติบโตน้อยลง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และพบว่า *Aspergillus niger* ทนต่อโลหะสังกะสีที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 15 และ 20 มิลลิโมลาร์ และจากงานวิจัยอ้างอิงอื่นๆ พบว่า *Aspergillus flavus* สามารถเจริญได้ดีและมีความทนทานต่อ Pb ถึง 100 ppm

Catherine N Mulligan *et al.*, (2003) ได้ทำการศึกษาการชะละลายทางชีวภาพของทองแดงและโลหะอื่นๆ จากเหมืองแร่โดยใช้เชื้อรา *Aspergillus niger* ATCC 6275 เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวและบ่มเขย่าที่ 20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 เอกสารนี้ น้ำที่และกรองส่วนใสเหนือตะกอนโดยใช้กระดาษกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตรว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวัดความเข้มข้นของโลหะในส่วนใสเหนือตะกอนโดย Perkin Elmer Atomic Absorption model Analyst 100

มาริสสา และคณะ (2564) ได้ตัดแยกเชื้อราในสกุล *Aspergillus* sp. ทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่สามารถทนต่อสารประกอบทองแดงได้ที่ความเข้มข้นสูงถึง 1000 เท่า และยังสามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด คาดว่า *Aspergillus* sp. ดังกล่าวน่าจะสามารถใช้ในกระบวนการชะละลายทางชีวภาพของโลหะได้

ต่อมา พิริยา และคณะ (2565) ได้จัดจำแนกเชื้อราในสกุล *Aspergillus* sp. จำนวน 4 สายพันธุ์ และทำการทดสอบความสามารถในการเจริญของเชื้อราในสภาวะที่มีโลหะหนักหลายชนิด พบว่าเชื้อราทั้ง 4 สายพันธุ์ คือ *Aspergillus turcosus* ซึ่งมีความสามารถเจริญได้ใน CuSO_4 ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ และสามารถทนต่ออะลูมิเนียม เหล็ก ลิเทียม สังกะสี และแมงกานีสได้ และจากงานวิจัยของ Seung-Beom Hong *et al.*, (2007) ได้รายงานไว้ว่า เชื้อราดังกล่าวมีลักษณะโคโคโคนีเหมือนกำมะหยี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42-51 มิลลิเมตร สปอร์มีสีเทาถึงเทาอมเขียว ขอบโคโคโคนีเป็นเส้นใยสีขาว เมื่อใช้เชื้อทดสอบนอกกลุ่มทำให้มีการบำบัดโลหะหนักทางชีวภาพในน้ำสูง ซึ่งประกอบไปด้วยโลหะดังนี้ Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , As^{3+} , Cd^{2+} และ Cr^{6+} นอกจากนี้ยังมีศักยภาพต่อการดูดซึมค่า BOD, TOC, COD, TSS, TDS, BTX, PAHs, TPHs, ฟีนอล, น้ำมัน และจารบีพร้อมกับการเกิดสี และความขุ่นในน้ำทิ้งของโรงกลั่น (Ahmed M. AhmedEl-Bondkly *et al.*, 2022) ซึ่งจากคุณสมบัติเหล่านี้ เชื้อ *Aspergillus turcosus* จึงมีความสามารถในการใช้เป็นจุลินทรีย์ทำ Bioremediation ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทดสอบการชะละลายโลหะจากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และทดสอบการลดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟต เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในกระบวนการ Bioremediation ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมืออุปกรณ์

- 3.1.1 ตู้บลมร้อน (Hot air oven)
- 3.1.2 เครื่องปั่นเหวี่ยง
- 3.1.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 3.1.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
- 3.1.5 เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
- 3.1.6 เข็มเย็บเชื้อ (hook)
- 3.1.7 ห่วงเย็บเชื้อ (Loop)
- 3.1.8 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร (250 ml Erlenmeyer flask)
- 3.1.9 กระจดาชกรอง 0.45 μm
- 3.1.10 ตู้บ่มเพาะเชื้อแบบเขย่า
- 3.1.11 ตู้บ่มเพาะเชื้อ (incubator)
- 3.1.12 แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB)
- 3.1.13 เครื่องปั่นเหวี่ยง
- 3.1.14 คีม
- 3.1.15 เครื่องกรองสูญญากาศ
- 3.1.16 ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 3.1.17 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำแรงดันสูง (autoclave)
- 3.1.18 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (compound microscope)
- 3.1.19 ตู้ปลอดเชื้อ (laminar flow cabinet)
- 3.1.20 จานเพาะเชื้อพลาสติก
- 3.1.21 สไลด์และกระจกปิดสไลด์ (Slide and Coverslip)
- 3.1.22 ออโต้ปิเปต (Automatic pipette)
- 3.1.23 ปิเปตทิป (Pipette tip)
- 3.1.24 เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.25 Haemocytometer
- 3.1.26 Microplate reader
- 3.1.27 96 well plate
- 3.1.28 หลอดเซ้นติฟิวส์ (Centrifuge Tube)
- 3.1.29 ผ้าขาวบาง

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 เอทานอล 70%
- 3.2.2 เอทานอล 95%
- 3.2.3 น้ำกลั่นปราศจากเชื้อ (Distilled water)
- 3.2.4 อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง Potato Dextrose Agar (PDA) (ภาคผนวก ก)
- 3.2.5 อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 9K (ภาคผนวก ก)
- 3.2.6 อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง 9K (ภาคผนวก ก)
- 3.2.7 สีย้อม Lactophenol Cotton Blue
- 3.2.8 0.1% tween-80

3.3 แหล่งที่มาของเชื้อรา

เชื้อราที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการคัดแยกของ มาริสา และคณะ (2563) โดยมีทั้งหมด 4 สายพันธุ์คือ YGS 1.1, YGD 1000, YGS 2.1 และ YGD 2.1 และจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าทั้ง 4 สายพันธุ์นี้เป็นเชื้อราในสกุล *Aspergillus turcosus* (พริยา และคณะ, 2564) ซึ่งมีคุณสมบัติและความสามารถในการใช้เป็นจุลินทรีย์ทำ Bioleaching

3.4 การทดสอบการชะละลายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board : PCB)

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB)

ตัดแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้ได้ขนาด 1×1 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำน้ำหนักเริ่มต้นของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แล้วจذبันทึบไว้ จากนั้นนำไปล้างด้วยเอทานอล 70% ทิ้งไว้ให้แห้ง เพื่อนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.4.2 การเตรียมหัวเชื้อ

นำเชื้อ *Aspergillus turcosus* ทั้งหมด 4 สายพันธุ์คือ YGS 1.1, YGD 1000, YGS 2.1 และ YGD 2.1 ที่คัดแยกโดย มาริสสา และคณะ (2563) จาก stock culture มาเพาะเลี้ยงลงในอาหารแข็ง Potato Dextrose Agar (PDA) นำไปที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปทำ Spore suspension ดังนี้ โดยหยด 0.1% tween-80 เพียงเล็กน้อยลงบนจานอาหาร PDA ที่เพาะเชื้อไว้ จากนั้นทำการขูดสปอร์ด้วยห่วงเช็ยเชื้อ (loop) ให้ทั่วผิวน้ำอาหารแข็ง กรองสปอร์ที่ขูดได้ลงในหลอด 50 มิลลิลิตร ที่ปิดปากด้วยผ้าขาวบาง 3 ชั้นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เพื่อให้ได้เพียงสปอร์ จากนั้นนับสปอร์โดย Haemocytometer และคำนวณ Spore suspension ปรับความเข้มข้นของสปอร์สารแขวนลอยให้ได้เท่ากับ 2×10^7 สปอร์/มิลลิลิตร (ภาคผนวก ข)

3.4.3 การเลี้ยงเชื้อกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB)

นำ Spore suspension เชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์คือ YGS 1.1, YGD 1000, YGS 2.1 และ YGD 2.1 ที่ได้จากข้อ 3.4.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในอาหารเหลว 9k ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในหลาส์ก ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากข้อ 3.4.1 จำนวน 3 แผ่นต่อ 1 หลาส์ก บ่มเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน โดยมีชุดควบคุมที่หนึ่งคือ อาหารเหลว 9K ที่ใส่เชื้อแต่ไม่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ชุดควบคุมที่สอง คือ อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อแต่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และเมื่อทำการเพาะเลี้ยงเชื้อเสร็จแล้ว ทำการแยกแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอาหารเลี้ยงเชื้อออกจากกันเพื่อนำแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอาหารเลี้ยงเชื้อไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

สังเกตการเจริญของเชื้อเมื่อครบ 21 วัน โดยนำอาหารเลี้ยงเชื้อจากหลาส์กหยดลงบนอาหารแข็ง และ PDA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหลือนำไปใส่หลอดเหินตีฟิวส์ (Centrifuge Tube) จากนั้นนำไปใส่ลงในเครื่องหมุนเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

3.4.4 การวัดน้ำหนักแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB)

หลังจากแยกแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากข้อ 3.4.3 นำไปล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล 70% ที่แห้งให้แห้ง จากนั้นนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 30 นาที และนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณหาน้ำหนักที่หายไป (ภาคผนวก ข)

3.4.5 การตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning electron microscope (SEM)

นำส่งตัวอย่างไปตรวจสอบที่ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับ SEM ดังนี้ นำตัวอย่างวางลงบนแผ่นวางตัวอย่าง (Stub) ที่มีแผ่น Carbon tape อยู่ จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ลงในเครื่องเคลือบทอง (Sputter coater) ตั้งเวลาในการเคลือบ 120 วินาที ที่ 20 mA 1kV ซึ่งความหนาคำนวณได้จากสูตร

$$D = KIVt$$

D The coating thickness in angstrom units

K An experimentally determined constant based on : For gold used with Argon,
K = 0.17 approx

I Is plasma current, in mA

V Is the applied voltage, in kV

T Is the sputtering time, in seconds

เมื่อทำการเคลือบตัวอย่างด้วยทองคำแล้ว จะได้ตัวอย่างที่นำไฟฟ้า พร้อมทั้งจะนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Brand : EMcraft, Model : Cube II, ประเทศเกาหลี) ในโหมด High Vacuum โดยใช้ชุดตรวจวัดสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electrons detector : SED) ในการถ่ายภาพ ใช้ ETV target ประมาณ 10 keV ระยะการทำงาน (Working Distance) ประมาณ 5 มิลลิเมตรและกำลังขยายวัตถุ (Magnification) ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำไปตรวจสอบมีดังนี้ คือ

- 1) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้นที่ไม่ได้นำไปปมกับอาหาร
- 2) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากชุดควบคุมที่ 2
- 3) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จาก YGD 1000
- 4) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จาก YGS 2.1
- 5) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จาก YGD 2.1

หมายเหตุ : ชุดควบคุมที่ 2 คือ อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อแต่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

3.5 การทดสอบการลดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟตในอาหารเหลว

3.5.1 การเลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟต

นำหัวเชื้อที่เตรียมโดยวิธีในข้อ 3.4.2 โดยเลือกใช้สายพันธุ์ YGD 1000 มาทดสอบ เลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว 9K ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์ ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ปมเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน โดยมีชุดควบคุมคือ อาหารเหลวที่ไม่ใส่เชื้อ

3.5.2 การตรวจสอบเส้นใยของเชื้อรา

นำอาหารเลี้ยงเชื้อ 9K จากข้อ 3.5.1 หลังจากครบ 14 วัน ใช้ทวงเขี่ยเชื้อ (loop) เขี่ยตะกอนเส้นใยเชื้อราข้างพลาสติกที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน มาส่องดูลักษณะของเส้นใยภายใต้จุลทรรศน์แบบใช้แสง (compound microscope) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และนำอาหารเลี้ยงเชื้อ 9K ไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

3.5.3 การวัดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟต

นำอาหารเลี้ยงเชื้อ 9K จากข้อ 3.5.2 มาหยดลงบนอาหารแข็ง 9K ที่มีการเติมคอปเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้นเท่ากับตัวอย่าง เพื่อทดสอบการมีชีวิตของเชื้อรา อาหารเลี้ยงเชื้อที่เหลือนำไปใส่หลอดเซ้นติฟิวส์ (Centrifuge Tube) และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นการดูดส่วนใส 200 ไมโครลิตร ใส่ 96 well plate นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 845 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (พีรยา และคณะ, 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล







4.1 การเลี้ยงเชื้อกับแผ่นวอร์อิเล็กทรอนิกส์ (PCB)

จากผลการทดลองนำ Spore suspension ของเชื้อ *Aspergillus turcosus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ คือ YGS 1.1, YGS 2.1, YGD 2.1 และ YGD 1000 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในอาหารเหลว 9k และใส่แผ่นวอร์อิเล็กทรอนิกส์ขนาด 1x1 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่นต่อ 1 ฟลasks บ่มเย้าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน โดยมีชุดควบคุมดังนี้ คือ

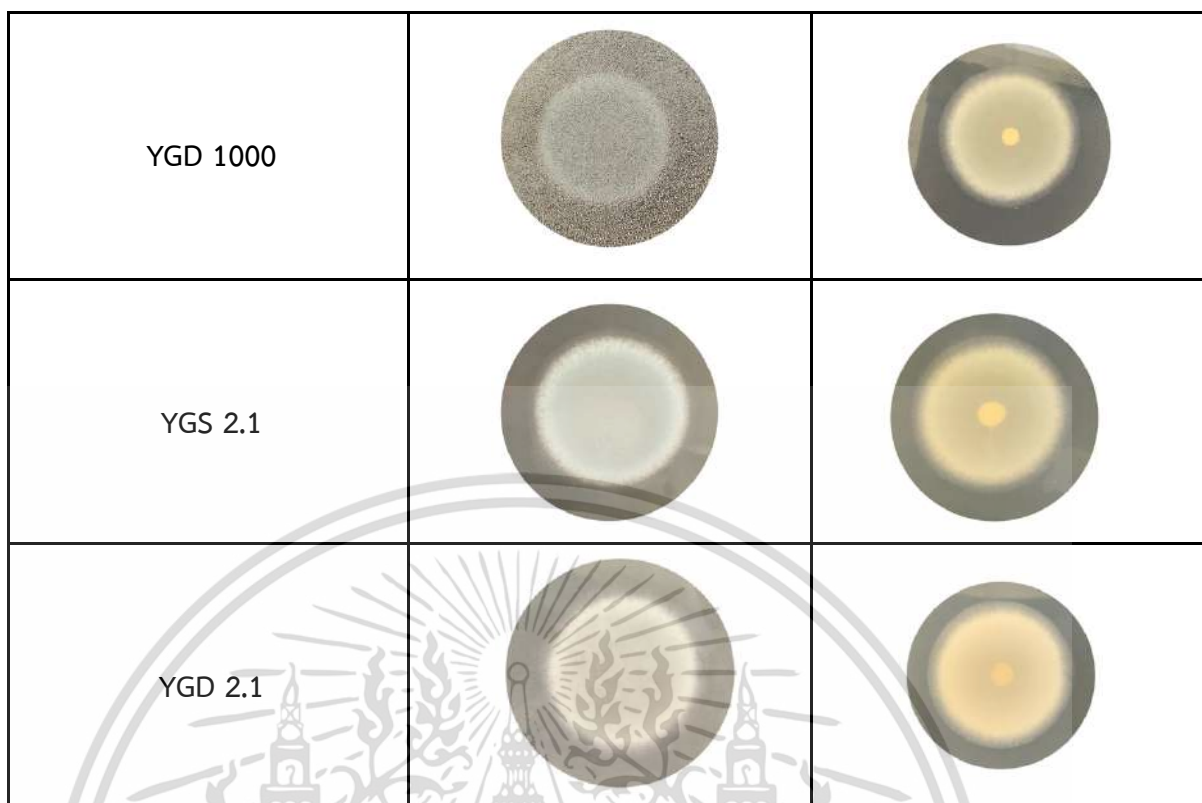
ชุดควบคุมที่ 1 : อาหารเหลว 9K ที่ใส่เชื้อแต่ไม่ใส่แผ่นวอร์อิเล็กทรอนิกส์

ชุดควบคุมที่ 2 : อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อแต่ใส่แผ่นวอร์อิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 4.1 การเจริญของเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์บนอาหารแข็ง PDA หลังบ่มกับแผ่นวอร์อิเล็กทรอนิกส์

ชุดทดสอบ	ลักษณะบนโคโลนี	ลักษณะใต้โคโลนี
ชุดควบคุมที่ 1		
ชุดควบคุมที่ 2		
YGS 1.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : ชุดควบคุมที่ 1 คือ อาหารเหลว 9K ที่ใส่เชื้อแต่ไม่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
ชุดควบคุมที่ 2 คือ อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อแต่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

สังเกตการเจริญของเชื้อโดยนำอาหารเลี้ยงเชื้อจากพลาสติกหยดลงบนอาหารแข็ง PDA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน พบการเจริญของเชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ ดังตารางที่ 4.1 โดยเชื้อที่เจริญบนอาหารแข็ง PDA มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ทราบได้ว่าแม่เลี้ยงเชื้อร่วมกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เชื้อก็ยังคงมีชีวิตอยู่ และมีการสร้างสปอร์เกิดขึ้นหนาแน่นบริเวณตรงกลางโคโลนี โดยมีลักษณะโคโลนีคล้ายกำมะหยี่ สปอร์มีสีเขียวมเทา เส้นใยอ่อนสีขาว

เมื่อนำอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหลือนำไปใส่หลอดเซนต์ปีฟวส์ (Centrifuge Tube) จากนั้นนำไปใส่ลงในเครื่องเหวี่ยงเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบกับปริมาณตะกอนของชุดควบคุม ให้ผลดังนี้คือ เชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ มีตะกอนในปริมาณค่อนข้างมาก โดยเฉพาะเชื้อ YGD 100, YGS 2.1, และ YGD 2.1 ส่วนสายพันธุ์ YGS 1.1 มีปริมาณตะกอนใกล้เคียงกับตะกอนของชุดควบคุม (ตารางที่ 4.2)

เมื่อสังเกตการเจริญของเชื้อบนอาหารแข็ง PDA กับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น พบว่าเชื้อสายพันธุ์เอกสารนี้เดียวกันมีปริมาณตะกอนที่ไม่เท่ากัน อาจเกิดจากตะกอนของอาหารเหลว 9K ที่ปะปนอยู่ร่วมกับไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนเซลล์ ซึ่งอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนผสมของโลหะหนักนั้นอาหารสามารถเกิดตะกอนได้ จากการทดลองของ Chihiro Inoue, (2009) ได้ทำการเลี้ยงเชื้อ *Acidithiobacillus ferrooxidans* ในอาหารเหลว 9K ซึ่งเมื่อทำการเลี้ยงเชื้อครบ 2 วัน อาหารเหลว 9K มีตะกอนเกิดขึ้น ซึ่งโลหะหนัก Fe(II) ในอาหารได้ออกซิไดซ์ไปเป็น Fe(III) ทำให้อาหารเหลว 9K นั้นเกิดตะกอน

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นหลังเลี้ยงเชื้อกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ชุดทดสอบ	ตะกอนเซลล์
ชุดควบคุมที่ 1	
ชุดควบคุมที่ 2	
YGS 1.1	
YGD 1000	
YGS 2.1	
YGD 2.1	

หมายเหตุ : ชุดควบคุมที่ 1 คือ อาหารเหลว 9K ที่ใส่เชื้อแต่ไม่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์





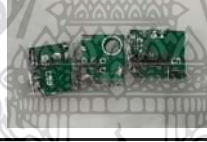







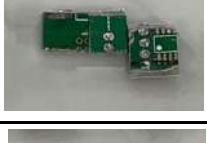
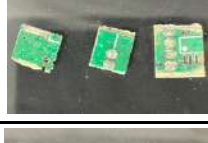


ชุดควบคุมที่ 2 คือ อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อแต่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดน้ำหนักแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB)

หลังจากแยกแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ พบลักษณะการผุกร่อนของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งส่วนบางจุดหลุดหายไป และมีคราบตะกอนของอาหารติดอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 4.3 ลักษณะของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก่อนและหลังจากเลี้ยงเชื้อ

ชุดทดสอบ	ลักษณะแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก่อนเลี้ยงเชื้อ	ลักษณะแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลังเลี้ยงเชื้อ
ชุดควบคุมที่ 1	-	-
ชุดควบคุมที่ 2		
YGS 1.1 (1)		
YGS 1.1 (2)		
YGD 1000 (1)		
YGD 1000 (2)		
YGS 2.1 (1)		
YGS 2.1 (2)		
YGD 2.1 (1)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่หรือใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหาที่ปรากฏในเอกสารทุกประการ



หมายเหตุ : ชุดควบคุมที่ 1 คือ อาหารเหลว 9K ที่ใส่เชื้อแต่ไม่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
ชุดควบคุมที่ 2 คือ อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อแต่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
(1) และ (2) คือ จำนวนซ้ำ

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละน้ำหนักของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่หายไปหลังเลี้ยงเชื้อ

ชุดทดสอบ / แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นที่	ก่อนเลี้ยงเชื้อ			หลังเลี้ยงเชื้อ 21 วัน			ค่าเฉลี่ยร้อยละ น้ำหนักที่ หายไป
	1	2	3	1	2	3	
ชุดควบคุม 1	-	-	-	-	-	-	-
ชุดควบคุม 2	0.3156	0.3205	0.3219	0.2802	0.2938	0.2775	11.1135
YGS 1.1 (1)	0.3174	0.3357	0.2681	0.2930	0.3023	0.2467	8.5396
YGS 1.1 (2)	0.4234	0.3448	0.3730	0.4002	0.3048	0.3519	7.5790
YGD 1000 (1)	0.3459	0.3807	0.3458	0.2945	0.3352	0.3160	11.7356
YGD 1000 (2)	0.4106	0.2726	0.3504	0.3758	0.2515	0.3220	8.1070
YGS 2.1 (1)	0.3860	0.4103	0.2981	0.3449	0.3650	0.2715	10.2036
YGS 2.1 (2)	0.2959	0.3212	0.5161	0.2719	0.2976	0.4778	7.6264
YGD 2.1 (1)	0.2775	0.2907	0.4148	0.2597	0.2661	0.3799	7.7635
YGD 2.1 (2)	0.2976	0.2871	0.2551	0.2683	0.2675	0.2264	9.3076

หมายเหตุ : ชุดควบคุมที่ 1 คือ อาหารเหลว 9K ที่ใส่เชื้อแต่ไม่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
ชุดควบคุมที่ 2 คือ อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อแต่ใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
(1) และ (2) คือ จำนวนซ้ำ

นำแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทราบน้ำหนักมาบ่มรวมกับเชื้อ *Aspergillus turcosus* ทั้ง 4 สายพันธุ์ ในอาหารเหลว 9K เมื่อบ่มครบ 21 วัน แยกแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น และเอทานอล 70% ทั้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ เป็นเอกสารนี้เป็นการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 30 นาที และนำไปชั่งน้ำหนัก (ภาคผนวก ค) เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำหนักที่หายไป แสดงในตารางที่ 4.4

จากผลการทดลองพบว่าน้ำหนักที่หายไปของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีค่าน้อยมาก เมื่อนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำหนักแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่หายไป เมื่อนำผลไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อทดสอบความแตกต่างความแปรปรวน พบว่า เชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่าความแปรปรวนมาก ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความเหมือนหรือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้ (ภาคผนวก ค) ดังนั้นวิธี การชั่งน้ำหนักจึงไม่สามารถบอกถึงความสามารถในการชะละลายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเชื้อได้ จึงได้นำแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปตรวจสอบพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อตรวจสอบการผุกร่อนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

4.3 การตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

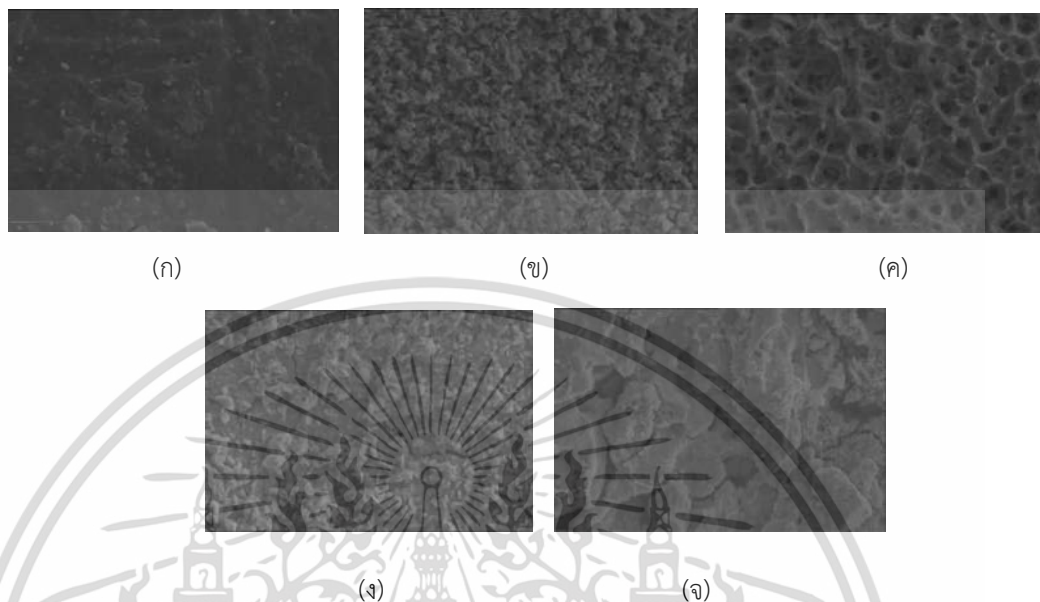
จากการตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือ Scanning electron microscope (SEM) ยี่ห้อ EMCraft รุ่น Cube II กำลังขยาย 5000 เท่า ตัวอย่างแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่นำไปตรวจสอบมีดังนี้ คือ

- 1) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้นที่ไม่ได้นำไปบ่มกับอาหาร
- 2) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากชุดควบคุมที่ 2
- 3) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จาก YGD 1000
- 4) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จาก YGS 2.1
- 5) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จาก YGD 2.1

หมายเหตุ : ชุดควบคุมที่ 2 คือ แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่บ่มกับอาหารเหลว 9K ที่ไม่ได้ใส่เชื้อ

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากรูปที่ได้ แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากชุดควบคุมที่ 2 (ข) มีการชะละลายของพื้นผิวออกไปเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอาหารเหลว 9K นั้นมีความเป็นกรด มีค่า pH อยู่ที่ประมาณ 2-2.3 อาจทำให้เกิดการชะละลายพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่บ่มกับเชื้อ *Aspergillus turcosus* แล้ว ลักษณะของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่บ่มกับเชื้อนั้น จะเกิดการชะละลายและผุกร่อน สามารถสังเกตการเกิดหลุมลึกกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างชัดเจน โดยสายพันธุ์ที่ชะละลายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ดีที่สุดคือ YGD 1000 และ YGD 2.1 ตามลำดับ ส่วน YGS 2.1 ไม่พบหลุมลึกบนพื้นผิวแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ เมื่อตรวจสอบการมีชีวิตของเชื้อหลังจากบ่มกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเชื้อยังคงมีชีวิตอยู่ เนื่องจากสามารถสังเกตการเจริญของเชื้อได้บนอาหาร PDA ดังแสดงในตารางที่ 4.1

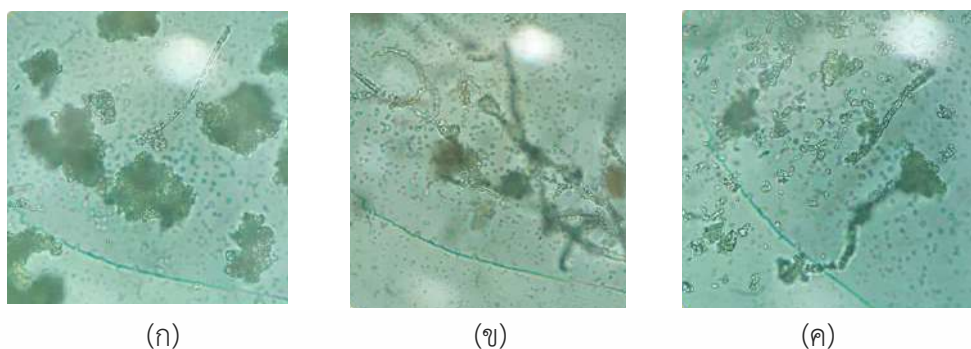


รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายใต้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยายของภาพ 5000 เท่า (ก) แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้นที่ไม่ได้นำไปบ่มกับอาหาร, (ข) แผ่นวงจรที่บ่มกับอาหาร 9K, แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่บ่มกับเชื้อสายพันธุ์ (ค) YGD 1000, (ง) YGS 2.1 และ (จ) YGD 2.1

4.4 การลดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟตในอาหารเหลว

นำอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์ ที่บ่มครบ 14 วัน ใช้ห่วงเช็ยเชื้อ (loop) เช็ยตะกอนเส้นใยเชื้อราข้างพลาสติก มาตรวจสอบลักษณะของเส้นใยภายใต้จุลทรรศน์แบบใช้แสง (compound microscope) ที่กำลังขยายภาพ 1000 เท่า พบว่าเชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร 9K ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต 0 และ 10 มิลลิโมลาร์ เส้นใยมีลักษณะโปร่งแสง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) และรูปที่ 4.3 (ข) ส่วนที่ความเข้มข้นที่ 500 มิลลิโมลาร์ รูปที่ 4.3 (ค) เส้นใยมีลักษณะทึบแสง คาดว่าอาจเกิดจากเชื้อราที่มีการสะสมโลหะหนักเข้าไปในผนังเซลล์ โดยเชื้อราที่เป็นเส้นใยมีความสามารถในการสะสมไอออนโลหะไว้ในผนังของไมซีเลียมและสปอร์ได้ (Siddiquee *et al.*, 2015; Iqir *et al.*, 2018; Naveena and Latha, 2018) นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะของเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (กำลังขยายของภาพ 1000 เท่า) เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0 (ก), 10 (ข) และ 500 มิลลิโมลาร์ (ค)

จากงานวิจัยของ มาริสา และคณะ (2563) เชื้อ *Aspergillus* sp. ทั้ง 4 สายพันธุ์ เมื่อนำไปเลี้ยงในอาหาร 9K ที่มีการเติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 20, 50, 100, 500 และ 1000 มิลลิโมลาร์ พบว่าเชื้อสายพันธุ์ YGD 1000 มีสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหาร 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเชื้อสายพันธุ์ YGD 1000 มาทดสอบการลดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟตในอาหารเหลว โดยนำเชื้อสายพันธุ์ YGD 1000 มาเลี้ยงในอาหาร 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์ หลังจากเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 14 วัน นำอาหารเลี้ยงเชื้อมาหยดลงบนอาหารแข็ง 9K ที่มีการเติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นเท่ากับอาหารเหลวก่อนหน้า นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่าเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหาร 9K (ตารางที่ 4.5) แสดงว่าเชื้อยังคงมีชีวิตอยู่หลังจากเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มีคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้นสูง







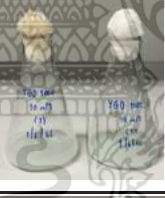





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ลักษณะโคโลนีหลังบ่ม 7 วัน บนอาหารแข็ง 9K ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต เท่ากับอาหารเหลวก่อนหน้า

อาหารแข็ง 9K มีความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (มิลลิโมลาร์)	อาหารเหลวที่ไม่ได้ใส่เชื้อ	YGD 1000
0		
10		
500		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ลักษณะก่อนและหลังเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ 9K ที่มีเติมคอปเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์

ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต(มิลลิโมลาร์) / เวลา (วัน)	0	14
ชุดควบคุม 0		
ชุดทดสอบ 0		
ชุดควบคุม 10		
ชุดทดสอบ 10		
ชุดควบคุม 500		
ชุดทดสอบ 500		

หมายเหตุ : ชุดควบคุม คือ อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อ

ชุดทดสอบ คือ อาหารเหลว 9K ที่ใส่เชื้อ YGD 1000

(1) และ (2) คือ จำนวนซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสังเกตตะกอนสีเหลืองได้ในอาหารเหลว 9K ทั้งที่ไม่มีการเติมและมีการเติมคอปเปอร์ซัลเฟต อาหารมีสีที่ต่างออกไปจาก 0 วัน อย่างเห็นได้ชัด และมีคราบตะกอนหนาข้างพลาสติกเกิดขึ้น (ตารางที่ 4.6) ซึ่งจากผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ที่เมื่อนำอาหารเหลว 9K ที่บ่มกับเชื้อและแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาปั่นเหวี่ยง ซึ่งสามารถสังเกตตะกอนของอาหาร 9K ได้ ถึงแม้ว่าจะไม่มีการเติมคอปเปอร์ซัลเฟต ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงสอดคล้องกับการทดลองของ Chihiro Inoue, (2009) ที่กล่าวว่าตะกอนของอาหาร 9K เกิดจาก Fe(III)

ตารางที่ 4.7 ค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเลี้ยงเชื้อ 9K ที่ความยาวคลื่น 845 นาโนเมตร ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้นที่ 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์

ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (มิลลิโมลาร์)	ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ย
0	ชุดควบคุม (1)	1.5102
	ชุดควบคุม (2)	1.3585
	ชุดทดสอบ (1)	2.2727
	ชุดทดสอบ (2)	2.1432
10	ชุดควบคุม (1)	1.8925
	ชุดควบคุม (2)	1.7715
	ชุดทดสอบ (1)	1.45
	ชุดทดสอบ (2)	1.775
500	ชุดควบคุม (1)	3.8867
	ชุดควบคุม (2)	3.5965
	ชุดทดสอบ (1)	4.0237
	ชุดทดสอบ (2)	4.0545

หมายเหตุ : ชุดควบคุม คือ อาหารเหลว 9K ที่ไม่ใส่เชื้อ

ชุดทดสอบ คือ อาหารเหลว 9K ที่ใส่เชื้อ YGD 1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นให้พิมพ์เผยแพร่โดยไม่แสวงหาผลกำไรและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการนำส่วนของอาหารเลี้ยงเชื้อใส่ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่าค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0 และ 500 มิลลิโมลาร์ ชุดทดสอบมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุม และอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ชุดทดสอบมีค่าเฉลี่ยลดลงจากชุดควบคุม (ตารางที่ 4.7) ซึ่งแนวโน้มไม่เป็นไปตามสมมติฐาน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อดูค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้นที่ 0,10 และ 500 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตที่เพิ่มขึ้น โดยคอปเปอร์ซัลเฟตสามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วง 400-1000 นาโนเมตร (ใส และอภิญญา, 2560) แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ความยาวคลื่นที่ 845 นาโนเมตร ตามการศึกษาของ มาริสา และคณะ (2563) ซึ่งได้ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของคอปเปอร์ซัลเฟตในอาหารเหลว 9K พบว่า ที่ความยาวคลื่น 845 นาโนเมตร ให้ค่าการดูดกลืนแสงดีที่สุด ดังนั้นการทดลองนี้อาจจะควรเพิ่มการทดสอบหรือใช้วิธีการวิเคราะห์คอปเปอร์ซัลเฟตด้วยวิธีอื่น เช่น การวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเลี้ยงเชื้อ *Aspergillus turcosus* ทั้ง 4 สายพันธุ์คือ YGS 1.1, YGD 1000, YGS 2.1 และ YGD 2.1 กับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว 9K และสังเกตการเจริญของเชื้อ โดยนำอาหารเลี้ยงเชื้อมาหยดลงบนอาหารแข็ง PDA พบว่าเชื้อที่เจริญบนอาหารแข็ง PDA มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ทราบได้ว่าแม่เลี้ยงเชื้อพร้อมกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เชื้อก็ยังคงมีชีวิตอยู่ และมีการสร้างสปอร์เกิดขึ้นหนาแน่นบริเวณตรงกลางโคโลนี โดยมีลักษณะโคโลนีคล้ายกำมะหยี่ สปอร์มีสีเขียวอมเทา เส้นใยอ่อนสีขาว และเมื่อนำไปปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที มีตะกอนในปริมาณค่อนข้างมาก โดยเฉพาะเชื้อ YGD 100, YGS 2.1, และ YGD 2.1 ส่วนสายพันธุ์ YGS 1.1 มีปริมาณตะกอนใกล้เคียงกับตะกอนของชุดควบคุม เมื่อสังเกตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใส่ในอาหารเหลว 9K พบลักษณะการฟุ้งร่อนของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และจากผลน้ำหนักรายวันของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีค่าน้อยมาก เมื่อนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำหนักแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่หายไป พบว่า เชื้อทั้ง 4 สายพันธุ์ มีความแปรปรวนสูง ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติได้ จึงไม่สามารถบอกถึงความสามารถในการชะละลายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเชื้อได้ จึงได้นำแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปตรวจสอบที่พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อตรวจสอบการฟุ้งร่อนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สามารถสังเกตการเกิดหลุมลึกกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างชัดเจน โดยสายพันธุ์ที่ชะละลายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ดีที่สุดคือ YGD 1000 และ YGD 2.1 ตามลำดับ ส่วน YGS 2.1 ไม่พบหลุมลึกบนพื้นผิวแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และจากการลดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟตในอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์ ที่บ่มครบ 14 วัน มาตรวจสอบลักษณะของเส้นใยภายใต้จุลทรรศน์แบบใช้แสง (compound microscope) ที่กำลังขยายภาพ 1000 เท่า พบว่าเชื้อราที่เลี้ยงในอาหาร 9K ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต 0 และ 10 มิลลิโมลาร์ เส้นใยมีลักษณะโปร่งแสง ส่วนที่ความเข้มข้นที่ 500 มิลลิโมลาร์ เส้นใยมีลักษณะทึบแสง คาดว่าอาจเกิดจากเชื้อราที่มีการสะสมโลหะหนักเข้าไปในผนังเซลล์ และเชื้อสายพันธุ์ YGD 1000 มีความเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหาร 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ เมื่อนำอาหารเหลว 9K ที่บ่มครบ 14 วันแล้ว มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 845 นาโนเมตร พบว่า ค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มไม่เป็นไปตามสมมติฐาน จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบปริมาณสารคอปเปอร์ซัลเฟตในอาหารเหลว 9K ด้วยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.อาหารเหลว 9K มีการตกตะกอนซึ่งปนอยู่กับตะกอนเซลล์หลังเลี้ยงเชื้อ ทำให้เราไม่สามารถแยกตะกอนอาหารกับตะกอนเซลล์ออกจากกันได้ จึงควรหาวิธีการแยกตะกอนทั้งสองออกจากกันเพื่อนำไปหาน้ำหนักแห้ง (Dry Cell Weight) โดยการเจริญเติบโตของเชื้อ

2.การวัดการสุกก่อนของแผ่นวงจรีเล็กทรอนิกส์ โดยหาจากน้ำหนักของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่หายไป พบว่าน้ำหนักที่หายไปของแผ่นวงจรีเล็กทรอนิกส์มีค่าน้อยมาก และ มีค่าความแปรปรวนมาก ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความเหมือนหรือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้ ดังนั้นวิธีการชั่งน้ำหนักจึงไม่สามารถบอกถึงความสามารถในการชะละลายแผ่นวงจรีเล็กทรอนิกส์ของเชื้อได้ จึงควรมีการหาวิธีอื่นเพื่อเพิ่มความเสถียรของการวัดการสุกก่อน เช่น ทำให้อิเล็กทรอนิกส์เป็นผงก่อนนำไปชั่ง

3.การวัดปริมาณคอปเปอร์ซัลเฟต เมื่อดูค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเหลว 9K ที่เติมคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้นที่ 0,10 และ 500 มิลลิโมลาร์มีแนวโน้มไม่เป็นไปตามสมมติฐาน ดังนั้นการทดลองนี้ ควรเพิ่มการทดสอบหรือใช้วิธีการวิเคราะห์คอปเปอร์ซัลเฟตด้วยวิธีอื่น เช่น การวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2556. “ทองแดงในขยะอิเล็กทรอนิกส์” [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2566. เข้าถึงได้จาก <http://www.dpim.go.th/purchase/article?catid=228&articleid=4818>
- กรมอนามัยสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2558. “ขยะอิเล็กทรอนิกส์”. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 มิถุนายน 2566. เข้าถึงได้จาก <http://env.anamai.moph.go.th>
- दनัย กิจชัยนุกูล, 2547. “เรื่อนำรู่ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)(เอกสารอัดสำเนา,ม.ป.ท.,2547), 2-4.
- ทัศนธร ภูมิยุทธ์, 2022. “E-Waste ขยะใกล้ตัวที่รอกการแก้ปัญหา”. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2566. เข้าถึงได้จาก <http://www.onep.go.th>
- ธีรนาถ สุวรรณเรือง. 2563. “โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อสุขภาพ” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2566 เข้าถึงได้จาก : วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2563 สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
- บริษัทS.A.J.I.(THAILAND)CO.,LTD.,2021.,“ทองแดง (Copper) ประโยชน์และพิษทองแดง” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2566 เข้าถึงได้จาก <https://sa-thai.com/ทองแดง-copper-ประโยชน์-และพิษ/>
- ผศ.ดร.พิมเพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ,2542.“ประโยชน์ของเชื้อรา *Aspergillus sp.*” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2566 เข้าถึงได้จาก : <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/8593/2/Fulltext.pdf>
- ผศ.ดร.นฤมล มาแทน, 2546.“ค่า pH และ aw ที่เหมาะสมของ *Aspergillus sp.*” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2566 เข้าถึงได้จาก : <https://essentialoil.wu.ac.th/wp-content/uploads/2018/01/72907>
- พรไพฑูรย์ เหล่าสมบัติทวี. 2557, การเก็บกลับคืนโลหะจากขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยวิธีการหลอมแบบรีดักชัน. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 30 ธันวาคม 2565. เข้าถึงจาก : <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/44368>
- ศูนย์พิษวิทยารามาธิบดี, 2548. “โทษของเชื้อรา *Aspergillus sp.*” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2566 เข้าได้จาก : <https://med.mahidol.ac.th/poisoncenter/th/pois>
- ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ, 2557. “ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทุ่นบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90 °E” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2566 เข้าถึงได้จาก : วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหา
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บันทึก, สาขาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2557. “แหล่งที่สามารถพบทองแดง” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2566 เข้าถึงได้จาก: <https://www.chi.co.th/article/article-85>
- สิริพงศ์ สุตาจาม, 2561. "การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักในน้ำใต้ดินบริเวณหลุมฝังกลบ ของเสียที่ไม่อันตราย จังหวัดราชบุรี"[ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2565 เข้าถึงได้จาก : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยศิลปากร
- อรพันธ์ อันติมานนท์ และคณะ, 2557. “สารตะกั่ว:ผลกระทบต่อสุขภาพจากอาชีพและสิ่งแวดล้อม” สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2566 เข้าได้จาก <https://he01.tci-haijo.org/index.php/DCJ/DCJ/article/download/153952/112076/>
- เปรมฤดี และคณะ, 2554.เทคโนโลยีการจัดการซากแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (Ed.) (pp. 148).
- โสพิศ สว่างจิต, 2540., “ลักษณะทั่วไปของ *Aspergillus* sp. ” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2566 เข้าถึงได้จาก : http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Plant_Pathology/2541/Bs/SopitSj/SopitSjAll.pdf
- ไสว ศิลา และอภิญา นวคุณ., 2560., “การวิเคราะห์โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์แบบง่ายโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2566 เข้าได้จาก <https://science.buu.ac.th/ojs246/index.php/sci/article/download/1614/1483>
- Ana G. Villalba – Villalba, Martin E. Cruz – Campas and Grecia V. Azuara – Gomez (2018) “*Aspergillus niger* Tiegh isolated in Sonora Mexico : Metal tolerance evaluation” African Journal of Microbiology Research Vol.3(2) pp.035-048 [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2566 เข้าถึงได้จาก : <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.03.023>
- Ahmed Mohamed Ahmed EL-Bondkly, Mervat Morsy Abbas Ahmed EL-Gendy., 2022 “Bioremoval of some heavy metals from aqueous solutions by two different indigenous fungi *Aspergillus* sp. AHM69 and *Penicillium* sp. AHM96 isolated from petroleum refining wastewater” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2566 เข้าถึงได้จาก : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022011422>
- Brandl, H., Bosshard, R., Wegmann, M., 1999. Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. Process Metall 9, 569–576. [https://doi.org/10.1016/S1572-4409\(99\)80146-1](https://doi.org/10.1016/S1572-4409(99)80146-1).

Barba-Gutiérrez, Y., Adenso-Diaz, B., Hopp, M., 2008. An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation. *Resour. Conserv. Recycl.* 52 (3), 481–495.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.06.002>.

Catherine N Mulligan, Mahtab Kamalia, (2003). “Bioleaching of copper and other metals from low-grade oxidized mining ores by *Aspergillus niger*” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ วันที่ 21 กรกฎาคม 2565 เข้าถึงได้จาก : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/>

เมื่อ 21 พฤษภาคม 2566 เข้าถึงได้จาก : https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.830?casa_token=rhp1Xzfl2c0AAAAA:wddz47ogZimJKIqoildHXz6M33x92sydV3yYx9b8dmWd6ER6JAMtZlTMu465GN1qYYC1ayyssaLMHrOLpj

Chihiro Inoue. 2009. Iron-oxidizing bacteria. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม 2566. เข้าถึงจาก : https://2009.igem.org/Team:Tokyo_Tech/Iron-oxidizing_bacteria

Catherine N Mulligana, Mahtab Kamalia และ Bernard F Gibbsbc., (2014) “Bioleaching of heavy metals from a low-grade mining ore using *Aspergillus niger*” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2566 เข้าถึงได้จาก : *Journal of Hazardous Materials*

Castro, L., Blaázquez, M.L., Muñoz, F.G., J.A., (2020). Bioleaching of phosphate minerals using earth elements. *Metals (Basel)* 10.

<https://doi.org/10.3390/met10070978>.

Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R., Bel, G., (2020). The Global E-Waste Monitor 2020: Quantities, Flows, and the Circular Economy Potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.

Ghimire, H., Ariya, P.A., (2020). E-wastes: bridging the knowledge gaps in global production budgets, composition, recycling and sustainability implications. *Sustain. Chem.* 1 (2), 154–182. <https://doi.org/10.3390/suschem1020012>.

Igiri, B. E., Okoduwa, S. I. R., Idoko, G. O., Akabuogu, E. P., Adeyi, A. O., and Ejiogu, I. K. (2018). Toxicity and bioremediation of heavy metals contaminated ecosystem from tannery wastewater?: a review. *J. Toxicol.* 2018:2568038

Jin Ho Joo and Khalid A. Hussein (2012) “Heavy Metal Tolerance of Fungi Isolated From Contaminated Soil” *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(4), 565-571 (2012) [ออนไลน์]

เอกสารนี้เป็นเอกสารสืบค้นเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2566 เข้าถึงได้จาก : <http://dx.doi.org/10.7745/โชนด้านการค้า>
ไม่ว่ากรณีใดๆ KJSSF.2012.45.4.565 ดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mulligan, C.N., Kamali, M., Gibbs, B.F., (2004). Bioleaching of heavy metals from a low-grade mining ore using *Aspergillus niger*. *J. Hazard. Mater.* 110, 77–84.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.040>.
- Naveena, J., and Latha, L. (2018). Fungal cell walls as protective barriers for toxic metals. *Adv. Med. Biol.* 53:19.
- Trivedi, A., Vishwakarma, A., Saawarn, B., Mahanty, B., & Hait, S. (2022). Fungal biotechnology for urban mining of metals from waste printed circuit boards: A Review. *Journal of Environmental Management*, 323, 116133.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116133>
- Robinson, B.H., 2009. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Sci. Total Environ.* 408, 183–191.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.044>.
- Shuey, S. A., Vildal, E. E., & Taylor, P. R. (2004, 23-25 February). *A Review of Pyrometallurgical Treatment of Electronic Scrap*. Paper presented at the SME Annual Meeting, Denver, Colorado, USA.
- Siddiquee, S., Rovina, K., and Azad, S. A. (2015). Heavy metal contaminants removal from wastewater using the potential filamentous fungi biomass: a review. *J. Microb. Biochem. Technol.* 7, 384–393. doi: 10.4172/1948-5948.1000243
- Sadia Qayyum , Ke Meng , Sierra Pervez , Faiza Nawaz และ Changsheng Peng., (2019) “Optimization of pH, temperature and carbon source for bioleaching of heavy metals by *Aspergillus flavus* isolated from contaminated soil” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 16 เมษายน 2566 เข้าถึงได้จาก : Journal Main Group Metal Chemistry Volume 42 Issue 1
- Volume 110, Issues 1–3 Chottiwatt, (2020). “Biomining” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 13 ธันวาคม 2565 เข้าถึงได้จาก : <https://spaceth.co/biomining/>
- Xiang feng Zeng, Shuhe Wei, Lina Sun, David A. Jacques, Jiaxi Tang, Meihua Lian, Zhanhua Ji, Jun Wang, Jianyu และ Zhu & Zixiang Xu.,(2015) “Bioleaching of heavy metals from contaminated sediments by the *Aspergillus niger* strain SY1” [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2566 เข้าถึงได้จาก : *Journal of Soils and Sediments* volume 15, pages1029–1038 (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhang, J., Wu, X., Guo, H., Zheng, X., Mai, B., (2021b). Pollution of plastic debris and halogenated flame retardants (HFRs) in soil from an abandoned e-waste recycling site: do plastics contribute to (HFRs)in soil? J. Hazard Mater. 410, 124649 [https:// doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124649](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124649).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ปริมาตร 1 ลิตร

อาหารสำเร็จรูป PDB ยี่ห้อ SRL	24	กรัม
วุ้น	30	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

ชั่ง PDB และปรับปริมาตรให้ด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ปริมาณ 1 ลิตร เติมวุ้น นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งแรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส และเทใส่จานเพาะเชื้อที่ปราศจากเชื้อ

2. อาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง 9K ความเข้มข้น CuSO_4 20 mM ปริมาตร 1 ลิตร

- ส่วนที่ 1

$\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0.50	กรัม
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3.00	กรัม
KCl	0.10	กรัม
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.01	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.50	กรัม
CuSO_4	1.60	กรัม
น้ำกลั่น	400	มิลลิลิตร

- ส่วนที่ 2

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	44.80	กรัม
น้ำกลั่น	300	กรัม

- ส่วนที่ 3

วุ้น	30	กรัม
น้ำกลั่น	300	มิลลิลิตร

ชั่งสารส่วนที่ 1 ละลายในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ส่วนที่ 2 ละลายในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 3 M ให้ปรับค่า pH อยู่ระหว่าง 2-2.3 และละลายวุ้นส่วนที่ 3 ในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร จากนั้นนำส่วนที่ 1 และส่วนที่ 3 นำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งแรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที นำสาร

ส่วนที่ 2 ที่ละลายไว้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง whatman ชนิด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cellulose acetate ขนาด 0.45 μm จากนั้นนำทั้ง 3 ส่วนผสมกันก่อนเทใส่จานเพาะเชื้อ สำหรับ
ระยะยาวควรเก็บในที่มืด

3. อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว 9K ปริมาตร 1 ลิตร

ใช้อาหารสูตรเดียวกับอาหารแข็ง 9K โดยไม่ต้องเติมวุ้นลงในอาหารส่วนที่ 3 ก่อนที่จะนำไปฆ่า
เชื้อ

4. แอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 ลิตร

$$\text{สูตร } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{จะได้ } 95\% \times V_1 = 70\% \times 1,000 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$V_1 = \left(\frac{70}{95}\right) \times 1,000$$

$$V_1 = 737 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น ตวงเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 737 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นลงไปปริมาตร 263 มิลลิลิตร

5. สีย้อม Lactophenol Contton Blue

Phenol crystals	20.0	กรัม
Cotton blue	0.05	กรัม
Lactic acid	20.0	มิลลิลิตร
Glycerol	20.0	มิลลิลิตร
Distilled water	20.0	มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

1. วิธีคำนวณความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4)

- ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
น้ำหนักโมเลกุลของคอปเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ 159.609 กรัมต่อโมล

$$1 \text{ โมล} = 159.609 \text{ กรัม}$$

$$1,000 \text{ มิลลิโมลาร์} = 159.609 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ มิลลิโมลาร์} &= \left(\frac{159.609}{1,000}\right) \times 10 \\ &= 1.596 \text{ กรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

- ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
น้ำหนักโมเลกุลของคอปเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ 159.609 กรัมต่อโมล

$$1 \text{ โมล} = 159.609 \text{ กรัม}$$

$$1,000 \text{ มิลลิโมลาร์} = 159.609 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} 20 \text{ มิลลิโมลาร์} &= \left(\frac{159.609}{1,000}\right) \times 20 \\ &= 3.19 \text{ กรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

- ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
น้ำหนักโมเลกุลของคอปเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ 159.609 กรัมต่อโมล

$$1 \text{ โมล} = 159.609 \text{ กรัม}$$

$$1,000 \text{ มิลลิโมลาร์} = 159.609 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} 100 \text{ มิลลิโมลาร์} &= \left(\frac{159.609}{1,000}\right) \times 100 \\ &= 15.96 \text{ กรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

- ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
น้ำหนักโมเลกุลของคอปเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ 159.609 กรัมต่อโมล

$$1 \text{ โมล} = 159.609 \text{ กรัม}$$

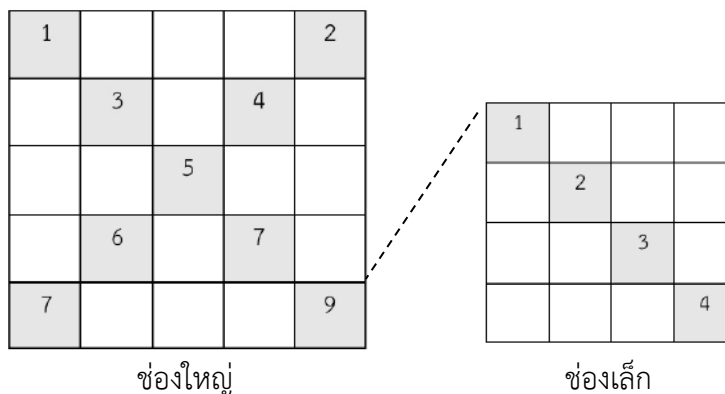
$$1,000 \text{ มิลลิโมลาร์} = 159.609 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} 500 \text{ มิลลิโมลาร์} &= \left(\frac{159.609}{1,000}\right) \times 500 \\ &= 79.80 \text{ กรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีคำนวณ Spore suspension โดยใช้ Haemocytometer

- การนับสปอร์ โดย Haemocytometer



ทำการนับสปอร์ทั้งหมด 9 ช่องใหญ่ และนับช่องเล็ก ในแต่ละ 9 ช่อง
 โดยรวมนับทั้งหมด $9 \times 4 = 36$ ช่อง

$$\begin{aligned} \text{Average} &= \frac{\text{total count spores}}{36} = X \dots\dots\dots \left(\frac{a}{36}\right) \\ \text{Concentration of spores} &= X \times (4 \times 10^6) \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร} \\ &= y \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร} \end{aligned}$$

หมายเหตุ : a คือ จำนวนสปอร์ที่นับได้

ดังนั้น อาหาร 50 มิลลิลิตร ต้องใช้ spore suspension จำนวนดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (\text{total concentration of spores})$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (y)(V_2)$$

$$V_2 = A \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น 1 ฟลาสก์ ใส่เชื้อลงไป A มิลลิลิตรต่อฟลาสก์

2.1 การคำนวณ Spore suspension ของเชื้อ *Aspergillus turcosus* ทั้ง 4 สายพันธุ์

YGS 1.1

YGS 1.1 Haemocytometer ด้านบน = 308 สปอร์

YGS 1.1 Haemocytometer ด้านล่าง = 381 สปอร์

$$\begin{aligned}\text{ค่าเฉลี่ยจำนวนสปอร์} &= \frac{308+381}{2} \\ &= 344.5 \text{ สปอร์}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Average} &= \frac{\text{total count spores}}{36} \\ &= \frac{344.5}{36} \\ &= 9.5694 \text{ -----> (X)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Concentration of spores} &= X \times (4 \times 10^6) \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร} \\ &= 9.5694 \times (4 \times 10^6) \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร} \\ &= 38.2777 \times 10^6 \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร -----> (y)}\end{aligned}$$

ดังนั้น อาหาร 50 มิลลิลิตร ต้องใช้ Spore suspension จำนวน ดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (\text{total Concentration of spores})$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (y)(V_2)$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (38.2777 \times 10^6)(V_2)$$

$$V_2 = \frac{(2 \times 10^7)(1)}{(38.2777 \times 10^6)}$$

$$= 0.05224 \times 10^1$$

$$= 0.5224 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น 1 ฟลาสก์ ใส่เชื้อลงไป 0.5224 มิลลิลิตรต่อฟลาสก์

YGD 1000

YGD 1000 Haemocytometer ด้านบน = 241 สปอร์

YGD 1000 Haemocytometer ด้านล่าง = 187 สปอร์

$$\begin{aligned}\text{ค่าเฉลี่ยจำนวนสปอร์} &= \frac{241+187}{2} \\ &= 214 \text{ สปอร์}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Average} &= \frac{\text{total count spores}}{36} \\ &= \frac{214}{36} \\ &= 5.9444 \text{ -----} \rightarrow (X) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Concentration of spores} &= X \times (4 \times 10^6) \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร} \\ &= 5.9444 \times (4 \times 10^6) \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร} \\ &= 23.7777 \times 10^6 \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร -----} \rightarrow (y) \end{aligned}$$

ดังนั้น อาหาร 50 มิลลิลิตร ต้องใช้ Spore suspension จำนวน ดังนี้

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (2 \times 10^7)(1) &= (\text{total Concentration of spores}) \\ (2 \times 10^7)(1) &= (y)(V_2) \\ (2 \times 10^7)(1) &= (23.7777 \times 10^6)(V_2) \\ V_2 &= \frac{(2 \times 10^7)(1)}{(23.7777 \times 10^6)} \\ &= 0.08411 \times 10^1 \\ &= 0.8411 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น 1 ฟลasks ใส่เชื้อลงไป 0.8411 มิลลิลิตรต่อฟลasks

YGS 2.1

YGS 2.1 Haemocytometer ด้านบน = 201 สปอร์

YGS 2.1 Haemocytometer ด้านล่าง = 247 สปอร์

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ยจำนวนสปอร์} &= \frac{201+247}{2} \\ &= 223.5 \text{ สปอร์} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Average} &= \frac{\text{total count spores}}{36} \\ &= \frac{223.5}{36} \\ &= 6.2083 \text{ -----} \rightarrow (X) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Concentration of spores} &= X \times (4 \times 10^6) \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร} \\ &= 6.2083 \times (4 \times 10^6) \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร} \\ &= 24.8333 \times 10^6 \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร -----} \rightarrow (y) \end{aligned}$$

ดังนั้น อาหาร 50 มิลลิลิตร ต้องใช้ Spore suspension จำนวน ดังนี้

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (2 \times 10^7)(1) &= (\text{total Concentration of spores}) \end{aligned}$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (y)(V_2)$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (24.8333 \times 10^6)(V_2)$$

$$V_2 = \frac{(2 \times 10^7)(1)}{(24.8333 \times 10^6)}$$

$$= 0.0805 \times 10^1$$

$$= 0.8050 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น 1 ฟลาสก์ ใส่เชื้อลงไป 0.8050 มิลลิลิตรต่อฟลาสก์

YGD 2.1

YGD 2.1 Haemocytometer ด้านบน = 252 สปอร์

YGD 2.1 Haemocytometer ด้านล่าง = 298 สปอร์

$$\text{ค่าเฉลี่ยจำนวนสปอร์} = \frac{252+298}{2}$$

$$= 275 \text{ สปอร์}$$

$$\text{Average} = \frac{\text{total count spores}}{36}$$

$$= \frac{275}{36}$$

$$= 7.6388 \text{ -----> (X)}$$

Concentration of spores = X x (4x 10⁶) สปอร์ต่อมิลลิลิตร

$$= 7.6388 \times (4 \times 10^6) \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร}$$

$$= 30.5555 \times 10^6 \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร -----> (y)}$$

ดังนั้น อาหาร 50 มิลลิลิตร ต้องใช้ Spore suspension จำนวน ดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (\text{total Concentration of spores})$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (y)(V_2)$$

$$(2 \times 10^7)(1) = (30.5555 \times 10^6)(V_2)$$

$$V_2 = \frac{(2 \times 10^7)(1)}{(30.5555 \times 10^6)}$$

$$= 0.06545 \times 10^1$$

$$= 0.6545 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น 1 ฟลาสก์ ใส่เชื้อลงไป 0.6545 มิลลิลิตรต่อฟลาสก์

ภาคผนวก ค

ค-1 ตารางแสดงน้ำหนักของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก่อนเลี้ยงเชื้อและหลังเลี้ยงเชื้อ 21 วัน

ชุดทดสอบ / แผ่นวงจร อิเล็กทรอนิกส์ แผ่นที่	ก่อนเลี้ยงเชื้อ			หลังเลี้ยงเชื้อ 21 วัน			น้ำหนักที่หายไป		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ชุดควบคุม 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ชุดควบคุม 2	0.3156	0.3205	0.3219	0.2802	0.2938	0.2775	0.0354	0.0267	0.0444
YGS 1.1 (1)	0.3174	0.3357	0.2681	0.293	0.3023	0.2467	0.0244	0.0334	0.0214
YGS 1.1 (2)	0.4234	0.3448	0.373	0.4002	0.3048	0.3519	0.0232	0.04	0.0211
YGD 1000 (1)	0.345	0.3807	0.3458	0.2945	0.3352	0.316	0.0505	0.0455	0.0298
YGD 1000 (2)	0.4106	0.2726	0.3504	0.3758	0.2515	0.322	0.0348	0.0211	0.0284
YGS 2.1 (1)	0.386	0.4103	0.2981	0.3449	0.365	0.2715	0.0411	0.0453	0.0266
YGS 2.1 (2)	0.2959	0.3212	0.5161	0.2719	0.2976	0.4778	0.024	0.0236	0.0383
YGD 2.1 (1)	0.2775	0.2907	0.4148	0.2597	0.2661	0.3799	0.0178	0.0246	0.0349
YGD 2.1 (2)	0.2976	0.2871	0.2551	0.2683	0.2675	0.2264	0.0293	0.0196	0.0287

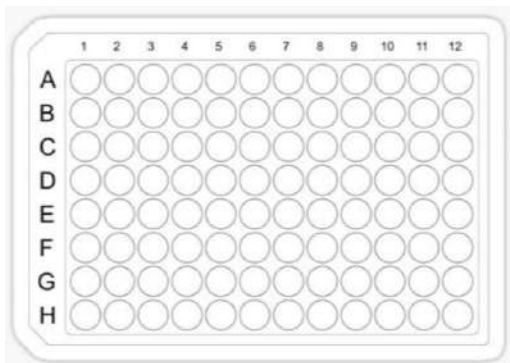
ค-2 แสดงค่าสถิติเพื่อดูความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำหนักแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่หายไป
หลังเลี้ยงเชื้อ 4 สายพันธุ์ 21 วัน

ANOVA

PCBweight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24.823	4	6.206	1.228	.328
Within Groups	111.212	22	5.055		
Total	136.034	26			

ค-3 รูปแสดงการหยดสารทดสอบความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) ที่ 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์



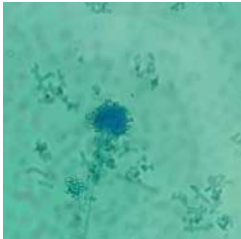
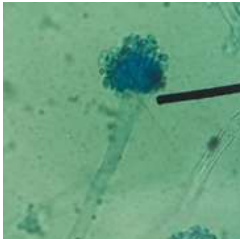
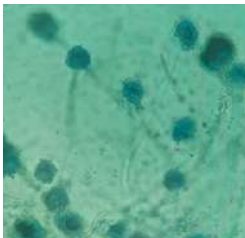
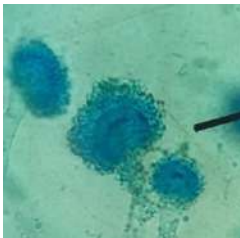


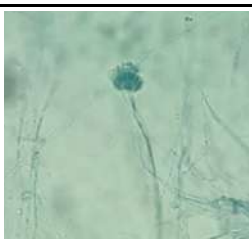
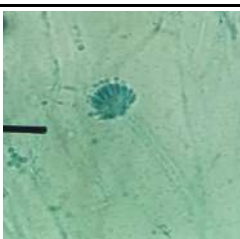
แถว	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	ชุดควบคุม 0 มิลลิโมลาร์ (1)				ชุดควบคุม 0 มิลลิโมลาร์ (2)				ชุดทดสอบ 0 มิลลิโมลาร์ (1)			
B	ชุดทดสอบ 0 มิลลิโมลาร์ (2)				-				-			
C	ชุดควบคุม 10 มิลลิโมลาร์ (1)				ชุดควบคุม 10 มิลลิโมลาร์ (2)				ชุดทดสอบ 10 มิลลิโมลาร์ (1)			
D	ชุดทดสอบ 10 มิลลิโมลาร์ (2)				-				-			
E	ชุดควบคุม 500 มิลลิโมลาร์ (1)				ชุดควบคุม 500 มิลลิโมลาร์ (2)				ชุดทดสอบ 500 มิลลิโมลาร์ (1)			
F	ชุดทดสอบ 500 มิลลิโมลาร์ (2)				-				-			

ค-4 ตารางแสดงค่าการดูดกลืนแสง โดยมีความยาวคลื่นที่ 845 นาโนเมตร

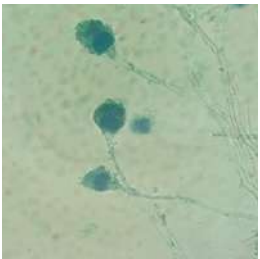
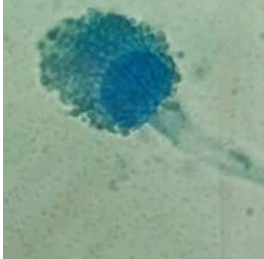
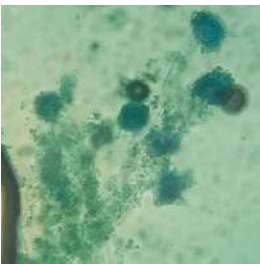
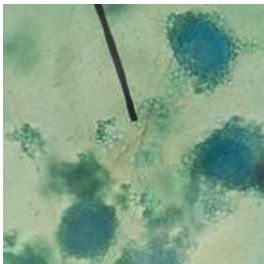
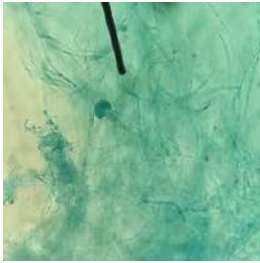
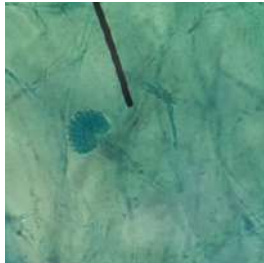
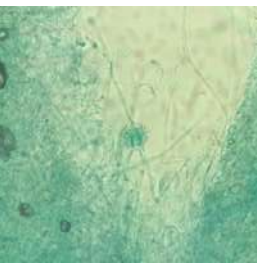
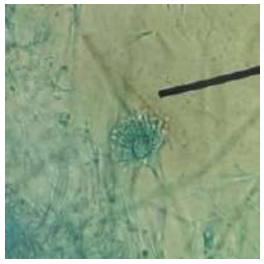
ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)	ชุดทดลอง / จำนวนซ้ำ	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย
0	ชุดควบคุม (1)	1.364	1.208	1.308	2.161	1.434
	ชุดควบคุม (2)	1.194	1.077	1.628	1.535	
	ชุดทดสอบ (1)	2.588	2.261	2.01	2.232	2.208
	ชุดทดสอบ (2)	2.037	2.24	2.032	2.264	
10	ชุดควบคุม (1)	2.287	1.422	2.214	1.647	1.832
	ชุดควบคุม (2)	2.421	1.585	1.039	2.041	
	ชุดทดสอบ (1)	2.027	1.405	1.167	1.201	1.613
	ชุดทดสอบ (2)	2.003	1.667	1.811	1.619	
500	ชุดควบคุม (1)	3.924	3.835	3.843	3.945	3.742
	ชุดควบคุม (2)	3.665	3.655	3.62	3.446	
	ชุดทดสอบ (1)	3.998	4.219	3.854	4.024	4.039
	ชุดทดสอบ (2)	3.883	4.221	4.077	4.037	

ค-5 ตารางลักษณะภาพถ่ายได้กล้องจุลทรรศน์ของการเลี้ยงเชื้อ ครบ 7 วัน บนอาหาร PDA และอาหาร 9k ที่ระดับความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) ที่แตกต่างกัน โดยมีความเข้มข้น 0, 10 และ 500 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

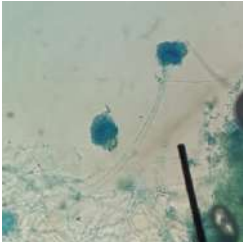
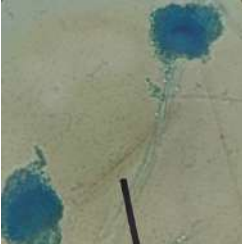

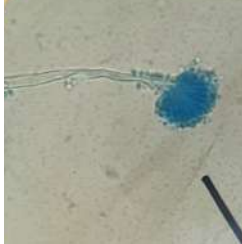
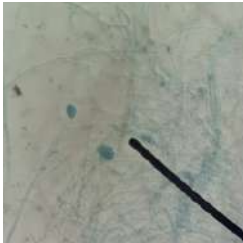
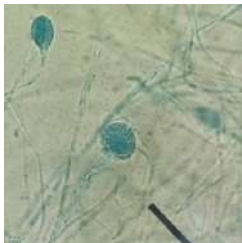
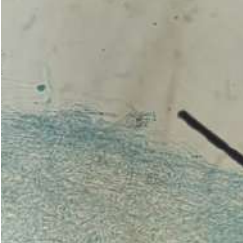
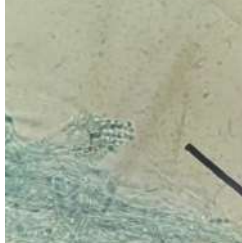
- ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) ที่ 0 มิลลิโมลาร์

	จำนวน ซ้ำ	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยายของภาพ 400 เท่า	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยายของภาพ 1000 เท่า
PDA	1		
	2		
9K	1		
	2		

- ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) ที่ 10 มิลลิโมลาร์

อาหาร เลี้ยงเชื้อ	จำนวนซ้ำ	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยายของภาพ 400 เท่า	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยายของภาพ 1000 เท่า
PDA	1		
	2		
9K	1		
	2		

- ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) ที่ 500 มิลลิโมลาร์

อาหารเลี้ยงเชื้อ	จำนวนซ้ำ	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายของภาพ 400 เท่า	ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายของภาพ 1000 เท่า
PDA	1		
	2		
9K	1		
	2		



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 30 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นางสาวญาณิศา เป็งดี รหัสประจำตัว 62050590

นางสาวสุธารัตน์ สุขแดง รหัสนักศึกษา 62050656

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม ภาควิชาชีววิทยา ขอรับรอง
ว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายทองแดงจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเชื้อ
Acidophilic Aspergillus turcosus

ชื่ออังกฤษ Study of optimum conditions for copper bioleaching from printed circuit
board of *Acidophilic Aspergillus turcosus*

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความ
ซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้วและได้แนบเอกสารการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการ
พิเศษฉบับสมบูรณ์แล้วจากโปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.37 %

ลงชื่อ.....**ญาณิศา เป็งดี**.....

(นางสาวญาณิศา เป็งดี)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....**สุธารัตน์ สุขแดง**.....

(นางสาวสุธารัตน์ สุขแดง)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ดร.นิลเนตร อัคระศิริจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการ
พิเศษของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึง
ลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....**ดร.นิลเนตร อัคระศิริจินดา**.....

(ดร.นิลเนตร อัคระศิริจินดา)

อาจารย์ที่ปรึกษา