

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการกำจัดไขมัน
และน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง



ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2568

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการกำจัดไขมัน
และน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการกำจัดไขมัน
และน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

กชพรรณ วรธนาดา

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัทธา ชื่นบาล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัทธา ชื่นบาล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัทธา ชื่นบาล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยศ สัมฤทธิ์สกุล)

รองอธิการบดี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการกำจัดไขมันและน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง
ชื่อผู้เขียน	นางสาวกชพรรณ วรธนาธาดา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รฐปน ชื่นบาล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส ในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเปรียบเทียบกับเอนไซม์ทางการค้า รวมไปถึงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเลี้ยงแบคทีเรียแบบเดี่ยว ได้แก่ *Bacillus tropicus* และ *Bacillus thuringiensis* และ แบบผสมของทั้ง 2 สายพันธุ์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมน้ำมันพืช 10% พบว่าการเลี้ยงแบบเชื้อเดี่ยว *B. tropicus* (5%) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันได้สูงที่สุด เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบการกำจัดไขมันและน้ำมันระหว่างแบคทีเรียและเอนไซม์ทางการค้า โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ด้วยถังปฏิกรณ์ขนาด 15 ลิตร ในสภาวะอุณหภูมิห้อง และเติมอากาศเป็นระยะเวลา 14 วัน ผลการศึกษาพบว่า *B. tropicus* (5%) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าเอนไซม์ทางการค้า โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมัน เท่ากับ 57.1% และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับ 55.6% ในขณะที่เอนไซม์ทางการค้ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันเพียง 49.1% และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับ 44.4% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แบคทีเรียในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้เอนไซม์ไลเปสทางการค้าประมาณ 5.2 เท่า

คำสำคัญ : ไขมันและน้ำมัน, เอนไซม์ไลเปส, น้ำเสีย, *B. tropicus*, *B. thuringiensis*

Title	STUDY ON THE REMOVAL EFFICIENCY OF LIPASE-PRODUCING BACTERIA IN REMOVING OIL AND GREASE CONTAMINATION IN WASTEWATER OF FROZEN CHICKEN PROCESSING INDUSTRY
Author	Miss Kotchaphun Worathanathada
Degree	Master of Science in Environmental Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Tapan Cheunbarn

ABSTRACT

This research aimed to study the efficiency of lipase-producing bacteria in oil and grease removal in wastewater from meat processing plants compared with commercial enzymes, including the cost comparison. In this study, the single culture of *Bacillus tropicus*, *Bacillus thuringiensis* and mixed cultures of both strains were cultured in synthetic wastewater containing 10% vegetable oil. It was found that the single culture, *B. tropicus* (5%), was the highest efficiency to remove oil and grease. The comparison of the oil and grease degradation between bacteria and commercial enzymes was investigated. The wastewater from frozen chicken processing plants was used for the experiment with the 15-liter reactors at room temperature and aerated for 14 days. The results showed that *B. tropicus* (5%) was more efficient in treating wastewater than commercial enzymes. The efficiency of fat and oil removal was 57.1% and the efficiency of COD removal was 55.6%, while the commercial enzyme had the efficiency of fat and oil removal only 49.1% and the efficiency of COD removal was 44.4%, respectively. It was also found that the use of bacteria in the treatment of wastewater containing fat and oil was approximately 5.2 times less expensive than the use of commercial lipase enzyme.

Keywords : Oil and Grease, Lipase, Wastewater, *B. tropicus*, *B. thuringiensis*

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีภาณุจนา คล้ายเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ให้การแนะนำ รวมถึงการสอนเทคนิควิธีการทดลอง การจัดซื้อสารเคมี อุปกรณ์ ที่ใช้ทำงานวิจัย ตลอดจนการตรวจสอบ แก้ไขความบกพร่องของวิทยานิพนธ์ ให้ถูกต้อง สมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดเตรียมสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี การให้คำปรึกษา คำแนะนำในการทำงานวิจัย ตลอดจนน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์เพื่อให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหาร บริษัท ปรีณเชส ฟูดส์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมถึงทีมงานพี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดเตรียมและจัดซื้อ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณครอบครัวและญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน การช่วยเหลือ การให้กำลังใจในการศึกษา การดำเนินการทดลองและการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

กชพรรณ วรรณธาดา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ	ฌ
สารบัญตารางผนวก.....	ฉ
สารบัญภาพผนวก	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร	4
น้ำเสีย.....	4
การบำบัดน้ำเสีย	11
ไขมันและน้ำมัน	14
การจัดการไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย	15
จุลินทรีย์.....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	32

แบบที่เรียที่ใช้ในการทดลอง	32
วัสดุและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง	32
แนวทางดำเนินการวิจัย	34
วิธีดำเนินการวิจัย	35
สถานที่ดำเนินงานวิจัย	37
ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	38
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	39
การคัดเลือกและเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส ที่ใช้ในการย่อยไขมันและ น้ำมัน	39
การศึกษาชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส ในการกำจัดน้ำมันใน น้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะห้องปฏิบัติการ	41
การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้า ในการกำจัดน้ำมัน ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในสภาวะห้องปฏิบัติการ	46
การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้า ในการกำจัดไขมัน ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง	52
การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย	60
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	62
สรุปผลการทดลอง	62
ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี	72
ภาคผนวก ข ตารางประกอบผลการวิเคราะห์	74
ภาคผนวก ค ภาพประกอบผลการวิเคราะห์	77
ประวัติผู้วิจัย	80



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณและลักษณะสมบัติน้ำเสียจากกระบวนการฆ่าและชำแหละไก่แบบมาตรฐาน ..	10
ตารางที่ 2 น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง.....	10
ตารางที่ 3 จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส	22
ตารางที่ 4 ค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Lipase Activity) ของเชื้อแบคทีเรียและการก่อโรค.....	39
ตารางที่ 5 ชนิด อัตราส่วนและประสิทธิภาพในการลดลงของปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย สังเคราะห์ของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในระยะเวลา 7 วัน.....	43
ตารางที่ 6 คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง (น้ำเสียก่อนเข้าระบบ บำบัด).....	46
ตารางที่ 7 ชนิด อัตราส่วนและประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูป เนื้อไก่แช่แข็งของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสเทียบกับเอนไซม์ทางการค้า ในระยะเวลา 7 วัน	47
ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพในการใช้แบคทีเรียกำจัดไขมันและน้ำมันของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	57
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบต้นทุนในการกำจัดไขมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่ แข็งของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสเทียบกับเอนไซม์ทางการค้า.....	61

สารบัญภาพ

หน้า

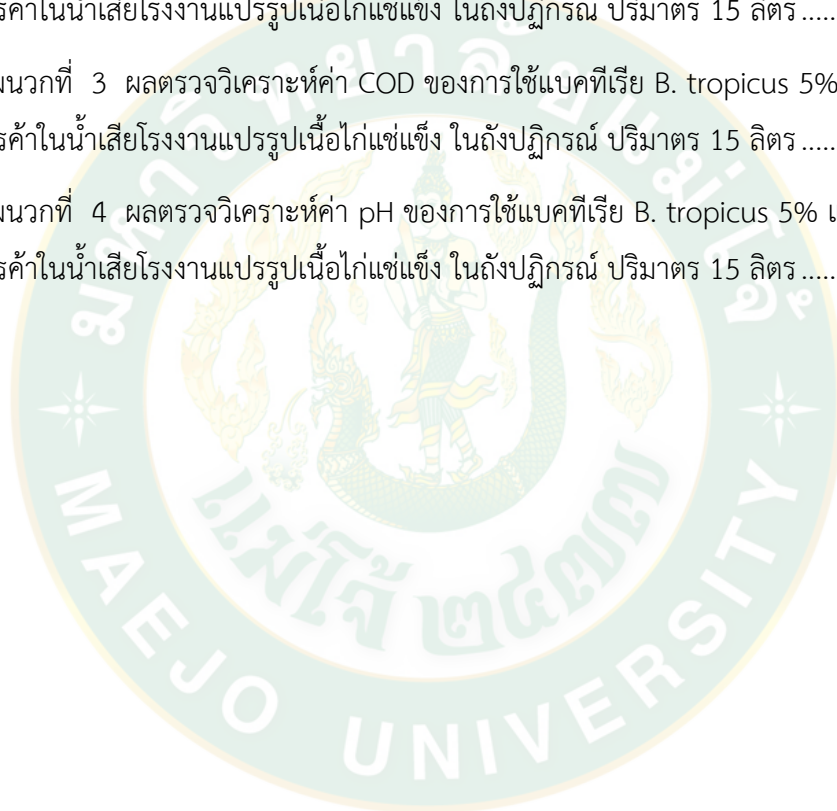
ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานที่ทำให้เกิดน้ำเสียจากโรงงานอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง.....	8
ภาพที่ 2 ผังกระบวนการของระบบบำบัดน้ำเสีย	9
ภาพที่ 3 ปฏิกริยาแอกติเวชัน การขนส่ง และเบตา-ออกซเดชันของกรดไขมัน	16
ภาพที่ 4 การเจริญของแบคทีเรีย (Growth curve of bacteria).....	20
ภาพที่ 5 แผนงานวิจัย	34
ภาพที่ 6 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการกำจัดไขมัน	40
ภาพที่ 7 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมเชื้อแบคทีเรีย <i>Bacillus tropicus</i> 0%, 5% และ 10% ระยะเวลา 7 วัน	44
ภาพที่ 8 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมเชื้อแบคทีเรีย <i>Bacillus thuringiensis</i> 0%, 5% และ 10% ระยะเวลา 7 วัน	44
ภาพที่ 9 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เติมเชื้อแบคทีเรีย <i>Bacillus tropicus</i> และ <i>Bacillus</i> <i>thuringiensis</i> 0%, 5% และ 10% ระยะเวลา 7 วัน	45
ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหาร แปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ของ <i>B. tropicus</i> 5% และเอนไซม์ทางการค้า (ระยะเวลา 7 วัน).....	48
ภาพที่ 11 ลักษณะทางกายภาพของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไขมันในน้ำเสียของ โรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ <i>B. tropicus</i> 5% และเอนไซม์ทางการค้า (ระยะเวลา 7 วัน).....	49
ภาพที่ 12 ลักษณะทางกายภาพของไขมันหลังการทดลอง ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหาร แปรรูป เนื้อไก่แช่แข็งของ <i>B. tropicus</i> 5% และเอนไซม์ทางการค้า (ระยะเวลา 7 วัน).....	50
ภาพที่ 13 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหาร แปรรูปเนื้อไก่แช่ แข็งของ <i>B. tropicus</i> 5% และเอนไซม์ทางการค้า	51
ภาพที่ 14 ค่า pH ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหาร แปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ <i>B. tropicus</i> 5% และ เอนไซม์ทางการค้า.....	52

ภาพที่ 15 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสีย ของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่ แช่แข็ง	52
ภาพที่ 16 ลักษณะของเอนไซม์ทางการค้าสำหรับใช้บำบัดน้ำเสีย ของโรงงานผลิตอาหารแปรรูป เนื้อสัตว์แช่แข็ง	53
ภาพที่ 17 ชุดถังปฏิกรณ์พลาสติกทึบ ขนาด 20 ลิตร ที่มีปริมาตรน้ำเสีย 15 ลิตร เต็มอากาศ เพื่อ ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไขมันในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง	53
ภาพที่ 18 ลักษณะทางกายภาพของไขมันและน้ำมันในน้ำเสียของโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ที่เติม เชื้อ <i>B. tropicus</i> 5% และเอนไซม์ทางการค้า วันที่ 0, 4, 8, 12, และ 14	54
ภาพที่ 19 การสกัดไขมันในน้ำเสียตัวอย่าง	54
ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อสัตว์ แช่ แข็งของ <i>B. tropicus</i> 5% และเอนไซม์ทางการค้า	55
ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ในน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อสัตว์แช่แข็ง ของ <i>B. tropicus</i> 5% และเอนไซม์ทางการค้า	59

สารบัญตารางผนวก

หน้า

ตารางผนวกที่ 1 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ค่า COD และ ค่า pH ในน้ำเสีย โรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ B. tropicus 5% และเอนไซม์ทางการค้าที่ผลิตเอนไซม์ ไลเปสในระยะเวลา 7 วัน	75
ตารางผนวกที่ 2 ผลตรวจวิเคราะห์ปริมาณไขมันของการใช้แบคทีเรีย B. tropicus 5% และเอนไซม์ ทางการค้าในน้ำเสียโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในถังปฏิกรณ์ ปริมาตร 15 ลิตร	75
ตารางผนวกที่ 3 ผลตรวจวิเคราะห์ค่า COD ของการใช้แบคทีเรีย B. tropicus 5% และเอนไซม์ ทางการค้าในน้ำเสียโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในถังปฏิกรณ์ ปริมาตร 15 ลิตร	76
ตารางผนวกที่ 4 ผลตรวจวิเคราะห์ค่า pH ของการใช้แบคทีเรีย B. tropicus 5% และเอนไซม์ ทางการค้าในน้ำเสียโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในถังปฏิกรณ์ ปริมาตร 15 ลิตร	76



สารบัญภาพผนวก

หน้า

ภาพผนวกที่ 1	การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียเพื่อเพิ่มจำนวนเชื้อสำหรับการทดลอง	78
ภาพผนวกที่ 2	เชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มจำนวนในอาหารเหลว NB (Neutrient broth)	78



บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารของไทยนั้น ถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตที่มีขีดความสามารถทางการแข่งขันในการส่งออกสูง โดยเฉพาะการแปรรูปเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ คาดว่าในปี 2567-2569 การผลิตเนื้อไก่ของประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 2.0-3.0% ต่อปี ตามความต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ (Kornboontrits, 2567) และนอกจากนี้ยังพบว่าการขยายตัวของโรงงานผลิตเนื้อไก่ ในปี 2565 มีการขยายตัวของโรงฆ่าสัตว์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีโรงงานฆ่าชำแหละ-ส่งออก จำนวน 35 โรงงาน คิดเป็นอัตราขยายตัว 6.24% ต่อปี มีโรงงานแปรรูป จำนวน 70 โรงงาน คิดเป็นอัตราขยายตัว 0.57% ต่อปี (กรมปศุสัตว์, 2566) สำหรับผลิตภัณฑ์ไก่เพื่อการบริโภค ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ ไก่แช่เย็น ไก่แช่แข็ง และไก่แปรรูปหรือไก่ปรุงสุก/ปรุงรสแช่แข็ง อีกทั้งในกระบวนการผลิตหรือการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อไคนั้นจะมีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการชำระล้าง การทำความสะอาดอุปกรณ์หรือบริเวณการผลิต และส่งผลให้น้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ในน้ำเสียจะมีไขมันและน้ำมันปนออกมาด้วยและไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งหากว่าน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันปนเปื้อนอยู่ และไหลออกสู่ภายนอกโดยไม่ผ่านการบำบัดน้ำเสีย ย่อมก่อให้เกิดปัญหาและผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำเสียที่มีไขมันหรือน้ำมันเจือปนอยู่มากเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ อยู่เหนือบริเวณของผิวน้ำ บดบังแสงอาทิตย์และเป็นอุปสรรคต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซ ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง และส่งผลทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนในน้ำลดน้อยลง กระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Fingas, 2014; Jeganathan et al., 2007) ดังนั้นน้ำเสียจึงจำเป็นต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะมีการดักตะกอน และกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ให้ผ่านเกณฑ์คุณภาพก่อนจะปล่อยออกสู่ภายนอก โดยน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย จะทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ที่มากและเกิดการอุดตันในโครงสร้างพื้นฐานของระบบบำบัด เป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและการบำรุงรักษา (Wallace et al., 2017) มีการประมาณการว่าในการกำจัดไขมันและน้ำมันนั้นมีมูลค่าประมาณ 25% ของราคาในการกำจัดของเสียทั้งหมด (Salimbeni and Magnolfi, 2015) และในกระบวนการผลิตอาหารและแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง จะมีขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่หลากหลาย โดยเริ่มจากการรับเข้าเนื้อไก่ การรักษาและคงคุณภาพเนื้อไก่ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ < -18 องศาเซลเซียส ทำการ

ตรวจสอบคุณภาพเนื้อไก่แช่แข็งให้ได้ตามมาตรฐานของลูกค้าและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม แล้วจึงนำมาแปรรูปโดยวิธีการ ต้ม นึ่งและทอด ซึ่งในกระบวนการผลิตอาหารและแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งจะมีไขมันและน้ำมันปนออกมากับน้ำเสีย ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในเบื้องต้นจะกำจัดไขมันและน้ำมันที่ลอยด้านบนผิวน้ำออก และใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ แต่ไขมันและน้ำมันบางส่วนยังคงเหลืออยู่และไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการบำบัดน้ำเสียได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไก่แช่แข็งและแปรรูปจึงพิจารณาเลือกใช้เอนไซม์ทางการค้าที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน เพื่อช่วยย่อยสลายไขมันและน้ำมัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย แต่การใช้เอนไซม์ทางการค้าในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อช่วยย่อยสลายไขมันและน้ำมันเป็นการเพิ่มต้นทุนของผู้ผลิต เนื่องจากเอนไซม์ดังกล่าวมีราคาสูง ทำให้ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วยสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบนั้น โดยทั่วไปมีวิธีการบำบัดหลายรูปแบบ ได้แก่ ทางเคมี ทางกายภาพ และชีวภาพ (Izanloo et al., 2006; Louhichi et al., 2019; Salahi et al., 2010) อย่างไรก็ตาม พบว่ากระบวนการทางกายภาพและทางเคมีนั้นก่อให้เกิดปัญหาตามมาเช่น การตกค้างของสารเคมี ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นจากการใช้พลังงาน (Demirel et al., 2005) รวมไปถึงข้อจำกัดเมื่อไขมันและน้ำมันนั้นมีขนาดที่เล็กมาก เช่น soluble oil หรือ emulsified oil ดังนั้นกระบวนการทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญ (Yu et al., 2017) ทางเลือกหนึ่งนิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้เอนไซม์ไลเปส ซึ่งสามารถย่อยสลายไขมันและน้ำมันให้เป็นกลีเซอไรด์และกรดไขมันได้ (Adulkar and Rathod, 2013) โดยในปัจจุบันมีเอนไซม์ทางการค้าหลายชนิด ที่สามารถทำงานได้ดีแต่ถือเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิต เนื่องจากเอนไซม์ดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุน การใช้แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสในระบบบำบัดน้ำเสียจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในการบำบัดไขมันและน้ำมันได้ (Salihu et al., 2011) สำหรับแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้มีด้วยกันหลายชนิด เช่น *Bacillus pumilus* และ *Serratia quinivorans* (มาริสา และสุชัยญา, 2560) *Bacillus thuringiensis* (Adegoke et al., 2020) เป็นต้น ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้เชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส ในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูป เปรียบเทียบกับเอนไซม์ทางการค้า รวมไปถึงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย สำหรับการศึกษานี้ใช้น้ำเสียจากโรงงานอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งเพื่อเป็นตัวแทนของน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ไลเปสในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของแบคทีเรียที่เหมาะสมในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันที่อยู่ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการบำบัดน้ำเสียของการผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง เปรียบเทียบกับการใช้เอนไซม์ทางการค้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส และนำไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมัน
2. สามารถศึกษาอัตราส่วนของแบคทีเรียที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจากการแปรรูปอาหารประเภทเนื้อไก่แช่แข็ง เปรียบเทียบกับเอนไซม์ทางการค้า
3. สามารถแนะนำแนวทางการใช้แบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส ในการกำจัดไขมันและน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากการแปรรูปอาหารประเภทเนื้อไก่แช่แข็งในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานได้
4. นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารประเภทเนื้อไก่แช่แข็ง ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
5. สามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันด้วยแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้า

ขอบเขตการศึกษา

1. ในการทดลองครั้งนี้ ใช้ น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง
2. เชื้อแบคทีเรียใช้ในการทดลอง ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ได้รับการทดสอบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน โดยได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

น้ำเสีย

น้ำเสีย ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนและปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น การที่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนในน้ำเสียจะทำให้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไป จนทำให้ไม่สามารถนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เหมือนเดิม นอกจากนี้ยังพบว่า มี ไขมัน น้ำมัน สบู่ ผงซักฟอก สารอินทรีย์ ยากฆ่าแมลง ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งทำให้น้ำมีความสกปรก มีเชื้อโรคหลายชนิด และเกิดการเน่าเหม็นของน้ำเสีย

1. แหล่งที่มาของน้ำเสีย

แหล่งที่มาของน้ำเสีย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แหล่งใหญ่ ดังนี้

1.1 น้ำเสียจากแหล่งชุมชน มาจากกิจกรรมสำหรับการดำรงชีวิตของคนในชุมชน เช่น ตึก อาคารพาณิชย์ บ้าน หมู่บ้านจัดสรร คอนโดมิเนียม โรงแรม ตลาดสด โรงพยาบาล เป็นต้น ซึ่งพบว่า น้ำเสียชนิดนี้มีสารอินทรีย์ปนอยู่ในปริมาณที่สูง จึงทำให้น้ำมีค่าความสกปรกมาก

1.2 น้ำเสียจากกิจกรรมอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากขั้นตอนผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึงการทำทำความสะอาดพื้นที่ภายในบริเวณผลิตรวมถึงน้ำเสียที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดหรือบำบัดแล้ว แต่คุณภาพน้ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งของอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมจะมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล ประเภท และขนาดของโรงงาน ในส่วนของสารเคมีที่เป็นพิษ โลหะหนักต่าง ๆ และสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงจะรวมเป็นสิ่งสกปรกในน้ำเสียด้วย

1.3 น้ำเสียจากเกษตรกรรม ได้แก่ การใช้น้ำในกิจกรรม การเพาะปลูกพืช การเลี้ยงสัตว์ ซึ่งจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นในกระบวนการหรือขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยในน้ำที่ใช้จะมีธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารพิษต่าง ๆ ในปริมาณสูงจากการเพาะปลูก ส่วนน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์ จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

2. ลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียสามารถแบ่งออกตามลักษณะของน้ำเสีย ได้ 3 ลักษณะ คือ ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งรายละเอียดแต่ละด้าน ดังนี้

2.1 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ

1) สี น้ำเสียทั่วไปจะมีสีที่มีลักษณะสีเทาปนสีน้ำตาลจางๆ ซึ่งถ้าทิ้งน้ำเสียทิ้งไว้นาน จะทำให้เกิดเกิดปฏิกิริยาไม่ใช้ออกซิเจน และจะเริ่มเปลี่ยนสีโดยสีจะเข้มขึ้นจนกลายเป็นสีดำ เมื่อสีเข้มขึ้นเรื่อย ๆ น้ำเสียจะเป็นสีดำ และมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นตามมา

2) กลิ่น ในน้ำเสียมีกลิ่นเหม็น ซึ่งโดยทั่วไปเกิดจากก๊าซ ซึ่งจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนเจริญอยู่ในน้ำเสียนั้น

3) ของแข็ง ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียแต่ละชนิดจะมีขนาดแตกต่างและใช้เวลาในการย่อยสลายได้ไม่เท่ากัน เช่น พลาสติก ผ้า เศษวัตถุดิบ เป็นต้น อาจเกิดการอุดตันและสร้างปัญหาในระบบบำบัดได้

2.2 ลักษณะน้ำเสียทางเคมี

น้ำเสียทางเคมี จะตรวจสอบจากความเป็นกรด-ด่าง (pH) เช่น มี pH ต่ำกว่า 7 น้ำเสียจะมีสภาพเป็นกรด ถ้าสูงกว่า 7 จะมีสภาพเป็นด่าง หรือถ้า pH 6-8 จะมีสภาพเป็นกลาง โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในน้ำเสียที่อยู่ในถังบำบัดจะดำรงชีพได้ดีในน้ำที่มีค่า pH เป็นกลาง หากมีค่า pH สูงเกินหรือต่ำเกินจะทำให้เกิดผลกระทบและเกิดปัญหาต่อสภาพของระบบนิเวศทางน้ำ และลักษณะน้ำเสียทางเคมีที่พบมากที่สุดคือ สารอินทรีย์ เมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำและจุลินทรีย์ย่อยสลาย โดยมีออกซิเจนที่ไม่เพียงพอ ก็จะทำให้เกิดการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน และทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียในที่สุด

2.3 ลักษณะน้ำเสียทางชีวภาพ

น้ำเสียทางชีวภาพ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลายสิ่งสกปรก ซึ่งสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก จุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมีอยู่ในน้ำเสียปริมาณมาก ซึ่งในขณะเดียวกัน ระบบบำบัดน้ำเสียก็ใช้จุลินทรีย์อีกชนิดที่ย่อยสลายสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย เช่น แบคทีเรีย ที่ช่วยย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสียได้ถึง 95%

3. ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก รวมทั้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้เนื้อสัตว์และสัตว์ปีกเป็นวัตถุดิบ น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร อาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทสินค้าและผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตนั้นๆ โดยแหล่งกำเนิดน้ำเสียของอุตสาหกรรม มาจากการใช้น้ำในขั้นตอนต่างๆ เช่น กระบวนการผลิตหลัก ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับการรับวัตถุดิบ การเชือด การกำจัดขน การกำจัดเครื่องใน การบรรจุ และการแช่แข็ง รวมไปถึงการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ

ก็จะมีกระบวนการผลิต การล้างทำความสะอาด เช่นกัน และในน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตนั้น จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน กริส และ โปรตีนสูง เป็นต้น

4. อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

4.1 ขั้นตอนการผลิต

อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งในปัจจุบันนั้นมีหลากหลายรูปแบบธุรกิจตามความต้องการของผู้บริโภคทั้งในภายในประเทศและต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของการผลิตสินค้าเนื้อไก่แช่แข็ง หรือผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ทั้งนี้กระบวนการผลิตสินค้าในแต่ละประเภทก็มีความแตกต่างกันของแต่ละผู้ประกอบการธุรกิจ อาจขึ้นอยู่กับประเภทสินค้าที่ผลิต รูปแบบสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ของโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ๆ โดยการออกแบบกระบวนการผลิตหรือขั้นตอนการผลิตของแต่ละแห่ง ก็เพื่อให้ได้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการของลูกค้าและมีคุณภาพที่เป็นไปตามคุณภาพและความปลอดภัยเป็นไปตามมาตรฐานสากลด้วย ซึ่งขั้นตอนการผลิตย่อมแตกต่างกัน เช่น กระบวนการรับเข้าวัตถุดิบ กระบวนการจัดเก็บ การล้างทำความสะอาด กระบวนการผลิต กระบวนการจัดเก็บสินค้าและการจัดส่งสินค้า เป็นต้น และในกระบวนการผลิตสินค้าแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง (บริษัท ปริ้นเซส ฟู้ดส์ จำกัด, 2559) มีขั้นตอนการผลิตตามภาพที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

1) รับเข้าเนื้อไก่แช่แข็ง

ในการรับเข้าเนื้อไก่แช่แข็งเป็นการลำเลียงและตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบเนื้อไก่แช่แข็งเพื่อให้มั่นใจว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยการจัดเรียงบนภาชนะรองรับและติดป้ายชี้บ่ง รายละเอียดของสินค้าที่ตรวจรับให้ครบถ้วน ได้แก่ ชื่อผลิตภัณฑ์ ชื่อบริษัทผู้ผลิต เลขล็อต วันที่ผลิต วันที่หมดอายุ ปริมาณ เป็นต้น

2) เก็บรักษาเนื้อไก่แช่แข็ง

กระบวนการเก็บรักษาเนื้อไก่แช่แข็ง จะนำสินค้าเนื้อไก่แช่แข็งจัดเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18°C เพื่อรักษาอุณหภูมิและคุณภาพของสินค้าเนื้อไก่แช่แข็งให้เป็นไปตามที่กำหนด และรักษาสภาพสินค้าให้เป็นไปตามมาตรฐาน

3) เพิ่มอุณหภูมิเนื้อไก่

เป็นกระบวนการนำเนื้อไก่แช่แข็งมาเพิ่มอุณหภูมิโดยการวางเนื้อไก่แช่แข็งไว้ที่อุณหภูมิห้องภายนอกห้องเย็น เพื่อให้เนื้อไก่แช่แข็งละลายและสามารถนำมาทำการผลิตสินค้าต่อไป

4) บดเนื้อไก่

การบดเนื้อไก่ จะนำเนื้อไก่ใส่ในเครื่องบดและบดให้มีขนาดของชิ้นเนื้อไก่หลังบดตามที่ต้องการ และนำเนื้อไก่บดที่ได้มาผสมกับเครื่องปรุงที่เตรียมไว้ ตามชนิดของสินค้า

5) ผสมเนื้อไก่

นำเนื้อไก่ที่ผ่านการบด มาชั่งปริมาณและผสมกับเครื่องปรุงส่วนผสม เพื่อให้ได้รส-ชาติ และเนื้อสัมผัส ตามมาตรฐานคุณภาพสินค้าแต่ละชนิด)

6) นึ่งเนื้อไก่

การนึ่งเนื้อไก่เป็นการทำให้สุกและเพื่อฆ่าเชื้อโรคในเนื้อไก่ที่บดผสมแล้ว ก่อนจะนำไปสู่กระบวนการแปรรูปของแต่ละสินค้า

7) กระบวนการแปรรูปเนื้อไก่ (ทอด, ต้ม, ลวก, ผสมซอส)

กระบวนการแปรรูปเนื้อไก่ เป็นการผลิตสินค้าตามกระบวนการเพื่อให้ได้สินค้าตามที่ต้องการ ซึ่งมีกระบวนการทำให้สุกโดยการทอด ต้ม ลวก รวมถึงการนำไปผสมซอส เป็นต้น

8) บรรจุใส่ถาด

การบรรจุสินค้าในภาชนะบรรจุตามชนิดของสินค้า ได้แก่ พลาสติก ถาดพลาสติก โดยการบรรจุให้ได้น้ำหนักและคุณภาพและอุณหภูมิให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

9) การแช่แข็ง

การแช่แข็งสินค้าเพื่อให้ได้อุณหภูมิต่ำกว่า -18°C ให้สามารถคงคุณภาพและยืดอายุสินค้าให้สามารถจัดเก็บได้นานขึ้น

10) ชั่งน้ำหนักสินค้า

การชั่งน้ำหนักสินค้า โดยนำสินค้าชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลเพื่อให้สินค้าที่บรรจุมีน้ำหนักเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ

11) ตรวจจับโลหะ (Metal Detector)

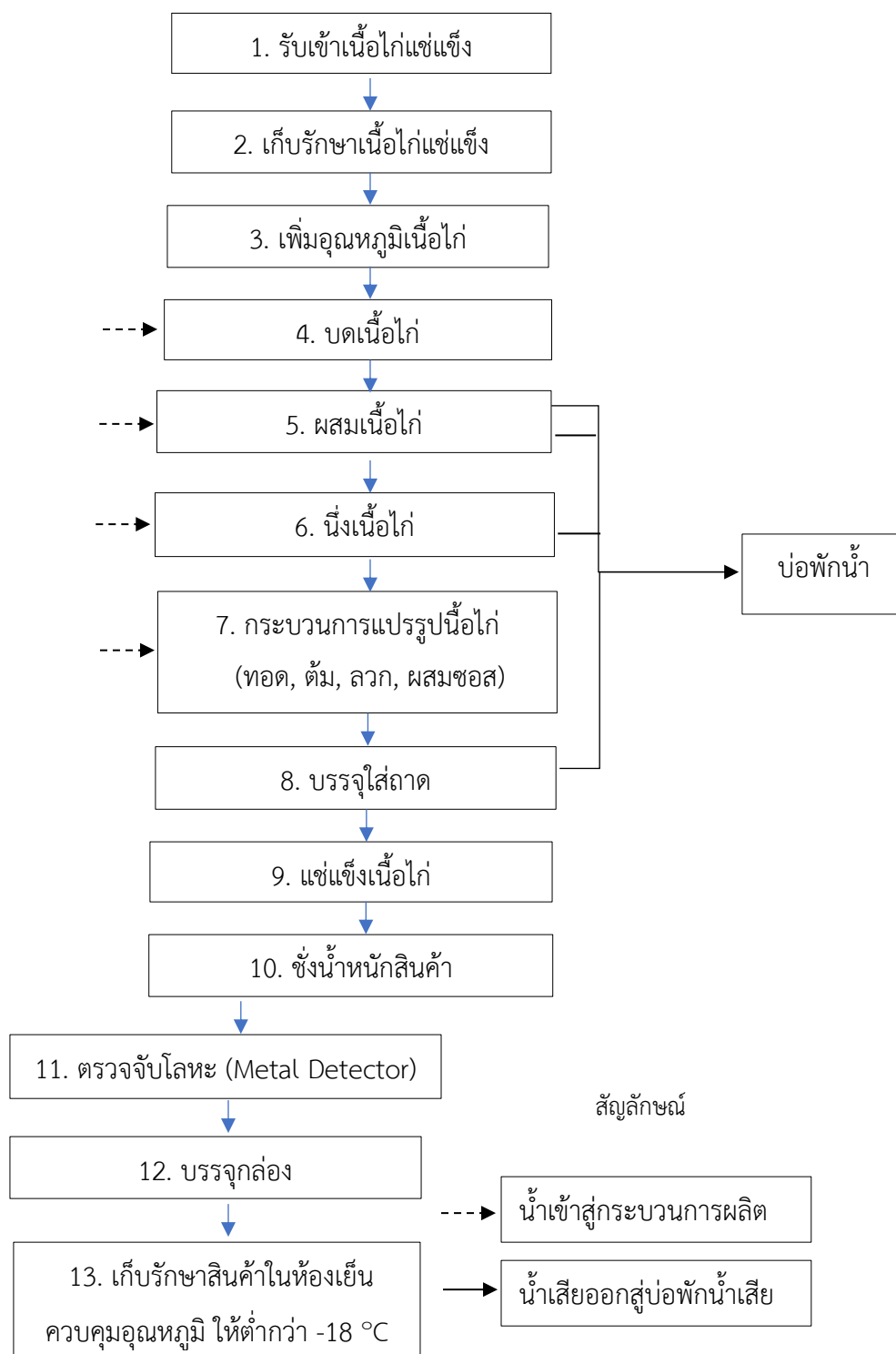
การตรวจจับโลหะ โดยนำสินค้าผ่านเครื่องตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่เป็นโลหะที่ติดปนมากับสินค้า เพื่อคัดแยกออก

12) บรรจุกล่อง

บรรจุสินค้าลงในกล่องบรรจุสินค้า ทำการนับจำนวนสินค้าที่บรรจุให้ครบถ้วน และปิดกล่องให้สนิท รวมถึงการตรวจสอบรายละเอียดวันที่ ผลิต หมดอายุ ที่ข้างกล่องให้ถูกต้อง

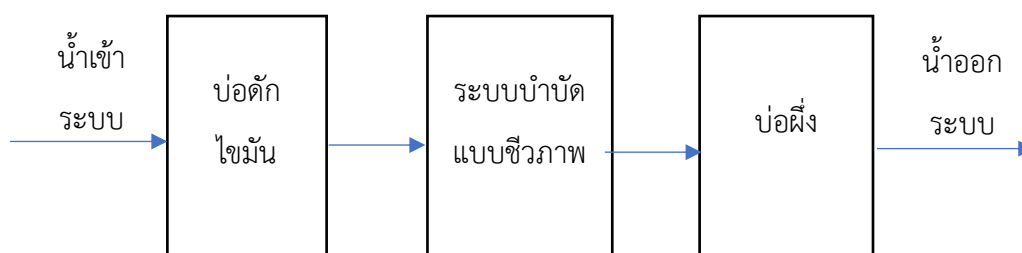
13) เก็บรักษาสินค้าในห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า -18°C

การเก็บรักษาสินค้าในห้องเย็น โดยลำเลียงจัดเก็บกล่องสินค้าภายในห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิต่ำกว่า -20°C และวางซ้อนกล่องสินค้าบนพาเลทภายในห้องเย็นตามประเภทของสินค้า เพื่อเป็นการรักษาอุณหภูมิสินค้า และคุณภาพสินค้า



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานที่ทำให้เกิดน้ำเสียจากโรงงานอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง
ที่มา: บริษัท ปริ้นเซส ฟู้ดส์ จำกัด (2559)

ทั้งนี้ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง จะไหลลงระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้ออกแบบสำหรับการรับน้ำเสียเพื่อบำบัดน้ำเสีย มีผังขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผังกระบวนการของระบบบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: Wutti007 (2554)

โรงงานฆ่าไก่ที่มีการชำแหละและตัดแต่งส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดกลางและใหญ่ มีการใช้น้ำที่มีคุณภาพสูงในการชำระล้างวัตถุดิบ เครื่องมืออุปกรณ์ หรืออาคารการผลิต และใช้ลดอุณหภูมิความสกปรกของน้ำเสียจะขึ้นกับกระบวนการผลิตและชนิดของส่วนประกอบต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ น้ำเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการชำระล้าง การทำความสะอาดระหว่างกิจกรรมการผลิต เนื่องจากมีไขมัน น้ำมันและของเสียอื่น ๆ ปนเปื้อนอยู่ และน้ำเสียเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้การบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นหลัก ในกรณีที่น้ำเสียนี้น้ำมันและสารแขวนลอยปนเปื้อนสูงอาจใช้ระบบการบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพเป็นระบบบำบัดขั้นต้นก่อน ได้แก่ ตะแกรง บ่อดักไขมัน เป็นต้น ในโรงงานบางแห่งจะมีบ่อเก็บกักไขมัน แล้วกำจัดโดยการสูบทิ้ง หรือระบายลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ นอกจากนี้ในโรงงานฆ่าไก่ที่ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็ก ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจะเหมือนกับโรงงานขนาดใหญ่และขนาดกลาง แต่จะมีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตต่ำความมาก เฉลี่ย 10.5 ลิตร/ตัว น้ำเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกระบวนการลอกและถอนขน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณและลักษณะสมบัติน้ำเสียจากกระบวนการฆ่าและชำแหละไก่แบบมาตรฐาน

แหล่งกำเนิดน้ำเสีย	บีโอดี (ก./ล.)	ซีโอดี (ก./ล.)	สาร แขวนลอย (ก./ล.)	ไนโตรเจน (ก./ล.)	ฟอสฟอรัส (ก./ล.)	น้ำมันและ ไขมัน (ก./ล.)
การฉีดล้างตัวไก่	-	-	-	-	-	-
การต้มเลือด	-	-	-	-	-	-
การล้างเครื่องใน	-	-	-	-	-	-
การลวกและถอนขน	0.900	1.360	0.400	0.210	0.007	0.220
การล้างขน	0.180	0.200	0.080	0.012	0.001	0.053
การแช่เย็น	0.680	1.180	0.510	0.083	0.009	0.813
การตัดแต่ง	0.430	0.670	0.340	0.066	0.008	0.200
การล้างพื้นโรงงาน	-	-	-	-	-	-
น้ำเสียรวม	0.490	0.890	0.500	0.110	0.008	0.218
น้ำทิ้งหลังผ่านการ บำบัด	0.008	0.050	0.020	0.023	0.001	<0.001

ที่มา: กลุ่มการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2568)

ตารางที่ 2 น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

ปี	บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)
2566	60.7	209
2567	75.2	167.3
2568	112	274
เฉลี่ย	82.6	216.8

ที่มา: บริษัท ปริ้นเซส ฟู้ดส์ จำกัด (2566) และ บริษัท เอแอลเอส แลบบอราทอรี กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด (2568)

การบำบัดน้ำเสีย

สิ่งที่สำคัญในการพิจารณาทำระบบบำบัดน้ำเสีย คือ การพิจารณาลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นและเลือกทำระบบบำบัดน้ำเสียให้เหมาะสม เพื่อให้บำบัดน้ำเสียก่อนจะปล่อยออกสู่ชุมชนภายนอก หรือสู่สภาวะแวดล้อมทั่วไปในธรรมชาติ เพื่อช่วยลดการเกิดปัญหาน้ำเสียและเพิ่มคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดให้ดี (Mitrawater, 2566) ซึ่งในปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียมีหลากหลายวิธีการให้เลือกตามความต้องการ

1. วิธีบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือทิ้งออกภายนอกจำเป็นต้องทำการบำบัดให้ได้คุณภาพผ่านเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด และหากว่าน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งสู่ภายนอกโดยไม่ได้ทำการบำบัดจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบและอาจส่งผลกระทบต่อสภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง รวมถึงการบำบัดน้ำเสียเป็นการป้องกันปัญหาน้ำเน่าเสีย ในชุมชน หรือแม่น้ำในบริเวณชุมชนที่มีผู้คนอาศัย ดังนั้นจึงเป็นอีกวิธีการในการช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมลงได้ ซึ่งการบำบัดน้ำเสีย มี 3 แบบ ด้วยกัน ได้แก่

1) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ

เป็นการใช้หลักฟิสิกส์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น แรงแม่เหล็กโลก แรงแเหียง แรงแห็น ศูนย์กลาง ในการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากน้ำเสีย ส่วนมากจะเป็นสารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งมีอยู่หลายวิธีการ แล้วแต่การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

2) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี

การนำสารเคมีมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อทำสารเคมีให้เกิดปฏิกิริยากัน เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เปลี่ยนแปลงไปตามที่กำหนด ซึ่งอาจมีหลายด้าน เช่น ทำให้เกิดการตกตะกอนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ การเพิ่มตะกอนให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ฯลฯ

3) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยานี้ อาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีในน้ำเสีย ทั้งที่อยู่ในรูปของสารละลายและสารแขวนลอยขนาดเล็ก จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสูงสุด คือ แบคทีเรีย สาหร่าย รา และโปรโตซัว การใช้สิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กในการช่วยบำบัดน้ำเสียได้แก่ กระบวนการปรับสภาพน้ำเสียให้ใช้อุปโภคได้ หรือนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด มาใช้ให้เกิดประโยชน์และไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และการเลือกใช้วิธีทางชีววิทยา มีความนิยมมากขึ้น เนื่องจากเป็นการลดต้นทุนและให้ผลลัพธ์ที่ดี ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย แบ่ง

ตามวิธีดำรงชีพได้กว้าง ๆ 2 แบบ คือ พวกที่ใช้ออกซิเจน และ ไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยา จึงแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ตามการดำรงชีพของจุลินทรีย์ คือ

1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment system)

ใช้กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพโดยใช้ออกซิเจนละลายน้ำ หรือออกซิเจนอิสระ ได้แก่ ระบบแอกติเวเตด สลัดจ์ (Activated Sludge, AS) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) และระบบบึงประดิษฐ์ (Wetland) เป็นต้น

2. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anerobic treatment system)

ใช้กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพโดยไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) ระบบคัฟเวอร์ลากูน (Covered Lagoon) ระบบฟิกซ์โดม (Fixed Dome) ระบบยูเอเอสบี (UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม แฟคคัลเททีฟ (Facultative) ที่สามารถดำรงชีวิตได้ทั้งสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

2. ระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Plant) คือ ระบบที่สร้างขึ้นเพื่อรองรับน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม หรือเกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อยู่อาศัยในชุมชน พื้นที่เกษตรกรรมหรือแหล่งที่อยู่อาศัยต่างๆ เพื่อทำการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป จนมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

การบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป อาจมีวิธีการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกเป็น ดังนี้

1) การบำบัดขั้นต้น (Preliminary Treatment) เป็นการบำบัดเพื่อแยกเอาของแข็งขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย โดยใช้เครื่องจักรที่ประกอบไปด้วย ตะแกรงหยาบ ตะแกรงละเอียด ถังตกกรวดทราย ถังตกตะกอนเบื้องต้น และเครื่องกำจัดไขมัน สามารถกำจัดของแข็งที่แขวนลอยได้มากถึง 50-70% เลยทีเดียว

2) การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นการบำบัดทางชีวภาพ อาศัยการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกินสารอินทรีย์ที่รวดเร็ว จากนั้นจึงทำการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียด้วยถังตกตะกอน และนำไปฆ่าเชื้อโรค ก่อนทำการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

3) การบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment หรือ Tertiary Treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร สี สารแขวนลอยที่ตกตะกอนได้ยาก เป็นการปรับปรุงคุณภาพของน้ำให้ดีขึ้นหรือเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้งานใหม่ อีกทั้งยังมีการป้องกันการเติบโตผิดปกติของสาหร่ายที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำเกิดการเน่าเสียได้เป็นอย่างดีอีกด้วยนั่นเอง (Mitwater, 2566)

3. ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสีย มีความสำคัญมากในการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดี และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกเมื่อมีการระบายทิ้ง ซึ่งสามารถแบ่งระบบบำบัดน้ำเสียได้ 6 ประเภท ดังนี้

1) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย สามารถบำบัดน้ำเสีย ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำเสียจากชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีวิธีการเดินระบบที่ไม่ยุ่งยาก ดูแลรักษาได้ง่าย และทนทานต่อการใช้งาน

2) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon หรือ AL) มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งชุมชนที่มีความสกปรกค่อนข้างมากได้ดี ได้รับความนิยมมาก ใช้ทุนในการก่อสร้างต่ำแต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง มีวิธีในการบำรุงรักษาที่ง่ายด้วยเช่นกัน

3) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) เป็นระบบที่ได้รับการยอมรับมากในปัจจุบัน อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียเหมาะสำหรับการใช้บำบัดน้ำเสียจากชุมชน มีวิธีการที่ไม่ซับซ้อน มีการใช้เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียขั้นสูงเข้ามาช่วยด้วย

4) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา ด้วยการใช้แบคทีเรียจำพวกที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังสำหรับเติมอากาศ และถังตกตะกอน

5) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor; RBC) มีหลักการทำงานโดยอาศัยจุลินทรีย์ในการยึดติดเกาะบนแผ่นจานหมุนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ที่ใช้ออกซิเจนจำนวนมากในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เป็นระบบที่การดูแลและบำรุงรักษาง่าย ไม่ต้องควบคุมการเวียนตะกอนกลับ อีกทั้งใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย

6) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch; OD) เป็นระบบที่บำบัดไนโตรเจนได้ดี มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง มีหลักการทำงานเหมือนกับระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วนั้น นำมาแยกจุลินทรีย์ออกด้วยวิธีการตกตะกอนในถังตกตะกอน

ไขมันและน้ำมัน

1. ความสำคัญของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมัน โดยทั่วไปสามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น อีเทอร์ เบนซีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เฮกเซน เป็นต้น แต่ไม่ละลายในน้ำ จัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งชื่อทางเคมี คือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งมีความจำเป็นต่อร่างกาย คือ เป็นสารอาหารและเป็นตัวทำละลายวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งมักพบในอาหารทั่วไป ได้แก่ น้ำมันพืช เนื้อสัตว์ เป็นต้น และในการเกิดปฏิกิริยาของกรดไขมัน (Fatty acid) 3 โมเลกุล กับ 1 โมเลกุลของกลีเซอรอล (Glycerol) ได้เป็น ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์ และไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในรูปของแข็ง คือ ไขมัน (Fat) จะมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และในส่วนของไตรกลีเซอไรด์ที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง คือ น้ำมัน (Oil) (อำนาจ และคณะ, 2550)



ทั้งนี้ไขมันและน้ำมัน มีหลากหลายชนิดตามแหล่งกำเนิด ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปนั่นเอง

2. ไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย

ไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย คือ สารอินทรีย์แต่ละชนิดที่อยู่ในน้ำเสีย ที่สามารถถูกสกัดด้วยการใช้สารละลายน้ำโดยเฮกเซน ตัวอย่างสารอินทรีย์จำพวกนี้ ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ เป็นต้น ซึ่งสารอินทรีย์จำพวกนี้ไม่ละลายน้ำ จะแยกชั้นออกจากน้ำเสียและลอยอยู่ที่ผิวหน้าด้านบนของบ่อพักน้ำเสีย (ธวัชชัย, 2550) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย โดยใช้หลักการ 3 อย่าง ดังนี้

1) ลักษณะความมีขั้ว (Polarity) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ มีขั้ว (Polar) ซึ่งได้จากสัตว์และพืชผัก อาทิ ของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ซึ่งย่อยสลายจนกลายเป็นสารอินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา และชนิดไม่มีขั้ว (Non-polar) ซึ่งมาจากปิโตรเลียม หรือแหล่งแร่ธาตุซึ่งไม่สามารถย่อยสลายทางชีววิทยาได้

2) ความสามารถย่อยสลายทางชีววิทยา (Biodegradability)

3) ลักษณะทางฟิสิกส์ (Physical characteristics) คือการไม่ลอยตัว (Non-floatable) หรือการกระจายตัว (Emulsified) กับ การไม่กระจายตัว (Non-emulsified) ไขมันที่ลอยหรือไม่เกิดการกระจายตัว พบได้ทั่วไปในน้ำทิ้งของชุมชน แต่จะไม่พบในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

เนื่องจากไขมันที่ลอยจะสะสมในท่อน้ำเสียทำให้อุดตัน และไขมันจะตกตะกอน สามารถคัดออกหรือ การดูดซับ (Adsorption) กับของแข็งแล้วนอนก้น และส่วนที่เหลือจะเข้าสู่การบำบัดทางชีววิทยา (สุวัฒน์ศักดิ์, 2551) นอกจากนี้ไขมันและน้ำมันที่พบในน้ำเสีย อาจมาจากโรงงานอุตสาหกรรมและ ร้านอาหาร ซึ่งโดยทั่วไปจะมีไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย ประมาณ 1-1,480 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสีย จากชุมชนมีน้ำมันและไขมันที่เกิดจากเนย เนื้อมัน และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ในช่วง 50-150 มิลลิกรัม ต่อลิตร ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย (พวงเดือน, 2554)

3. ประเภทของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันในน้ำ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) มันที่ละลายน้ำได้ โดยทั่วไปมักเข้าใจว่า น้ำมันไม่เข้ากับน้ำหรือไม่ละลายน้ำ แต่แท้จริงแล้ว น้ำมัน สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิด เบนซินจะละลายได้ดี เช่น น้ำมันเบนซินสามารถละลายน้ำได้ถึง 1,650 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมันที่ละลายน้ำจะมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่สามารถตกตะกอนเพื่อให้รับรู้ได้
- 2) น้ำมันที่ลอยเหนือผิวน้ำ เป็นน้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ จึงเห็นน้ำมันลอยอยู่เหนือผิวน้ำเป็นฝ้าหรือแผ่นฟิล์ม ทำให้ขวางการซึมผ่านของออกซิเจน และแสงแดด
- 3) น้ำมันในรูปอิมัลชัน มีอนุภาคขนาดเล็ก ลักษณะคล้ายคอลลอยด์ และจะมองเห็นเป็นความขุ่นของน้ำ ซึ่งทั้งน้ำมันละลายน้ำหรือลอยน้ำ ก็อาจจะเป็นอิมัลชันได้ หากได้รับแรงกระทำจากภายนอก เช่น แรงสับจากเครื่องสูบน้ำ เป็นต้น และน้ำมันจะอยู่ในรูปอิมัลชันเพิ่มขึ้น ถ้าในน้ำมีสารลดแรงตึงผิว (Detergent) ผสมอยู่ในน้ำด้วย (พวงเดือน, 2554)

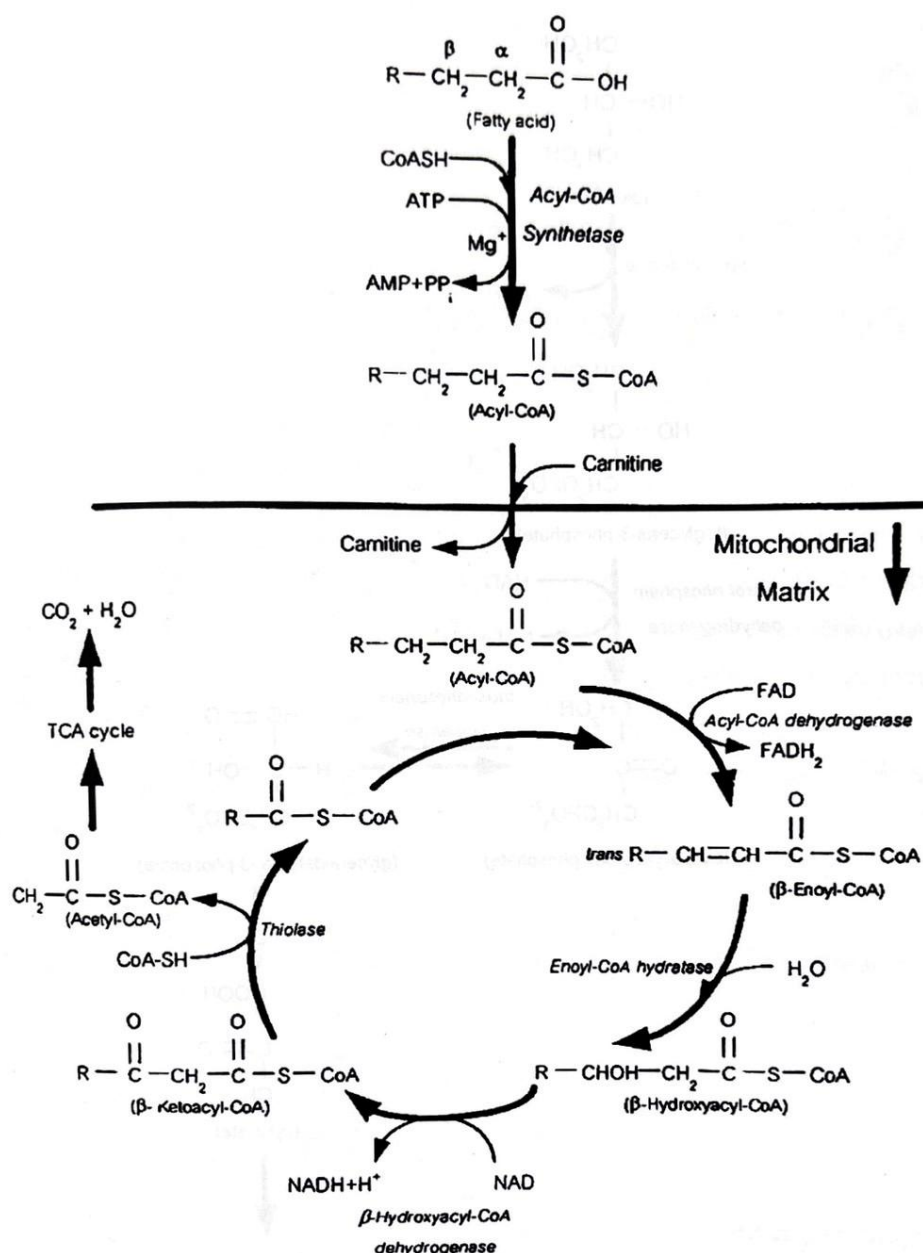
การจัดการไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย

ในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียนั้นมีวิธีการที่หลากหลาย ซึ่งต้องพิจารณาเลือกใช้วิธีการในการกำจัดให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ดี และสามารถกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียได้ดี และคุณภาพน้ำทิ้งต้องผ่านเกณฑ์กำหนดก่อนระบายออกสู่ภายนอกต่อไป

1. การกำจัดไขมันและน้ำมันในระบบบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการย่อยสลายไขมันและน้ำมันโดยการใช้จุลินทรีย์ โดยทั่วไปแล้วนั้นนิยมเลือกใช้ในการกำจัดไขมันและน้ำมันในระบบบำบัดน้ำเสียกันแพร่หลาย ซึ่งเอนไซม์ไลเปสที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์จะถูกขับออกมาที่ภายนอกเซลล์ เพื่อที่เอนไซม์ไลเปสจะทำปฏิกิริยากับไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไตรกลี

เซอร์ไรต์ โดยไตรกลีเซอไรด์เหล่านี้จะถูกไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ที่บริเวณพันธะเอสเทอร์ด้วย เอนไซม์ไลเปส จนได้ออกมาเป็นกลีเซอรอล และกรดไขมัน จากนั้นกรดไขมันถูกนำเข้าสู่กระบวนการ ย่อย โดยวิธี เบตาออกซิเดชัน (β -oxidation pathway) ภายในเซลล์ จนกระทั่งได้เป็น อะซีติลโค เอ (Acetyl - CoA) และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปฏิกริยาแอคติเวชัน การขนส่ง และเบตา-ออกซิเดชันของกรดไขมัน

ที่มา: ฐปน (2552)

ไขมันและน้ำมันที่พบในน้ำเสีย มาจากโรงงานอุตสาหกรรมและร้านอาหารทั่วไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เกิดจากการรวมตัวกันของกลีเซอรอลรวมกับกรดไขมันชนิดต่างๆ ส่วนที่เป็นของเหลว ณ อุณหภูมิปกติ เรียกว่า น้ำมัน ส่วนที่เป็นของแข็งเรียกว่า ไขมัน เป็นสารอินทรีย์ที่มีสเถียรภาพและย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ยาก ซึ่ง ประกอบด้วย สารประกอบไฮโดรคาร์บอน กลีเซอไรด์ สเตียรอยด์ กรดไขมัน ในส่วนไขมันที่พบในน้ำเสีย จะมีกรดไขมันเป็นส่วนประกอบด้วยกัน 2 พวก คือ กรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งรวมทั้ง กรด สเตียริก (Stearic acid) กรดปาล์มิติก (Palmitic acid) เป็นต้น และ กรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งพบว่าเป็นกรดโอเลอิกถึง ร้อยละ 95 เนื่องจากส่วนประกอบต่างๆไม่ละลายน้ำ จึงทำให้ส่วนประกอบดังกล่าวแยกชั้นกับน้ำ ซึ่งหนึ่งในสามของส่วนประกอบดังกล่าว จะอยู่ในลักษณะ Colloid และส่วนที่เหลือจะอยู่ในลักษณะ Supercolloid โดยทั่วไปในน้ำเสียจะมีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบประมาณ 1-1,480 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย โดยพวกน้ำมันรวมทั้งไขมันที่มีอยู่ในน้ำเสียจากชุมชนเกิดจากเนย เนื้อสัตว์ และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ซึ่งมีปริมาณอยู่ในช่วง 50-150 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไขมันและน้ำมันเป็นเอสเทอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ จัดว่าเป็นสารอินทรีย์ประเภทเดียวกับไข(Wax) รวมเรียกว่า ไลปิด (Lipid) ไลปิด เป็นเอสเทอร์ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่ไม่มีขั้วจึงไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายไม่มีขั้ว คือตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ โพรพานอน เบนซีน เป็นต้น ทั้งไขมันและน้ำมันมีโครงสร้างอย่างเดียวกัน คือ เป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล กับกรดไขมัน, กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นสารประเภทแอลกอฮอล์ , กรดไขมัน (Fatty acid) เป็นสารประเภทกรดอินทรีย์, เอสเทอร์ที่เป็นไขมัน และน้ำมัน เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่ากลีเซอไรด์ (Glyceride) หรือ กลีเซอริล เอสเทอร์ (Glyceryl ester) สามารถพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ โดยในพืชส่วนใหญ่จะพบอยู่ในเมล็ดและในผล เช่น มะพร้าว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มะกอก ปาล์ม เมล็ดฝ้าย และเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น ในสัตว์จะพบในไขมันสัตว์ ซึ่งสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เช่น ไขมันวัว หมู แกะ เป็นต้น ไขมันและน้ำมันมีหน้าที่สำคัญคือ เป็นโครงสร้างที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ (อนุสิษฐ์, 2560)

4.2 เอนไซม์ไลเปส

เอนไซม์ไลเปส เป็นเอนไซม์ที่นิยมใช้กันในหลากหลายอุตสาหกรรม ซึ่งการผลิตเอนไซม์ไลเปสทำได้โดยการสกัดจากเซลล์พืชสัตว์และจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากที่จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์เนื่องจากสามารถผลิตได้มาก การผลิตเอนไซม์มีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน ทั้งนี้เอนไซม์ไลเปสแต่ละแหล่งมีคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงต้องเลือกคุณสมบัติของเอนไซม์ไลเปสให้เหมาะสมในการใช้ประโยชน์ โดยเอนไซม์ไลเปสที่ผลิตจากจุลินทรีย์มีข้อได้เปรียบกว่าจากสิ่งมีชีวิตชั้นสูง คือ สามารถนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดหรือควบคุมอุณหภูมิ นอกจากนี้ ยังมีการเติบโตได้รวดเร็ว กระบวนการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียและการควบคุมไม่ยุ่งยาก จึงเป็นทางเลือกที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ที่

จะเลือกใช้จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเป็นความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านชีวภาพ ในการใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตให้ได้มากที่สุด รวมถึงการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับการจัดการของเสียให้นำกลับมาใช้ประโยชน์อีก หรือการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

3. เอนไซม์ไลเปสทางการค้า

คุณสมบัติของเอนไซม์ไลเปสทางการค้า (Properties):

1) กิจกรรมการเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Activity) : คือความสามารถในการย่อยสลายไขมัน (ไตรกลีเซอไรด์) ให้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล และในบางสถานะ (โดยเฉพาะในตัวทำละลายอินทรีย์และมีน้ำน้อย) ยังสามารถเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอสเทอร์ (esterification), การแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ (transesterification), การย้ายหมู่เอสเทอร์ (interesterification), และปฏิกิริยาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบไขมัน

2) ความจำเพาะต่อสับสเตรต (Substrate Specificity): ไลเปสแต่ละชนิดอาจมีความจำเพาะต่อชนิดของกรดไขมัน (เช่น กรดไขมันสายสั้น สายกลาง หรือสายยาว) และตำแหน่งบนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (sn-1, sn-2, sn-3) ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญในการเลือกใช้สำหรับงานเฉพาะทาง.

3) ช่วง pH ที่เหมาะสม (Optimum pH): ไลเปสแต่ละชนิดมีช่วง pH ที่ทำงานได้ดีที่สุดต่างกัน ตั้งแต่กรด กลาง ไปจนถึงด่างเล็กน้อย ซึ่งสำคัญต่อการนำไปใช้ในกระบวนการที่มี pH แตกต่างกัน เช่น ในผงซักฟอก (pH ด่าง) หรือในอาหาร (pH หลากหลาย).

4) อุณหภูมิที่เหมาะสม (Optimum Temperature): อุณหภูมิที่ไลเปสมีกิจกรรมสูงสุดแตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งกำเนิด บางชนิดทนความร้อนได้ดี (thermostable) ซึ่งมีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง.

5) ความคงตัว (Stability): ความสามารถของเอนไซม์ในการรักษากิจกรรมภายใต้สภาวะต่าง ๆ เช่น ความร้อน, pH ที่เปลี่ยนแปลง, การมีอยู่ของสารเคมีบางชนิด หรือตัวทำละลายอินทรีย์. ไลเปสบางชนิดมีความคงตัวสูงในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการสังเคราะห์สารเคมี.

6) รูปร่าง (Form): ไลเปสทางการค้ามักมาในรูปแบบ:

1. ผง (Powder): เป็นรูปแบบที่พบได้บ่อยที่สุด อาจเป็นสีขาวนวลหรือสีเหลืองอ่อน
2. ของเหลว (Liquid): อาจเป็นสารละลายเข้มข้น

3. เอนไซม์ตรึงรูป (Immobilized Enzyme): คือเอนไซม์ที่ถูกตรึงอยู่บนวัสดุรองรับ (support material) เพื่อเพิ่มความคงตัว การนำกลับมาใช้ใหม่ และการแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ตัวอย่างวัสดุรองรับ เช่น เรซิน, ซิลิกา, โพลีเมอร์ เป็นต้น

7) ความบริสุทธิ์ (Purity): โดยทั่วไปแล้ว เอนไซม์ไลเปสทางการค้าไม่ได้บริสุทธิ์สูงเท่าเอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ แต่จะมีความบริสุทธิ์เพียงพอสำหรับการประยุกต์ใช้ทางอุตสาหกรรม ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์เป็นสิ่งสำคัญกว่าความบริสุทธิ์ของโปรตีน.

8) มาตรฐานคุณภาพ (Quality Standards): เช่น ระดับโลหะหนัก (Pb, As), ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยสำหรับการใช้งาน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารและยา.

คุณสมบัติเหล่านี้จะถูกระบุในเอกสารข้อมูลผลิตภัณฑ์ (Technical Data Sheet หรือ Certificate of Analysis) ของเอนไซม์ไลเปสทางการค้าแต่ละชนิด เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสมกับวัตถุประสงค์.

จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ (Microorganism) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก อยู่ในอาณาจักรฟังไจ (Kingdom Fungi) อาณาจักรโปรติสตา (Kingdom Protista) และอาณาจักรโมเนรา (Kingdom Monera) อาจมีเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ เซลล์แต่ละเซลล์สามารถอยู่อย่างอิสระได้ แต่ไม่มีการแบ่งหน้าที่ชัดเจนเหมือนพืชและสัตว์ จุลินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามความซับซ้อนของโครงสร้างของเซลล์ ได้แก่ โปรคาริโอต (Prokaryote) และยูคาริโอต (Eukaryote)

1) เซลล์โปรคาริโอต (prokaryotic cell) เป็นเซลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) และไม่มีออร์แกเนลล์ชนิดที่มีเยื่อหุ้ม ได้แก่ เซลล์แบคทีเรีย (bacteria) และเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria)

2) เซลล์ยูคาริโอต (eukaryotic cell) เป็นเซลล์ที่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และมีออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ในไซโทพลาสซึมที่มีเยื่อหุ้ม ได้แก่ เซลล์ของพวกโปรติสตา (protist) เช่น ยูกลีนา (euglena) พารามีเซียม (paramecium) เซลล์ของพวกเห็ดรา เซลล์ของพืช และเซลล์ของสัตว์ทั่วไป

1. ประเภทของจุลินทรีย์

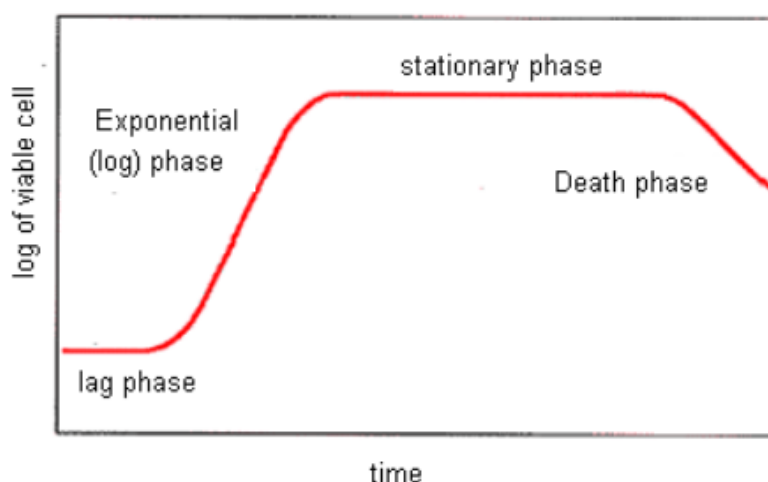
1.1 แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า มีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม บางชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์บางชนิดก่อให้เกิดโรค ส่วนใหญ่เจริญอยู่เป็นอิสระนอกร่างกายมนุษย์ได้ มีเพียงบางชนิดที่ต้องอาศัยอยู่ในเซลล์ของมนุษย์เพื่อดำรงชีวิตเป็นสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรโมเนรา จัดอยู่ในกลุ่มโปรคาริโอต ส่วนใหญ่มีเซลล์เดียว มีรูปร่างหลายแบบ ได้แก่ กลม ท่อน และเกลียว อาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม หรือเป็นสายคล้ายรา ทั้งนี้แบคทีเรียมีระยะการเจริญเติบโต แบ่งเป็น 4 ระยะ ดังนี้

1) Lag phase เป็นระยะที่แบคทีเรียปรับตัวให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมใหม่ เนื่องจากเป็นระยะที่ใส่แบคทีเรียลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ จำนวนแบคทีเรียยังไม่เพิ่มขึ้น เพราะยังไม่แบ่งเซลล์

2) Logarithmic phase หรือ Exponential phase หรือระยะ Log phase เป็นระยะที่แบคทีเรียเจริญเติบโตและแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว แต่ในอัตราคงที่ คือ การแบ่งเซลล์แต่ละครั้งจะใช้เวลาเท่าๆ กัน ระยะนี้ อัตราการเจริญจะมากที่สุด เซลล์ว่องไวที่สุด สารอาหารจะถูกนำไปใช้อย่างมาก และรวดเร็ว

3) Stationary phase เป็นระยะที่แบคทีเรียเจริญเพิ่มจำนวนสูงสุดและคงที่ไม่มีการเพิ่มหรือลดจำนวน แม้จะมีการแบ่งตัวเพิ่มขึ้น แต่ก็จะเท่ากับอัตราการตาย

4) Death phase หรือ Decline phase เป็นระยะที่แบคทีเรียตายอย่างรวดเร็วและตายมากขึ้นจนสม่าเสมอเป็น Exponential หรือ Logarithm สาเหตุการตายของแบคทีเรียอาจเนื่องมาจากสารอาหารที่ใช้เลี้ยงเซลล์หมดไป



ภาพที่ 4 การเจริญของแบคทีเรีย (Growth curve of bacteria)

1.2 เชื้อรา (Fungi) เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์มีผนังเซลล์ทำจากไคตินเจริญเติบโตได้ดีในที่ชื้นและมีอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ *Penicillium* ใช้ผลิตยาปฏิชีวนะเพนิซิลลิน *Saccharomyces cerevisiae* ใช้ทำขนมปังและเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

1.3 ไวรัส (Virus) ไม่ถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตเต็มตัวเพราะต้องอาศัยเซลล์อื่นเพื่อเพิ่มจำนวน มีขนาดเล็กที่สุดในบรรดาจุลินทรีย์ มีสารพันธุกรรมเป็น DNA หรือ RNA ห่อหุ้มด้วยโปรตีน

1.4 โปรโตซัว (Protozoa) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวจัดอยู่ในกลุ่มยูคาริโอต (Eukaryote) ส่วนใหญ่เคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลลัม (Flagellum) หรือซิเลีย (Cilia)

1.5 สาหร่ายจุลินทรีย์ (Microalgae) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์จัดอยู่ในกลุ่มยูคาริโอต สังเคราะห์แสงได้เหมือนพืช ตัวอย่างสาหร่ายจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ *Spirulina* ใช้เป็นอาหารเสริม มีโปรตีนสูง *Chlorella* ช่วยดูดซับสารพิษและใช้เป็นอาหารเสริม ตัวอย่างสาหร่ายที่เป็นโทษ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Cyanobacteria*) สามารถสร้างสารพิษที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ

2. จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส

จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสมี ได้แก่ รา ยีสต์ และแบคทีเรีย รายละเอียดตามตารางที่ 3 สามารถพบได้ในหลายพื้นที่ เช่น น้ำเสียที่ทิ้งออกมาจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานหรืออาคารผลิตสินค้า โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตนม เนย ขนมปัง อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืช น้ำทิ้งจากร้านค้า ร้านอาหาร สถานที่ประกอบอาหาร และในตลาด รวมทั้งยังสามารถพบในดินที่มีน้ำมันปนเปื้อน กองปุ๋ย และเมล็ดพืชบางชนิดที่เซลล์พืชสามารถสร้างน้ำมันขึ้นภายในเมล็ดได้ เป็นต้น

ตารางที่ 3 จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส

จุลินทรีย์	ชนิดของจุลินทรีย์	อ้างอิง
แบคทีเรีย	<i>Lactobacillus</i> sp.,	(M.P and Manjunath, 2011;
- แบคทีเรียแกรมบวก	<i>Bacillus</i> sp.,	Musa and Adebayo-Tayo,
	<i>Bacillus subtilis</i> ,	2012)
	<i>Staphylococcus aureus</i>	
	<i>Artrobacter</i> sp.,	(Abdelali et al., 2011;
- แบคทีเรียแกรมลบ	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> ,	Matsumiya et al., 2007;
	<i>Acinetobacter</i> sp.,	Musa and Adebayo-Tayo,
	<i>Pseudomonas</i> sp.,	2012)
	<i>Burkholderia</i> sp.,	
	<i>Trichoderma</i> sp.,	(Abdelali et al., 2011; M.P
	<i>Trichoderma minutisporum</i> ,	and Manjunath, 2011;
	<i>Trichoderma pleuroticola</i> ,	Matsumiya et al., 2007;
	<i>Trichoderma ressei</i> ,	Musa and Adebayo-Tayo,
รา	<i>Trichoderma fertile</i> ,	2012)
	<i>Aspergillus</i> sp.,	
	<i>Hypocrea patella</i> ,	
	<i>Hypocrea stilbohypoxyli</i> ,	
	<i>Hypocrea neorufa</i>	
ยีสต์	<i>Candida</i> sp.,	(Musa and Adebayo-Tayo,
	<i>Yarrowia</i> sp.	2012)

เอนไซม์ไลเปสที่ได้มาจากจุลินทรีย์แต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับว่ามาจากจุลินทรีย์ชนิดไหนที่ผลิตและชนิดของไขมันที่ตรวจพบในแหล่งที่คัดเลือกจุลินทรีย์ ซึ่งในที่นี้จะแบ่งจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส ได้ 3 จำพวก คือ

2.1 แบคทีเรีย

แบคทีเรียจัดเป็นเซลล์ชั้นต่ำ ซึ่งมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนเหมือนเซลล์ชั้นสูง ยกเว้นผนังเซลล์ที่มีลักษณะซับซ้อนกว่า ในที่นี้จะกล่าวถึงโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์แบคทีเรียซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างภายนอก ได้แก่ แคปซูล ผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ แฟลกเจลลา และพิลไล ส่วนโครงสร้างภายในเป็นองค์ประกอบทั้งหมดของเซลล์ที่ถูกห่อหุ้ม ได้แก่ พลาสมา ไรโบโซม โคโรมาตินกอบอดีส์ สปอร์ เม็ดสี และสารสังเคราะห์แสง ส่วนประกอบของแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียมี 2 ส่วน ดังนี้

- 1) Exopolysaccharide (EPS) หรือ Smile layer หรือ Extracellular polymers (ECP) EPS ประกอบด้วยโปรตีน กรดฮิวมิก กรดยูโรนิก ไขมัน และพอลิแซ็กคาไรด์ โดยจะอยู่รอบเซลล์ของแบคทีเรีย เป็นส่วนประกอบของฟล็อกในระบบบำบัดแบบเอเอส ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของตกตะกอน และการเกิดฟล็อกของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ EPS ยังมีส่วนที่ช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ รวมทั้งโลหะหนักโดยทำหน้าที่ในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย

- 2) พลาสมีด (Plasmid) พลาสมีดเป็นส่วนของสารพันธุกรรมที่มีอิสระซึ่งควบคุมการผลิตเอนไซม์เข้ามาช่วยในการย่อยสลายของเสียหลายชนิดที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ซึ่งสามารถส่งผ่านจากแบคทีเรียชนิดหนึ่งไปสู่แบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียได้

แบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ (Lipolytic bacteria) หมายถึง แบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสที่สามารถย่อยสลายไขมันและน้ำมันได้ (มาริสา และสุชัยญา, 2560) จุลินทรีย์ (Microorganism) เป็น จุลินทรีย์มีขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูจึงจะสามารถมองเห็นได้ ได้แก่ แบคทีเรีย อาร์เคีย รา และ ยีสต์ เป็นต้น เราสามารถพบจุลินทรีย์ได้ทุกสภาวะแวดล้อม แม้แต่ในร่างกายคน สัตว์ รวมไปถึงสภาวะแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตอื่นอยู่ไม่ได้ เช่น บริเวณที่มีสภาพความเป็นกรดต่างสูง หรือแม้กระทั่งในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน ก็ยังสามารถค้นพบจุลินทรีย์อาศัยอยู่ได้

ในการผลิตเอนไซม์ไลเปสเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ มีวิธีการผลิตที่นิยม คือ ใช้แบคทีเรียเนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเอนไซม์ได้ง่ายและใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย อาทิ การศึกษาการเพิ่มกิจกรรมไลเปสของแบคทีเรีย *Exiguobacterium* sp. AMBL-20T ในน้ำมันมะกอก 2% พบว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตไลเปสและมีศักยภาพสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม (Yasin et al., 2021) การศึกษา ไลเปสชนิดใหม่ SCNL ซึ่งถูกแยกออกมาจากสายพันธุ์ NCU S6 ของ

Staphylococcus caprae ให้ผลผลิตของไลเปส 6.13% และมีกิจกรรมจำเพาะ 502.76 U/mg และ SCNL สามารถรักษากิจกรรมเริ่มต้นไว้ได้สูงกว่า 80% ที่อุณหภูมิที่หลากหลาย (20-50 °C) และค่า pH (6-11) ตัวทำละลายอินทรีย์ (ไอโซออกเทน กลีเซอรอล DMSO และเมทานอล) และไอออนโลหะ (Na^+ , Ba^{2+} , Ca^{2+} และ Mn^{2+}) ช่วยเพิ่มกิจกรรมของไลเปส โดยค่า K_m และ V_{max} ของ SCNL เท่ากับ 0.695 mM และ 262.66 s⁻¹ mM⁻¹ ตามลำดับ คุณสมบัติทางชีวเคมีเหล่านี้ของ SCNL แสดงให้เห็นว่าอาจเป็นไลเปสตัวใหม่ที่ยอดเยี่ยม สำหรับใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพ (Zhao et al., 2021)

2.2 เชื้อรา

เชื้อราถือได้ว่าเป็นแหล่งผลิตเอนไซม์ไลเปสที่ดี และได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกลุ่มที่ผลิตอาหาร มีการศึกษาพบว่า *Aspergillus niger* หลาย ๆ สายพันธุ์ผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ดีและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างในอุตสาหกรรม ได้แก่ *Aspergillus aculeatus* เชื้อราเส้นใยที่ผลิตไลเปสจากขยะอุตสาหกรรมครีมเทียม เพื่อนำมาใช้พัฒนาในอุตสาหกรรม (Triyaswati and Ilmi, 2020) การศึกษาไลเปส (triacylglycerol hydrolases, EC 3.1.1.3) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญทางอุตสาหกรรมสูง

2.3 ยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์อีกประเภทหนึ่งที่มีผู้ศึกษาถึงคุณสมบัติในการผลิตเอนไซม์ไลเปสและได้มีการศึกษาการผลิตเอนไซม์จนถึงระดับการค้าเนื่องจากยีสต์ที่ใช้ศึกษาไม่ก่อให้เกิดโรค นอกจากนี้ยังมีการใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ การใช้ ยีสต์ไลเปสชนิดใหม่ *Meyerozyma guilliermondii* ซึ่งเป็นการผลิตไลเปสโดยใช้เวย์ชีส ที่เป็นกรดและมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนต่ำ (Knob et al., 2020)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์ไลเปสของจุลินทรีย์

การผลิตเอนไซม์ไลเปส (lipase) ของจุลินทรีย์นั้นอาจมีผลกระทบจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง ทั้งนี้ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเอนไซม์ไลเปสและสิ่งที่มีผลกระทบต่อการผลิตเอนไซม์ไลเปสของจุลินทรีย์ เพื่อนำมาพัฒนาอุตสาหกรรมหรือเป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้จุลินทรีย์ให้เกิดประโยชน์ อาทิเช่น มาริสา และสุชัยญา (2560) ได้ศึกษาการผลิตเอนไซม์ไลเปสของจุลินทรีย์ พบว่าจะขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์, ปริมาณสารอาหาร เช่น แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน ค่า pH ที่เหมาะสม และอุณหภูมิ (จุฬากานต์ บุญมี, 2552) ได้อธิบายการผลิตเอนไซม์ไลเปสของจุลินทรีย์ ที่ต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน ความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH) และอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยแต่ละด้าน อาจแบ่งได้ดังนี้

3.1 ปัจจัยด้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Microbial Growth Factors) ชนิดของจุลินทรีย์ที่ต่างกันจะสามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้แตกต่างกันไป เช่น รา, ยีสต์, หรือ แบคทีเรีย ซึ่งบางชนิดสามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้มากและบางชนิดผลิตเอนไซม์ไลเปสได้น้อย ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับช่วงของระยะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ในช่วงระยะที่มีการสร้างและแบ่งเซลล์ (Exponential phase) มากที่สุด อีกทั้งมาจากแหล่งอาหาร (Carbon Source) โดยเฉพาะการใช้แหล่งคาร์บอนต่าง ๆ เช่น น้ำมันพืช, กลีเซอรอล หรือไขมันสัตว์สามารถกระตุ้นการผลิตเอนไซม์ไลเปสในจุลินทรีย์ได้นั่นเอง

3.2 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Factors)

อุณหภูมิ (Temperature) จุลินทรีย์ที่ผลิตไลเปสได้นั้น จะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน ซึ่งจุลินทรีย์จะสามารถผลิตเอนไซม์ได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเจริญเติบโตในช่วงของอุณหภูมิที่จุลินทรีย์ต้องการ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้การผลิตลดลงหรือเกิดการทำลายเอนไซม์

พีเอช (pH) การรักษาค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิด จะช่วยให้การผลิตเอนไซม์ไลเปสมีประสิทธิภาพมากที่สุด พีเอชที่เหมาะสมมักจะอยู่ในช่วง 6 - 8 ขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์แต่ละชนิด

ความเข้มข้นของออกซิเจน สำหรับจุลินทรีย์ที่อาศัยออกซิเจนในการเจริญเติบโต (aerobic) ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสม และมีปริมาณที่เพียงพอ สามารถส่งเสริมการผลิตเอนไซม์ไลเปสได้

3.3 ปัจจัยทางชีวเคมี (Biochemical Factors)

สารอาหารเสริม (Nutrient Supplementation) สารอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม อาจช่วยกระตุ้นการผลิตเอนไซม์ไลเปสได้

ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน แหล่งคาร์บอนที่มีความเข้มข้นสูง เช่น ไขมันจากพืชหรือสัตว์ สามารถกระตุ้นการผลิตไลเปส

3.4 ปัจจัยทางพันธุกรรม (Genetic Factors)

การกลายพันธุ์ การกลายพันธุ์ของจุลินทรีย์บางชนิดอาจส่งผลให้มีการผลิตเอนไซม์ไลเปสได้สูงขึ้น หรือสามารถทำให้จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ได้ประสิทธิภาพที่ดี

4. กระบวนการย่อยสลายไขมันของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียและเชื้อรา มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายไขมัน (lipid degradation) โดยใช้เอนไซม์เฉพาะที่เรียกว่า ไลเปส (lipase) เพื่อสลายไขมันให้กลายเป็นสารประกอบที่เล็กลง และนำไปใช้เป็นพลังงานหรือสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายไขมันของจุลินทรีย์ มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการย่อยสลายไขมันของจุลินทรีย์

1) การเกิดอิมัลชันของไขมัน (Emulsification)

ไขมันไม่สามารถละลายในน้ำได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องมีการทำให้อยู่ในรูปอิมัลชันก่อน สารลดแรงตึงผิวจากจุลินทรีย์ (Biosurfactants) เช่น Rhamnolipids หรือ Sophorolipids ช่วยแตกตัวไขมันเป็นหยดเล็ก ๆ

2) การย่อยไขมันด้วยเอนไซม์ไลเปส (Lipase Action)

เอนไซม์ไลเปส (EC 3.1.1.3) จะเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ให้กลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids, FFA) และกลีเซอรอล (Glycerol)

ปฏิกิริยาไลเปส



3) การย่อยสลายกลีเซอรอลและกรดไขมัน

กลีเซอรอล ถูกเปลี่ยนเป็นไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต (Dihydroxyacetone phosphate, DHAP) และเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis)

นำกรดไขมันเข้าสู่กระบวนการ β -oxidation เพื่อผลิต Acetyl-CoA ซึ่งเข้าสู่ Krebs Cycle และสร้างพลังงานในรูปแบบ ATP

กระบวนการ β -oxidation



Acetyl-CoA จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Krebs Cycle) NADH และ FADH_2 จะถูกใช้ในห่วงโซ่การถ่ายโอนอิเล็กตรอน (ETC) เพื่อสร้างพลังงาน



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุวัฒน์ศักดิ์ (2551) ศึกษาการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียของโรงงานผลิตปลาซม ด้วย จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส โดยการคัดแยกจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินและน้ำ 30 ตัวอย่าง ด้วย เทคนิค Enrichment culture เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการย่อยไขมันและน้ำมันที่เติมในน้ำเสีย สังเคราะห์ระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า มีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไขมันและน้ำมันได้ และศึกษา สภาพที่เหมาะสมของการใช้เชื้อจุลินทรีย์ผสม 3 ไอโซเลท มาใช้ในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน เช่น *Bacillus cereus* , *Acinetobacter baumannii* และ *Pseudomonas stutzeri* พบว่า เมื่อศึกษา ประสิทธิภาพของถังแยกไขมันของระบบแยกและย่อยไขมัน โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานปลาซมศรีทนต์ ตำบลบ้านสาบ อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 150 ลิตร พบว่ามีไขมันและน้ำมัน 160.40 กรัมต่อลิตร ถังแยกกำจัดไขมันและน้ำมันได้ ร้อยละ 99.57 โดยน้ำเสียที่ออกมา มีไขมันและน้ำมัน 0.69 กรัมต่อ ลิตร และประสิทธิภาพถังย่อยไขมัน โดยใช้ น้ำเสีย เป็นเวลา 13 วัน พบว่า กำจัดไขมันและน้ำมันได้ ร้อยละ 96.82 และมีซีไอดี ร้อยละ 70.82 จากผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการ บำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันปนเปื้อนจากอุตสาหกรรมอื่นๆต่อไป

พัชรนันท์ (2557) ศึกษาการโคลนและสมบัติของยีนไลเปสจาก *Bacillus sp.* ที่ผลิตเอนไซม์ ไลเปสประสิทธิภาพสูง ซึ่ง *Bacillus sp.* BLCD003 สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสในอาหาร Production medium ที่มีน้ำมันปาล์ม 1 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมเอนไซม์สูงสุด เท่ากับ 1.0 ± 0.09 หน่วยต่อมิลลิลิตร เมื่อศึกษาระดับอนุชีววิทยาถึงยีนสังเคราะห์เอนไซม์ไลเปส สามารถจำแนกยีนส์ไล เปสบางส่วนของ *Bacillus sp.* BLCD003 (308 bp) ซึ่งมีลำดับนิวคลีโอไทด์คล้ายคลึงสูงสุดกับลำดับ นิวคลีโอไทด์ของยีนไลเปสจาก *Bacillus pumilus* และมีลำดับกรดอะมิโน (103 residues) คล้ายคลึงสูงสุดกับลำดับกรดอะมิโน ของเอนไซม์ไลเปสจาก *Bacillus pumilus*

ประชุมพร และคณะ (2558) ศึกษาประสิทธิภาพของกลุ่มแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ในการย่อย สลายไขมัน และบำบัดน้ำเสียของโรงอาหารมหาวิทยาลัย เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่บ่อดักไขมันของโรง อาหารของมหาวิทยาลัย ด้วยวิธี Grab Sampling ทดลองแบบแบทช์ที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบใน การเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 วัน ผลการทดลองพบว่า กลุ่มแบคทีเรียคัตสายพันธุ์สามารถ ลดค่า BOD₅ ได้ร้อยละ 40-65 โดย *B. subtilis* มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่า BOD₅ คือลดได้ ร้อยละ 62.66 รองลงมาคือ *S. epidermidis* และ *P. aeruginosa* ลดได้ร้อยละ 52.31 และ 42.05 ตามลำดับ นอกจากนี้ *P. aeruginosa* มีประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายไขมัน ร้อยละ 48.98 ซึ่ง มีประสิทธิภาพมากกว่า *B. subtilis* และ *S. epidermidis* ที่ลดได้ร้อยละ 32.65 และ 26.53 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.001$)

พรพิมล และคณะ (2560) ศึกษาเพื่อคัดแยกแบคทีเรียจากน้ำทิ้งของโรงอาหารที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันรวมถึงศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน ในตัวอย่างน้ำเสียไขมันสังเคราะห์ การทดสอบขั้นต้น ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tributyrin agar เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ไลเปสจากแบคทีเรียบริสุทธิ์จำนวน 20 ไอโซเลท (WA1 – WA20) ที่ได้จากการสุมโคลน พบว่ามีจำนวน 9 ไอโซเลท หรือเท่ากับ 45% ที่ให้วงใสรอบบริเวณเชื้อ ได้แก่ ไอโซเลท WA4 WA5 WA8 WA9 WA11 WA13 WA14 W18 และ WA19 โดย ไอโซเลท WA5 ให้ขนาดวงใสของการย่อยสลายไขมันสูงสุดเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร พบว่าเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างท่อน 44.44% และแกรมบวก รูปร่างกลม 22.22% แกรมลบรูปร่างท่อน 33.33% การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายไขมันและน้ำมันในน้ำเสียไขมันสังเคราะห์โดยวิธี Partition gravimetric พบว่าไอโซเลท WA5 มีประสิทธิภาพย่อยสลายไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย ไขมันสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบจากไขมันพืชและไขมันสัตว์ได้เฉลี่ย 20.44% และ 52.84% ตามลำดับ *Bacillus subtilis* มีประสิทธิภาพ 7.20% และ 10.72% ตามลำดับ แสดงว่าเชื้อไอโซเลท WA5 สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสและมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน มากกว่า *B. subtilis* ประมาณ 3-5 เท่า

ปิยภรณ์ และจันทร์เพ็ญ (2560) ทดสอบประสิทธิภาพเอนไซม์ไลเปสในการขจัดไขมันบนผ้าฝ้าย พบว่าเอนไซม์ไลเปสที่ผลิตได้จากแบคทีเรียไอโซเลท MUM1-5 และ POSW-1 มีเปอร์เซ็นต์การขจัดน้ำมันมะกอกออกจากผ้าฝ้ายสูงที่สุด เท่ากับ 94.05 และ 98.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับการจดจำแนกแบคทีเรียโดยการวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน 16S rRNA พบว่า ไอโซเลท MUM1-5 คล้ายกับ *Chromobacterium violaceum* ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ และไอโซเลท POSW-1 คล้ายกับ *Lysinibacillus* sp. ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่นำไปสู่การศึกษาต่อทางด้านการทำเอนไซม์ให้บริสุทธิ์ และการนำเอนไซม์ไปสู่การประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อไป

มาริสสา และสุชัญญา (2560) ศึกษาแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสจากดิน และน้ำเสียที่มาจากตลาดสด และร้านอาหาร และหาประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันในน้ำของแบคทีเรียเสียสังเคราะห์พบว่าคัดแยกแบคทีเรียจากดิน 2 ไอโซเลท ได้แก่ LS1 และ LS2 และคัดแยกจากน้ำเสีย 24 ไอโซเลท ได้แก่ แบคทีเรีย LWW1 - LWW24 และนำไปทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปส พบว่า แบคทีเรีย *Bacillus pumilus* LWW2, *Bacillus pumilus* LWW8, *Bacillus pumilus* LWW9 และ *Serratia quinivorans* LWW13 มีกิจกรรมเอนไซม์ไลเปสเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 202.69 ± 4.50 , 186.18 ± 6.88 , 193.69 ± 4.50 และ 177.18 ± 5.20 หน่วยต่อมิลลิลิตรตามลำดับ จากนั้นนำแบคทีเรียทั้ง 4 ไอโซเลท มาศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น น้ำมันและไขมันเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลา 40 ชั่วโมง แบคทีเรีย *Bacillus pumilus* LWW2,

Bacillus pumilus LWW8, *Bacillus pumilus* LWW9 และ *Serratia quinivorans* LWW13 มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันเฉลี่ยร้อยละ 86.13 ± 0.24 , 86.79 ± 0.13 , 91.24 ± 0.10 และ 76.50 ± 0.36 ตามลำดับ

สุชัยญา และคณะ (2561) ศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากน้ำเสียจากร้านอาหารในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า แบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสจากน้ำเสียแยกได้ 5 ไอโซเลท คือ LWW1, LWW2, LWW3, LWW4 และ LWW5 ซึ่งมีค่าดัชนีเอนไซม์ไลเปสเฉลี่ยเท่ากับ 1.27 ± 0.07 , 1.31 ± 0.67 , 2.22 ± 0.00 , 1.28 ± 0.08 และ 1.25 ± 0.05 ตามลำดับ และมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปส เฉลี่ยเท่ากับ 144.14 ± 4.50 , 105.11 ± 10.40 , 129.13 ± 5.20 , 135.14 ± 4.50 และ 157.66 ± 4.60 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นำไอโซเลท LWW5 มาศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยน้ำมันและไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นเริ่มต้นอยู่ที่ความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 32 ชั่วโมง แบคทีเรียสามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันเฉลี่ยร้อยละ 85.19 ± 0.27 โดยระบุสายพันธุ์ของแบคทีเรียด้วยเทคนิคทางชีวโมเลกุลและวิธีทางชีวเคมี พบว่าแบคทีเรีย LWW5 คือ *Bacillus pumilus*

จิรภัทร และคณะ (2562) ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้จุลินทรีย์ทางการค้า 3 ชนิด ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน (EM1, EM2, EM3) พบว่า EM2 ลดปริมาณไขมันได้ 500 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร สูงสุดเท่ากับ $73.33 \pm 4.71\%$ และทดสอบในระบบจำลองที่ไม่เติมสารอาหารโดยใช้น้ำเสียจริงที่ปนเปื้อนไขมันจากโรงอาหารหน้าหอพักหญิง มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี พบว่า EM2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้สูงกว่าเชื้อประจำถิ่นในน้ำเสีย เท่ากับ 58.61 ± 6.19 และ $9.57 \pm 2.66\%$ ของไขมันทั้งหมดในน้ำเสีย ถูกย่อยสลายโดย EM2 และเชื้อประจำถิ่น ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์หลายชนิดในหัวเชื้อ EM2 มีประสิทธิภาพสูงในการลดปริมาณไขมันปนเปื้อนในน้ำเสียจริง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วย EM2 มีคุณภาพดีกว่าน้ำเสียก่อนการบำบัด โดยมีค่า pH 6.7 ค่าซีโอดี (COD) 96.71 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าบีโอดี (BOD) 20.7 มิลลิกรัม/ลิตร

วิจิตรา (2562) ศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในการลดปริมาณไขมัน น้ำมัน และซีโอดี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดในการลดปริมาณไขมันและน้ำมัน และซีโอดีการศึกษาครั้งนี้เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง มาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดไขมันและน้ำมัน และซีโอดีในแบบจำลองถังย่อยไขมัน โดยแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองบรรจุน้ำเสีย ผลการวิจัยพบว่า (1) ชุดทดลองที่ 4 จุลินทรีย์จากตะกอนที่สูตรการเจือจาง 1:15 มีประสิทธิภาพการบำบัดไขมันและ

น้ำมัน สูงสุดร้อยละ 58.2 รองลงมาคือชุดทดลองที่ 3, 2 และ 1 ร้อยละ 56.6, 35.9 และ 26.4 ตามลำดับ

รัฐภูมิ และคณะ (2563) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของถัสดักไขมันด้วยแบคทีเรียในการบำบัดน้ำเสียจากตลาดสด เพื่อยกระดับการจัดการของน้ำเสียในตลาดสดเทศบาล 3 และตลาดดอนกลาง จังหวัดอุบลราชธานี ผลการศึกษาพบว่า *Bacillus pumilus*. strain UBU5 ผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ดีที่สุด โดยมีค่าดัชนีและค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปสเฉลี่ยเท่ากับ 2.99 ± 0.47 และ 287.14 ± 2.86 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตร ถัสดักไขมันมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันเฉลี่ย $73.20 \pm 9.05\%$ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรีย *B. pumilus*. strain UBU5 ที่ได้รับเลือกและนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของถัสดักไขมันจากร้านอาหารได้ และการเติม *B. pumilus*. strain UBU5 ในถัสดักไขมันช่วยลดความถี่ในการถัสดักไขมันออกจากถัสดักไขมัน โดยที่ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไม่ลดลง มีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ในการยกระดับการจัดการน้ำเสียของตลาดสดได้ *pumilus*. strain UBU5 ที่ผ่านการคัดเลือกและทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ สามารถกำจัดไขมันและน้ำมัน และมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของถัสดักไขมันจากร้านอาหารได้ นอกจากนี้การเติม *B. pumilus*. strain UBU5 ในถัสดักไขมันช่วยลดความถี่ในการถัสดักไขมันออกจากถัสดักไขมันโดยที่ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไม่ลดลง และมีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ในการจัดการน้ำเสียของตลาดสดได้

อภิขญา และคณะ (2562) ศึกษาเพื่อคัดแยกแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส และศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่คัดเลือกได้มาทำการย่อยสลายน้ำมัน จากน้ำเสียในบ่อดักไขมันโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อดักไขมันโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แล้วเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหารที่มีน้ำมันมะกอกเป็นแหล่งคาร์บอน แยกแบคทีเรียได้ 13 ไอโซเลต เมื่อทำการศึกษา ต่อด้วยวิธี double layer technique พบว่ามีเพียง 1 ไอโซเลต ที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสได้ จากนั้นนำแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ มาศึกษาด้วยวิธีการย้อมแกรม พบว่า แบคทีเรียติดสีแกรมลบ รูปร่างท่อน และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันของแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ โดยศึกษาเปรียบเทียบน้ำมัน 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะกอก น้ำมันปาล์ม น้ำมันงา และน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าแบคทีเรียที่คัดเลือกได้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันปาล์มได้ดีที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เท่ากับ 13.98 ± 1.93 , 26.98 ± 6.7 , 33.94 ± 2.91 และ 64.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อทำการตรวจวัดที่ 96 ชั่วโมง พบว่าแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ สามารถย่อยสลายน้ำมันปาล์มได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ น้ำมันมะกอก น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันงา ตามลำดับ

สิรินาถ และคณะ (2561) ศึกษาแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส จากน้ำเสียการผลิตปลาซึ่ม ในจังหวัดพะเยา โดยคัดแยกจากแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนสี bromocresol purple ในจานอาหาร screening medium จากสีม่วงเป็นสีเหลือง บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบแบคทีเรียที่มีลักษณะแตกต่างกันทั้งหมด 29 ไอโซเลท สามารถย่อยสลายไตรบิวไทรินบนจานอาหาร TA แล้วเกิดโซนใสรอบ โคโลนี (Clear zone) ทั้งหมด 6 ไอโซเลท ได้แก่ WS1, WA6, WA9, WA11, WL12 และ WL13 การวิเคราะห์ค่า ดัชนีเอนไซม์ไลเปสและค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปสพบว่า WL12, WA6 และ WL13 มีค่าดัชนีเอนไซม์ไลเปส สูงสุดเท่ากับ 2.86, 2.80, 2.64 และมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปสสูงสุด เท่ากับ 151.45, 150.90, 141.89 หน่วยต่อ มิลลิลิตร ตามลำดับ และนำไประบุสายพันธุ์ของแบคทีเรียพบว่าไอโซเลท WS1, WA6, WA9, WA11, WL12 และ WL13 คือ *Staphylococcus cohnii*, *Bacillus* sp., *Burkholderia multivorans*, *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus warneri* และ *Bacillus* sp. ตามลำดับ



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง

1. การคัดเลือกแบคทีเรีย

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง คัดเลือกมาจากแบคทีเรียจำนวน 8 ชนิด ที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างเอนไซม์ไลเปสได้สูงสุด และเป็นแบคทีเรียที่ไม่ก่อให้เกิดโรค มา 2 ชนิด ได้แก่ *Bacillus tropicus* และ *Bacillus thuringiensis* เป็นแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ไลเปส ได้รับการทดสอบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

วัสดุและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

1. การเพิ่มจำนวนเชื้อแบคทีเรีย

- 1.1 จานเพาะเชื้อ
- 1.2 ปีกเกอร์
- 1.3 ขวดรูปชมพู่
- 1.4 หลั้วถ่ายเชื้อ
- 1.5 กระบอกตวง
- 1.6 ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 1.7 หลอดไมโครทิวป์
- 1.8 ขวด Duran
- 1.9 แท่งแก้ว
- 1.10 ตะแกรงวางหลอดทดลอง
- 1.11 เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Incubator shaker)
- 1.12 หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)
- 1.13 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH meter)
- 1.14 ตู้บลมร้อน (Hot air oven)
- 1.15 ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator)
- 1.16 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

1.17 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง

1.18 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมัน

2.1 ไขมันและน้ำมัน

2.2 ปีกเกอร์

2.3 ขวดรูปชมพู่

2.4 กรวยแยก

2.5 ครูชีเบิล

2.6 ถาดสแตนเลส

2.7 ตู้บลมร้อน (Hot air oven)

2.8 คีมคีบ

2.9 โถดูดความชื้น

2.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

2.11 เครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็กและเตาให้ความร้อน (Magnetic stirrer and hot plate)

3. การวิเคราะห์ค่า COD

3.1 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ขนาด 1,000 มล.

3.2 หลอด COD ขนาด 20x150 มม.

3.3 ที่ใส่หลอดทดลอง (Test Tube Rack)

3.4 ตู้บลมร้อน (Hot air oven) 150 ± 2 °C

3.5 ปิเปตขนาด 1 มล.

3.6 ปิเปตขนาด 10 มล.

3.7 ลูกยางปิเปต

3.8 ปีกเกอร์ ขนาด 250 มล.

3.9 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล.

3.10 บิวเรต ขนาด 50 มล.

แนวทางดำเนินการวิจัย

ในการทดลองเป็นการศึกษาอัตราส่วนของเชื้อแบคทีเรียและประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้เพื่อกำจัดไขมันและน้ำมัน จากกระบวนการผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง โดยมีขั้นตอนการศึกษาวิจัย ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนงานวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสที่ใช้ในการย่อยไขมันและน้ำมัน

นำหัวเชื้อแบคทีเรียที่ได้ทำการทดสอบแล้วว่าสามารถย่อยสลายไขมัน จากห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จำนวน 8 ไอโซเลท ไปทดสอบค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส และทำการคัดเลือกไอโซเลทที่ไม่ก่อให้เกิดโรค มาทำการศึกษาในการทดลองต่อไป

นำหัวเชื้อแบคทีเรีย ที่คัดเลือกได้มาทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา โดยการย้อมสีแบบแกรม (Gram's staining) ดูลักษณะของโคโลนี และ นำมาทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) ด้วยวิธีของ (Khyami-Horani, 1996) หลังจากนั้น นำหัวเชื้อทั้งสองชนิดมาเพิ่มปริมาณในอาหารเหลวสูตร Nutrient Broth (NB) เข้าเครื่องเขย่าในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง ตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตร (OD₆₆₀) เท่ากับ 0.5 เพื่อนำมาใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้น

2. การศึกษาชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะห้องปฏิบัติการ

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (สุวัฒน์ศักดิ์, 2551) โดยให้น้ำเสียที่มีค่า COD ใกล้เคียงกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง พร้อมทั้งเติมน้ำมันถั่วเหลือง (ongun) 10% นำน้ำเสียที่เตรียมได้ไปทดสอบการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน โดยเติมน้ำเสีย 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล. เติมหเชื้อ *B. tropicus* และ *B. thuringiensis* ที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร (OD₆₆₀) เท่ากับ 0.5 ของเชื้อแบคทีเรียแต่ละไอโซเลทตามชุดการทดลองที่กำหนดไว้ ที่สัดส่วนเท่ากับ ร้อยละ 0, 5 และ 10 ตามลำดับ ลงในขวด มีค่า pH เริ่มต้น เท่ากับ 7.0 - 8.0 ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วัน โดยวางแผนการทดลองออกเป็น 7 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (น้ำเสียสังเคราะห์)

ชุดการทดลองที่ 2 *B. tropicus* (5%) V/V

ชุดการทดลองที่ 3 *B. tropicus* (10%) V/V

ชุดการทดลองที่ 4 *B. thuringiensis* (5%) V/V

ชุดการทดลองที่ 5 *B. thuringiensis* (10%) V/V

ชุดการทดลองที่ 6 เชื้อแบคทีเรียผสม *B. tropicus* และ *B. thuringiensis* อัตราส่วน 1:1 (5%) V/V

ชุดการทดลองที่ 7 เชื้อแบคทีเรียผสม *B. tropicus* และ *B. thuringiensis* อัตราส่วน 1:1 (10%) V/V

วิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันในวันที่ 0 และวันที่ 7 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันของแบคทีเรียแต่ละชนิด การวิเคราะห์ทางสถิติ และคัดเลือกชุดการทดลองที่สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ดีที่สุดเพื่อนำไปทดลองลำดับต่อไป

3. การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้าในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งในสภาวะห้องปฏิบัติการ

นำน้ำเสียจากโรงงานอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง มาทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันของแบคทีเรีย โดยใช้เชื้อแบคทีเรียที่สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ดีที่สุดจากการทดลอง 2 โดยเติมน้ำเสีย 100 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล. เติมเชื้อแบคทีเรียที่สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ดีที่สุดจากการทดลอง 2 ที่วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร (OD_{660}) เท่ากับ 0.5 ของเชื้อแบคทีเรียตามชุดการทดลองที่กำหนดไว้ ที่มีความเข้มข้น เท่ากับ ร้อยละ 0, 5 และ 10 ตามลำดับ ลงในขวด มีค่า pH เริ่มต้น เท่ากับ 6.0 - 8.0 ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 วันโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ข้าง ในสภาวะห้องปฏิบัติการ เป็นเวลา 7 วัน ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 (ควบคุม)) น้ำเสียจากโรงงานอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

ชุดการทดลองที่ 2 (แบคทีเรีย) สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ดีที่สุดจากการทดลอง 2

ชุดการทดลองที่ 3 (เอนไซม์ทางการค้า)

วิเคราะห์ปริมาณไขมันในน้ำเสีย ในวันที่ 0 และวันที่ 7 เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันของแบคทีเรียในสัดส่วนที่กำหนด เปรียบเทียบกับการใช้เอนไซม์ทางการค้า และการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูป วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลความแปรปรวน โดยวิธี One-way analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชิงซ้อนเพื่อจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธี Duncan's new multiple's range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากการศึกษา

4. การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้าในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง โดยใช้ถังปฏิกรณ์เป็นพลาสติกทึบ ขนาด 20 ลิตร ใช้น้ำเสีย 15 ลิตร

นำน้ำเสียจากโรงงานอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง มาทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันของแบคทีเรียและเอนไซม์ทางการค้า โดยเติมเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพย่อยไขมันและน้ำมันได้ดีที่สุดจากการทดลอง 2 เติมน้ำเสีย 15 ลิตร ลงถังปฏิกรณ์ ขนาด 20 ลิตร เติมน้ำเชื้อแบคทีเรียที่ผ่านการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ (OD660) เท่ากับ 0.5 ของเชื้อแบคทีเรีย สัดส่วน 5% และชุดการทดลองที่ใช้เอนไซม์ทางการค้าตามอัตราส่วนที่ใช้จริงในโรงงาน ค่า pH เริ่มต้น 7.0-8.0 ใช้อุณหภูมิห้องในการดำเนินการทดลอง และเติมอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 14 วัน เก็บตัวอย่างน้ำเสีย ทุก 2 วัน เพื่อตรวจวิเคราะห์ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง การทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 (ควบคุม) น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

ชุดการทดลองที่ 2 แบคทีเรีย ที่สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ดีที่สุดที่คัดเลือกได้

ชุดการทดลองที่ 3 เอนไซม์ทางการค้า จำนวน 0.5 มล. : น้ำตัวอย่าง 1 ลิตร (อัตราส่วนที่ใช้จริงในโรงงาน)

วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย ทุก 2 วัน ของชุดการทดลอง ที่ทำการทดลอง ค่า COD และ ค่า pH เทียบกับการใช้เอนไซม์ทางการค้า และการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูป วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลความแปรปรวน โดยวิธี One-way analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชิงซ้อนเพื่อจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธี Duncan's new multiple's range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากการศึกษา

5. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

ทำการคำนวณต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย ระหว่างการใช้เอนไซม์ทางการค้าเปรียบเทียบกับ การใช้เชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส

สถานที่ดำเนินงานวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ห้องปฏิบัติการกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย คือ เดือน กรกฎาคม 2567 ถึง ธันวาคม 2567



บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การคัดเลือกและเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส ที่ใช้ในการย่อยไขมันและน้ำมัน

จากการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส พบว่าไอโซเลทที่ SC1 SC2 SC3 SC4 SC5 SC6 SC7 และ W2A มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Lipase Activity) เท่ากับ 166.25 101.25 157.50 85.00 100.00 113.75 116.25 และ 140.75 หน่วยต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ตารางที่ 4

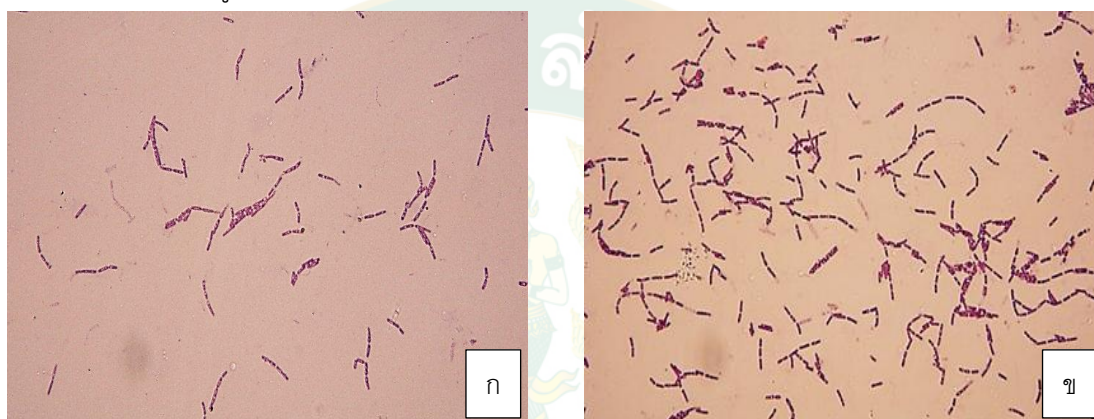
ตารางที่ 4 ค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปส (Lipase Activity) ของเชื้อแบคทีเรียและการก่อโรค

Isolate	แบคทีเรีย	การก่อโรค	กิจกรรม เอนไซม์ไลเปส
SC1	<i>Bacillus tropicus</i>	ไม่ก่อโรค	166.25
SC2	<i>Bacillus tropicus</i>	ไม่ก่อโรค	101.25
SC3	<i>Aeromonas veronii</i>	ก่อโรค	157.50
SC4	<i>Bacillus tropicus</i>	ไม่ก่อโรค	85.00
SC5	<i>Escherichia coli</i>	ก่อโรค	100.00
SC6	<i>Aeromonas allosaccharophila</i>	ก่อโรค	113.75
SC7	<i>Aeromonas allosaccharophila</i>	ก่อโรค	116.25
W2A	<i>Bacillus thuringiensis</i>	ไม่ก่อโรค	140.75

จากตารางที่ 4 ผลทดสอบค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปสของเชื้อแบคทีเรีย ทั้ง 8 ไอโซเลท นำมาตรวจสอบการก่อโรคของเชื้อแบคทีเรีย โดยตรวจสอบจาก รายชื่อจุลินทรีย์ในกลุ่มเสี่ยงที่ 1 และ รายชื่อจุลินทรีย์ในกลุ่มเสี่ยงที่ 2 (National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), 2568ก, 2568ข) ซึ่งพบว่า จุลินทรีย์ ที่มีค่ากิจกรรมเอนไซม์ไลเปสสูงสุด ทั้ง 2 ไอโซเลท คือ *B. tropicus* และ *B. thuringiensis* ซึ่งได้เชื้อแบคทีเรียมาจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จำนวน 2 ชนิด มาใช้ในการทดลอง *B. tropicus* ไอโซเลทที่ SC1 มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส

สูงสุด เท่ากับ 166.25 หน่วยต่อมิลลิลิตร และ W2A ที่มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส ลำดับรองลงมา เท่ากับ 140.75 หน่วยต่อมิลลิลิตร และทั้งสองไอโซเลท ตรวจพบว่า ไม่อยู่ในรายชื่อจุลินทรีย์ในกลุ่มเสี่ยงที่ 1 และ รายชื่อจุลินทรีย์ในกลุ่มเสี่ยงที่ 2 ซึ่งสรุปได้ว่าเป็นแบคทีเรียที่ไม่ก่อโรค จึงพิจารณาเลือกแบคทีเรีย 2 ชนิด ดังกล่าวข้างต้น มาใช้ในการทดลอง

เมื่อนำแบคทีเรีย *B. tropicus* และ *B. thuringiensis* มาเลี้ยงในอาหารเหลว เช้าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลักษณะทางกายภาพของเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* และ *B. thuringiensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว พบว่าทั้งสองไอโซเลท มีลักษณะโคโลนี เป็นรูปท่อน สีน้ำตาล ดัดสีแกรมบวก ลักษณะของเชื้อแบคทีเรีย ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการกำจัดไขมัน

(ก) *B. thuringiensis*

(ข) *B. tropicus*

เชื้อแบคทีเรีย *B. thuringiensis* และ *B. tropicus* เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปส ซึ่งมีการนำเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างไลเปส มาศึกษาและค้นคว้าเพื่อพัฒนาในหลากหลายด้าน ได้แก่ การนำ *B. thuringiensis* มาศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มเพาะกิจกรรมของไลเปส ต่อปริมาณความชื้นของผงกากมะพร้าวแห้ง (*Cocos nucifera* L.) (Murtius et al., 2022) การใช้ *B. thuringiensis* ที่สร้างไลเปสได้ มาย่อยสลายดีเซล โดยสามารถย่อยสลายดีเซลได้ดีที่สุดที่ 41.4% (Adegoke et al., 2020) เป็นต้น ในส่วนของเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* ยังไม่พบว่ามีงานนำไปใช้ และศึกษาคุณสมบัติในแต่ละด้านที่ชัดเจน

การศึกษาชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส ในการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะห้องปฏิบัติการ

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 5) พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันเมื่อเริ่มต้นการทดลองที่ 11.59 ± 0.003 กรัม/ลิตร และเมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน พบว่าชุดการทดลองที่ 2 (*B. tropicus*, 5%) มีการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมันมากที่สุดคือ 4.29 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ 37.02% รองลงมาได้แก่ ชุดการทดลองที่ 3 (*B. tropicus*, 10%) มีการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมัน 4.28 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ 36.98% และชุดการทดลองที่ 6 ที่เป็นเชื้อผสมของ (*B. tropicus* และ *B. thuringiensis*, 5%) มีการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมัน 4.23 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ 36.51% ซึ่งพบว่าทั้งสามชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 4 *B. thuringiensis* (5%) พบว่ามีการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่ที่ 3.93 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ 33.96% ซึ่งสามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมันได้ลำดับรองลงมา และในชุดการทดลองที่ 5 (*B. thuringiensis*, 10%) พบว่ามีการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่ที่ 3.62 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ 31.24% และเมื่อพิจารณาถึงชุดการทดลองที่ 7 ที่เป็นเชื้อผสมของ (*B. tropicus* และ *B. thuringiensis*, 10%) นั้นพบว่าการลดลงของปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่ที่ 3.55 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันที่ 30.60% ซึ่งพบว่าไม่แตกต่างกัน ทั้งยังสามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมันได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่มีการเติม *B. tropicus* เพียงชนิดเดียวเช่นกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า *B. tropicus* มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณน้ำมันและไขมันได้ดีกว่า *B. thuringiensis* และการใส่เชื้อผสมระหว่าง *B. tropicus* และ *B. thuringiensis* ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสของ *B. tropicus* นั้นมีค่ากิจกรรม 166.25 ยูนิต/มิลลิกรัม ซึ่งมากกว่าค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสของ *B. thuringiensis* ที่มีค่า 140.75 ยูนิต/มิลลิกรัม สำหรับการเติมเชื้อผสมนั้นพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันได้ค่อนข้างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเดี่ยว อย่างไรก็ตามพบว่าการใส่จุลินทรีย์ไม่ว่าจะชนิดเดียวหรือแบบผสมจะทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดน้ำมันและไขมันดีขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่หลังจากสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันได้เพียง 0.33% เท่านั้น จะเห็นได้ว่าการเพิ่มแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสในระบบบำบัดน้ำเสียสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการบำบัดน้ำมันและไขมันได้ (Salihu et al., 2011) ดังนั้นจากการศึกษา พบว่า *B. tropicus* ทั้งความเข้มข้น 5% และ 10% และ *B. tropicus* + *B. thuringiensis* (5%) มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน มากสุด นั้นเมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%

พบว่าไม่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 1 สำหรับการนำไปใช้งานจึงเลือกใช้ *B. tropicus* 5% เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและไขมันได้ดี และเพื่อประหยัดต้นทุนในการซื้อเชื้อแบคทีเรียเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

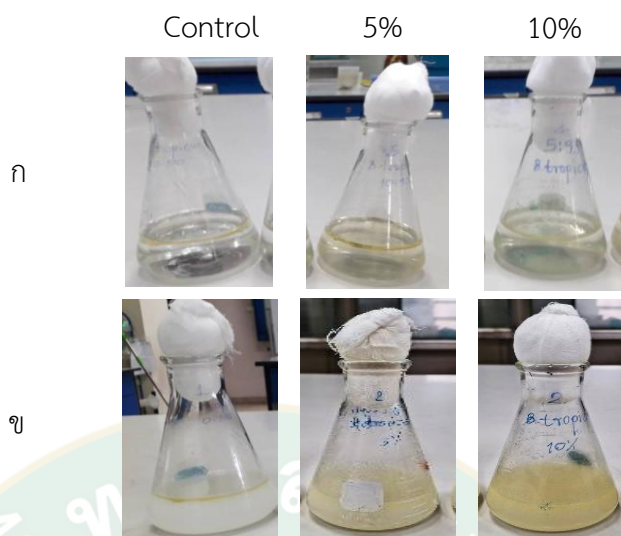
สำหรับการใส่เชื้อผสมนั้นพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและไขมันค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับเชื้อเดี่ยว ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการแก่งแย่งระหว่างประชากรของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ที่เป็น *Bacillus* spp. เหมือนกัน อาศัยแหล่งทรัพยากรที่คล้ายคลึงกัน ทำให้แต่ละชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไม่ดีเท่ากับชุดการทดลองที่ใส่เพียงชนิดเดียว ทั้งนี้พบว่ามีการวิจัยหลายฉบับที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เชื้อผสมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและไขมันในน้ำเสีย ได้ดีกว่าการใช้เชื้อเดี่ยว อาทิ *Bacillus pumilus* และ *Serratia quinivorans* (สุชัยญา และคณะ, 2561) *Bacillus subtilis* และ *P. aeruginosa* (ประชุมพร และคณะ, 2558) และการใช้เชื้อแบคทีเรีย *Aeromonas jandaei* ในการย่อยสลายไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ 3% ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและไขมัน ที่ 98.37% (Sukplang et al., 2024) เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่าการใส่จุลินทรีย์ไม่ว่าจะชนิดเดียวหรือแบบผสมจะทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดไขมันและไขมันดีขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่หลังจากสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและไขมันได้เพียง 0.33% เท่านั้น จะเห็นได้ว่าการเพิ่มแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสในระบบบำบัดน้ำเสียสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการบำบัดไขมันและไขมันได้ (Salihu et al., 2011) ผลการศึกษาพบว่า *B. tropicus* มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและไขมันมากที่สุด โดยที่ทั้งความเข้มข้นเริ่มต้น 5% และ 10% นั้นให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน สำหรับการนำไปใช้งานจึงเลือกใช้ชุดทดลอง *B. tropicus* 5% เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและไขมันมากที่สุดและเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 5 ชนิด อัตราส่วนและประสิทธิภาพในการลดลงของปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย
สังเคราะห์ของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในระยะเวลา 7 วัน

ชุด ทดลอง	แบคทีเรีย	ไขมันและน้ำมัน (กรัมต่อลิตร)		ไขมัน ลดลง (กรัมต่อลิตร)	% การลดลง
		วันที่ 0	วันที่ 7		
1	Control	11.59±0.003	11.56±0.061	0.04±0.063	0.33±0.471 ^d
2	<i>B.tropicus</i> (5%)	11.59±0.003	7.30±0.210	4.29±0.212	37.02±1.823 ^a
3	<i>B.tropicus</i> (10%)	11.59±0.003	7.30±0.223	4.29±0.220	36.98±1.900 ^a
4	<i>B.thuringiensis</i> (5%)	11.59±0.003	7.65±0.216	3.93±0.215	33.96±1.850 ^b
5	<i>B.thuringiensis</i> (10%)	11.59±0.003	7.97±0.136	3.62±0.137	31.24±1.185 ^c
6	<i>B.tropicus</i> + <i>B.thuringiensis</i> (5%)	11.59±0.003	7.36±0.104	4.23±0.104	36.51±0.894 ^a
7	<i>B.tropicus</i> + <i>B.thuringiensis</i> (10%)	11.59±0.003	8.04±0.097	3.55±0.521	30.60±0.813 ^c

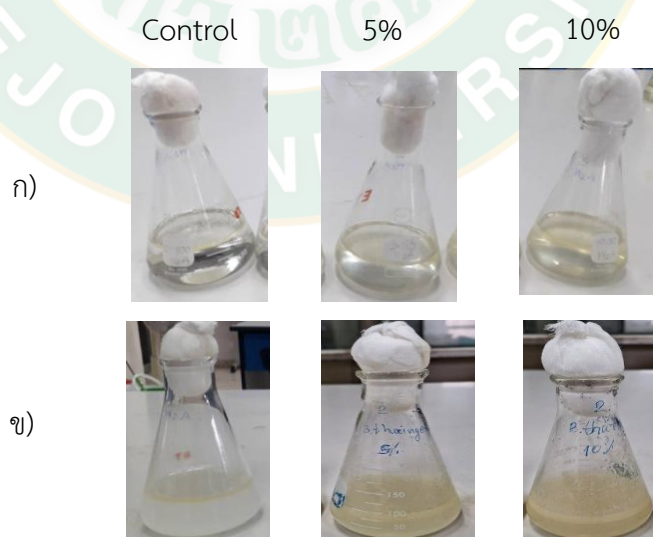
นำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ด้วย ANOVA เพื่อดูความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มของประชากร ซึ่งเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันระหว่างการใช้แบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปส และเอนไซม์ไลเปสทางการค้าและทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดการทดลองด้วย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 5 พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($P>0.05$) ระหว่างชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เติมแบคทีเรีย *B. tropicus* ชุดการทดลองที่เติม *B. thuringiensis* และการเติมแบคทีเรียผสม ระหว่าง *B. tropicus* + *B. thuringiensis* ซึ่งการเติมแบคทีเรีย *B. tropicus* 5% *B. tropicus* 10% และ *B.thuringiensis* (5%) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งพิจารณาเลือกเติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* 5% ใช้ในการทดลอง

ผลการทดลองในการศึกษาชนิด อัตราส่วนและประสิทธิภาพในการลดลงของปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในระยะเวลา 7 วัน ที่มีการเติมเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus tropicus* 5% และ *Bacillus tropicus* 10% ตามภาพที่ 7



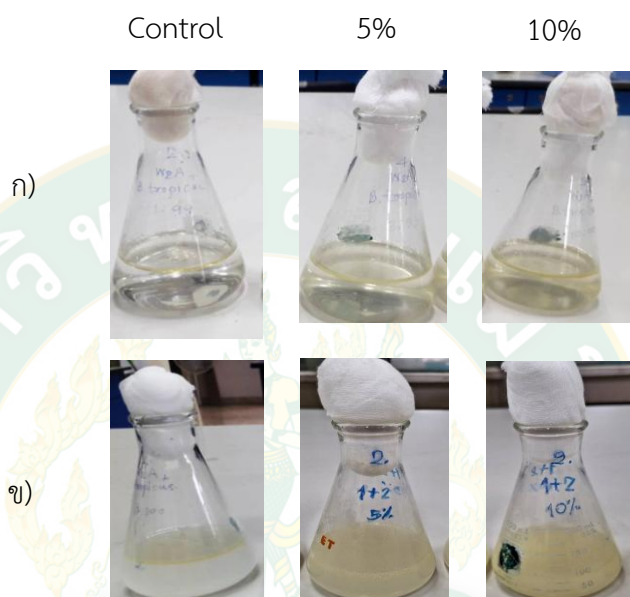
ภาพที่ 7 ลักษณะของน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ที่เติมเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus tropicus*
0%, 5% และ 10% ระยะเวลา 7 วัน
ก) วันที่ 0 ข) วันที่ 7

ผลการทดลองในการศึกษาชนิด อัตราส่วนและประสิทธิภาพในการลดลงของปริมาณไขมัน และน้ำมันในน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในระยะเวลา 7 วัน ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียที่มีการเติมเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* 5% และ *Bacillus thuringiensis* 10% ตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะของน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ที่เติมเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis*
0%, 5% และ 10% ระยะเวลา 7 วัน
ก) วันที่ 0 ข) วันที่ 7

ผลการทดลองในการศึกษาชนิด อัตราส่วนและประสิทธิภาพในการลดลงของปริมาณไขมัน และน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในระยะเวลา 7 วัน ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย ที่มีการเติมเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* + *Bacillus thuringiensis* 5% และ *Bacillus thuringiensis* + *Bacillus thuringiensis* 10% ตามภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เติมเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus tropicus* และ *Bacillus thuringiensis* 0%, 5% และ 10% ระยะเวลา 7 วัน

ก) วันที่ 0

ข) วันที่ 7

**การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้า
ในการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง
ในสภาวะห้องปฏิบัติการ**

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ซึ่งคุณสมบัติของน้ำเสียเบื้องต้นก่อนการนำมาทดลองมีรายละเอียดตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง (น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด)

ที่	พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	ผลตรวจวิเคราะห์	หน่วย
			ก่อนเข้าระบบบำบัด	
1	BOD	≤ 20	67.94 ± 32.233	มิลลิกรัมต่อลิตร
2	COD	≤ 120	188.1 ± 51.568	มิลลิกรัมต่อลิตร
3	Oil & Grease	≤ 5	5.0 ± 1.927	มิลลิกรัมต่อลิตร
4	TKN	≤ 100	18.59 ± 10.522	มิลลิกรัมต่อลิตร
5	TDS	$\leq 3,000$	372.5 ± 72.488	มิลลิกรัมต่อลิตร
6	SS	≤ 50	115.0 ± 33.364	มิลลิกรัมต่อลิตร
7	pH	5.5 - 9	7.8 ± 0.095	มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา: บริษัท ปริ้นเซส ฟูดส์ จำกัด (2566) และ บริษัท เอแอลเอส แลบอราทอรี กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด (2568)

ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในสภาวะห้องปฏิบัติการ ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 7 วัน โดยตรวจสอบ ปริมาณไขมันและน้ำมัน COD และ pH ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. ปริมาณไขมันและน้ำมัน

ปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 7.10 กรัม/ลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในวันที่ 7 นำตัวอย่างน้ำเสียมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมัน พบว่าเชื้อแบคทีเรีย *B.tropicus* 5% ในชุดการทดลองที่ 2, การเติมเอนไซม์ทางการค้า ในชุดการทดลองที่ 3 และชุดควบคุม ในชุดการทดลองที่ 1 สามารถลดไขมันลงได้ โดยมีปริมาณไขมันเท่ากับ 2.44, 4.88 และ

5.42 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมัน เท่ากับ 65.6% , 31.3% และ 23.8% สรุปได้ว่าผลการสกัดไขมันและน้ำมันของน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง โดยการใช้เชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* 5% มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน ได้ดีที่สุด โดยสามารถลดปริมาณไขมัน เท่ากับ 2.44 กรัม/ลิตร (ตารางที่ 7)

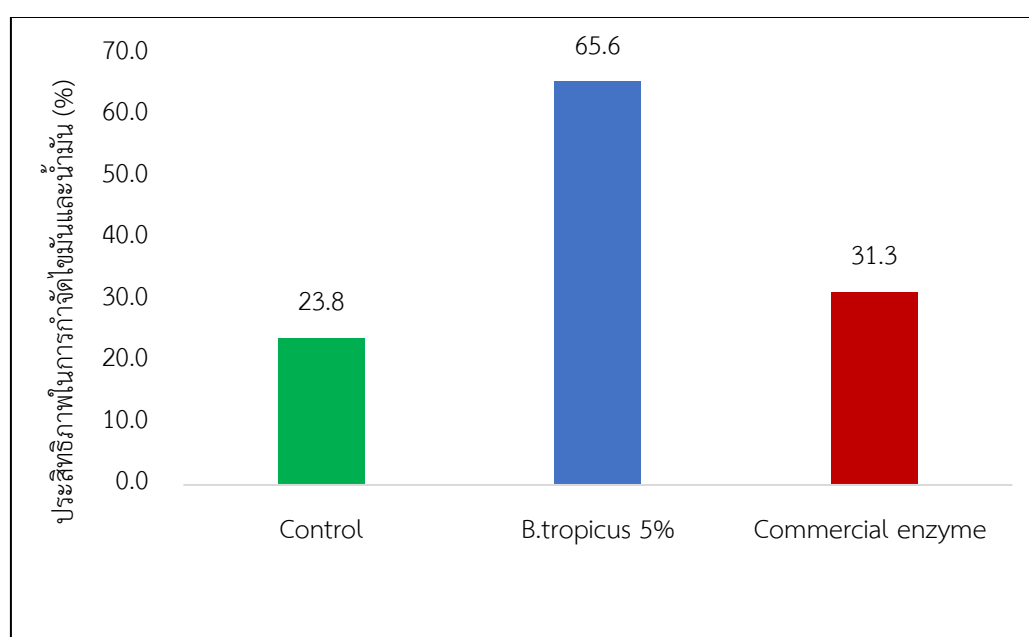
ตารางที่ 7 ชนิด อัตราส่วนและประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสเทียบกับเอนไซม์ทางการค้า ในระยะเวลา 7 วัน

ชุดทดลอง	แบคทีเรีย	ไขมันและน้ำมัน (กรัมต่อลิตร)		ไขมันลดลง (กรัมต่อลิตร)	% การ ลดลง
		วันที่ 0	วันที่ 7		
1	Control	7.10±0.005	5.42±0.161	1.68	23.8
2	<i>B. tropicus</i> (5%)	7.10±0.005	2.44±0.032	4.66	65.6
3	Commercial enzyme	7.10±0.005	4.88±0.092	2.22	31.3

จากผลการทดลอง ตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่เติมเชื้อ *B. tropicus* (5%) พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดไขมันได้ดีที่สุด จากปริมาณน้ำมันและไขมัน 7.10 กรัมต่อลิตร ลดลงอยู่ที่ 2.44 กรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้เท่ากับ 4.66 กรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 65.6 ทั้งนี้ เนื่องจากแบคทีเรียสามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณของแบคทีเรียที่มีเพิ่มขึ้นในน้ำเสียและปริมาณสารอินทรีย์ที่ลดลงซึ่งจุลินทรีย์ใช้ไปในการเจริญเติบโตของเซลล์ ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 3 (Commercial enzyme) ที่เติมเอนไซม์ทางการค้า พบว่าสามารถกำจัดไขมันได้และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้ลำดับรองลงมา ซึ่งสามารถกำจัดน้ำมันและไขมัน ลดลงอยู่ที่ 4.88 กรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้เท่ากับ 2.22 กรัมต่อลิตร สำหรับชุดควบคุม พบว่า มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในชุดการทดลองทั้งหมด เนื่องจากปริมาณของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีอยู่ในน้ำเสียค่อนข้างน้อยโดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปส ทำให้จุลินทรีย์ค่อย ๆ เจริญเติบโตไปอย่างช้าๆ

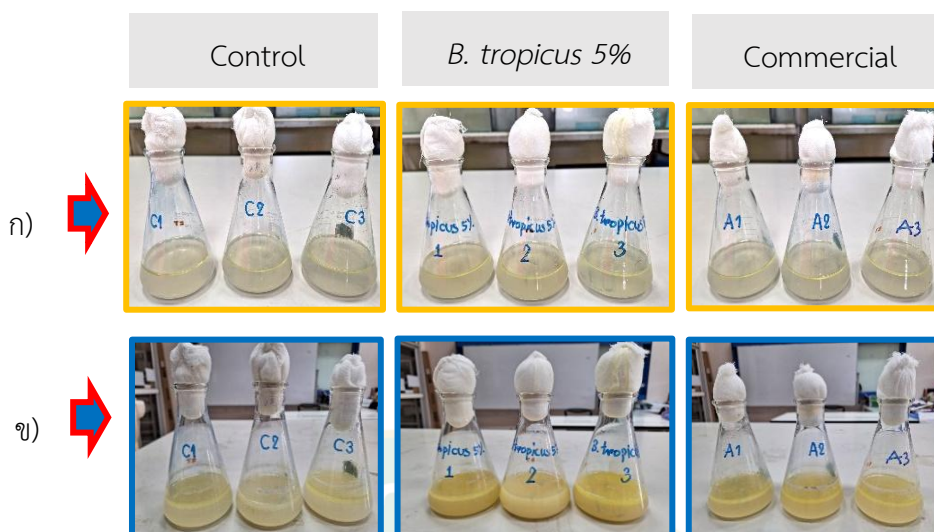
จากผลการศึกษาตามภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่า การทดลองที่ใช้ น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันได้ดีกว่าในการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันของชุดควบคุม พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน เท่ากับ

23.8% และในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พบว่ามีประสิทธิภาพน้อยมากเพียง 0.3% ในชุดการทดลองที่ 2 (*B. tropicus*, 5%) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน 65.6% และในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ 37.0% จุลินทรีย์เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่สามารถกำจัดไขมันได้ เชื้อแบคทีเรียหลายชนิดในธรรมชาติสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันได้ ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัด อาจมีความแตกต่างกันตามชนิดของแบคทีเรียและน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ



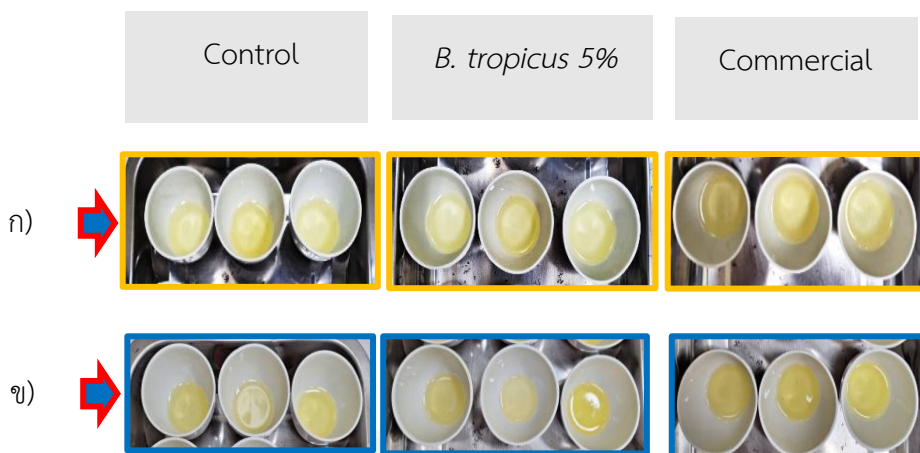
ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ของ *B. tropicus* 5% และเอนไซม์ทางการค้า (ระยะเวลา 7 วัน)

จากการทดลองในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งที่เติมแบคทีเรีย ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส ในระยะเวลา 7 วัน มีลักษณะทางกายภาพ ตามภาพที่ 11 ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างน้ำเสียที่มีการเติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* 5% กับการใช้เอนไซม์ทางการค้า สามารถอธิบายได้ว่าตัวอย่างน้ำเสียที่มีการเติมเชื้อแบคทีเรีย นั้น มีการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย โดยสังเกตได้จากน้ำเสียตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น ซึ่งแสดงว่าเชื้อแบคทีเรียสามารถย่อยสลายไขมันและน้ำมันได้ และการเติมเอนไซม์ทางการค้าในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง สามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้เช่นกัน ซึ่งสังเกตจากน้ำเสียที่มีลักษณะสีเหลือง แต่มีความขุ่นเล็กน้อย ซึ่งความขุ่นของน้ำเสียจะน้อยกว่าการเติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* 5%



ภาพที่ 11 ลักษณะทางกายภาพของการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไขมันในน้ำเสียของ
โรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ *B. tropicus* 5%
และเอนไซม์ทางการค้า (ระยะเวลา 7 วัน)
ก) วันที่ 0 ข) วันที่ 7

ผลการทดลองในการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียของ
โรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในการเติมแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในระยะเวลา 7 วัน
มีลักษณะทางกายภาพ ตามภาพที่ 12 ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างน้ำเสียที่มีการเติมเชื้อ
แบคทีเรีย *B. tropicus* 5% กับการใช้เอนไซม์ทางการค้า สามารถอธิบายได้ว่าตัวอย่างน้ำเสียที่มีการ
เติมเชื้อแบคทีเรียนั้น มีการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าการใช้เอนไซม์ทางการค้า โดยสังเกต
ได้จากปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ ที่เหลือน้อยกว่า น้ำเสียตัวอย่างที่มีการเติมเอนไซม์ทางการค้าในน้ำเสีย
ของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ซึ่งสามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันในน้ำเสียได้ ซึ่ง
สังเกตจากปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของการเติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* 5% หลังจากทำการสกัด
ไขมัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันได้ดีกว่า การใช้เอนไซม์ทางการค้า



ภาพที่ 12 ลักษณะทางกายภาพของไขมันหลังการทดลอง ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ *B. tropicus* 5% และเอนไซม์ทางการค้า (ระยะเวลา 7 วัน)

ก) วันที่ 0

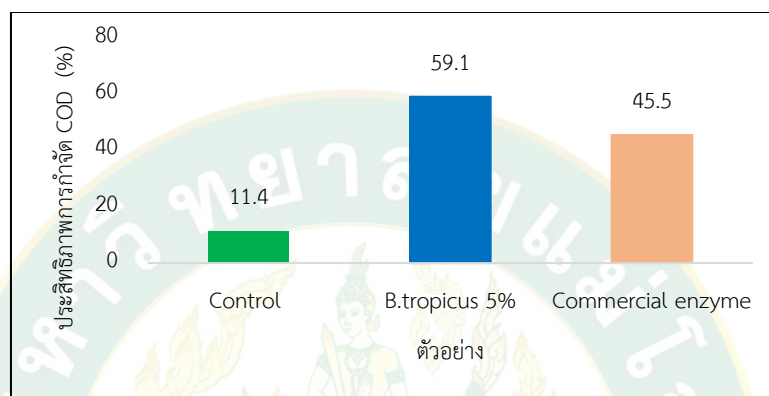
ข) วันที่ 7

2. COD

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด COD ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ *B. tropicus* 5% และเอนไซม์ทางการค้า แสดงดังภาพที่ 13 พบว่า ค่า COD ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง มีค่า COD เริ่มต้นเท่ากับ 195.66 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 7 พบว่าในชุดการทดลองที่เติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus*, 5% มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้ดีที่สุด คือมีค่า COD เท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเท่ากับ 59.1%, รองลงมาคือตัวอย่างน้ำเสียที่เติมเอนไซม์ทางการค้า มีค่า COD เท่ากับ 106.67 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเท่ากับ 45.5%, และชุดควบคุม มีค่า COD เท่ากับ 173.33 มิลลิกรัม/ลิตร หรือเท่ากับ 11.4% ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่า น้ำเสียที่เติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus*, 5% มีประสิทธิภาพการสลายไขมันดีที่สุด โดยมีค่า COD น้อยที่สุด

ทั้งนี้ในการทดลองชุดที่ 2 นั้น มีจุลินทรีย์ที่เติมลงไปในน้ำเสีย จะเริ่มใช้สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย พร้อมทั้งสร้างเอนไซม์ไลเปสเพื่อย่อยสลายไขมันให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และเป็นแหล่งพลังงาน ส่งผลให้ปริมาณของ COD ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียนั้นถูกย่อยสลายและมีปริมาณที่ลดลง ในขณะที่การทดลองชุดที่ 3 (Commercial enzyme) มีการเติมเอนไซม์ไลเปสเพื่อกำจัดไขมัน แต่ไม่ได้เติมจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์เริ่มต้นมีอยู่น้อย การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์และการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงเกิดได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่เติมจุลินทรีย์ สำหรับการทดลองชุดควบคุม มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้น้อยที่สุดเนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นในน้ำเสียนี้น้อย โดยเฉพาะการย่อยไขมันที่เป็นไปได้ค่อนข้าง

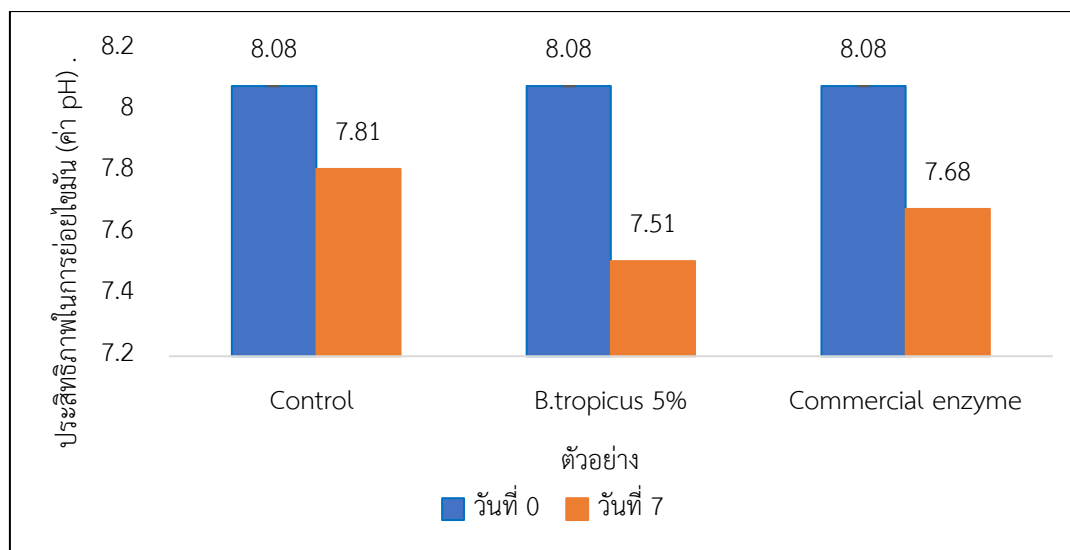
ยาก ซึ่งจะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD มีไม่มาก โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD มากที่สุดคือชุดการทดลองที่เติมแบคทีเรีย *B. tropicus* 5% โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 59.1% ในขณะที่การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสในการกำจัดไขมันในงานวิจัยอื่น ๆ นั้น อาจมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งที่ใช้ทดลองในครั้งนี้เป็นน้ำที่ผ่านระบบดักไขมันแล้ว ทำให้สารอินทรีย์เริ่มต้นมีค่าน้อย โดยมี COD กรอง เริ่มต้น เท่ากับ 195.66 มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพที่ 13 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ *B. tropicus* 5% และเอนไซม์ทางการค้า

3. pH

สำหรับค่า pH ดังภาพที่ 14 เมื่อเริ่มต้นการทดลอง ในวันที่ 0 น้ำเสียมีค่า pH เท่ากับ 8.08 และเมื่อสิ้นสุดในวันที่ 7 พบว่า ชุดการทดลอง (ชุดควบคุม), ชุดที่เติมเชื้อแบคทีเรีย (*B. tropicus*, 5%) และชุดที่เติมเอนไซม์ทางการค้า มีค่า pH เท่ากับ 7.81, 7.51 และ 7.68 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า มีค่า pH ลดลง ในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย รวมไปถึงไขมันให้เป็นกรดไขมัน ไขมันอิสระ (Free fatty acids) ถ้าผลจากผลผลิตของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากขบวนการย่อยสลายไขมันเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ pH ลดลงมากขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่เติมเชื้อแบคทีเรีย (*B. tropicus*, 5%) มี pH ลดลงมากที่สุด จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้มากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่ใช้ Commercial enzyme ถึงแม้จะไม่ได้มีการเติมจุลินทรีย์ แต่ก็มีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เกิดขึ้น (Adulkar and Rathod, 2013) และท้ายสุดคือชุดควบคุม เนื่องจากมีเฉพาะจุลินทรีย์ดั้งเดิมของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งเท่านั้น จึงเกิดการย่อยน้ำมันได้ค่อนข้างช้า



ภาพที่ 14 ค่า pH ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ B. tropicus 5% และเอนไซม์ทางการค้า

การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้าในการกำจัดไขมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียที่ผ่านการดักและตกไขมันที่ลอยเหนือน้ำออกเบื้องต้นโดยลักษณะของน้ำเสีย ตามภาพที่ 15



ก)

ข)

ภาพที่ 15 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

ก) น้ำเสียที่ยังไม่ตกไขมัน

ข) น้ำเสียที่ตกไขมันแล้ว

เอนไซม์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลแดงเข้ม มีกลิ่นฉุนเฉพาะ โดยลักษณะของเอนไซม์ทางการค้า ตามภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ลักษณะของเอนไซม์ทางการค้าสำหรับใช้บำบัดน้ำเสีย
ของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อสัตว์แช่แข็ง

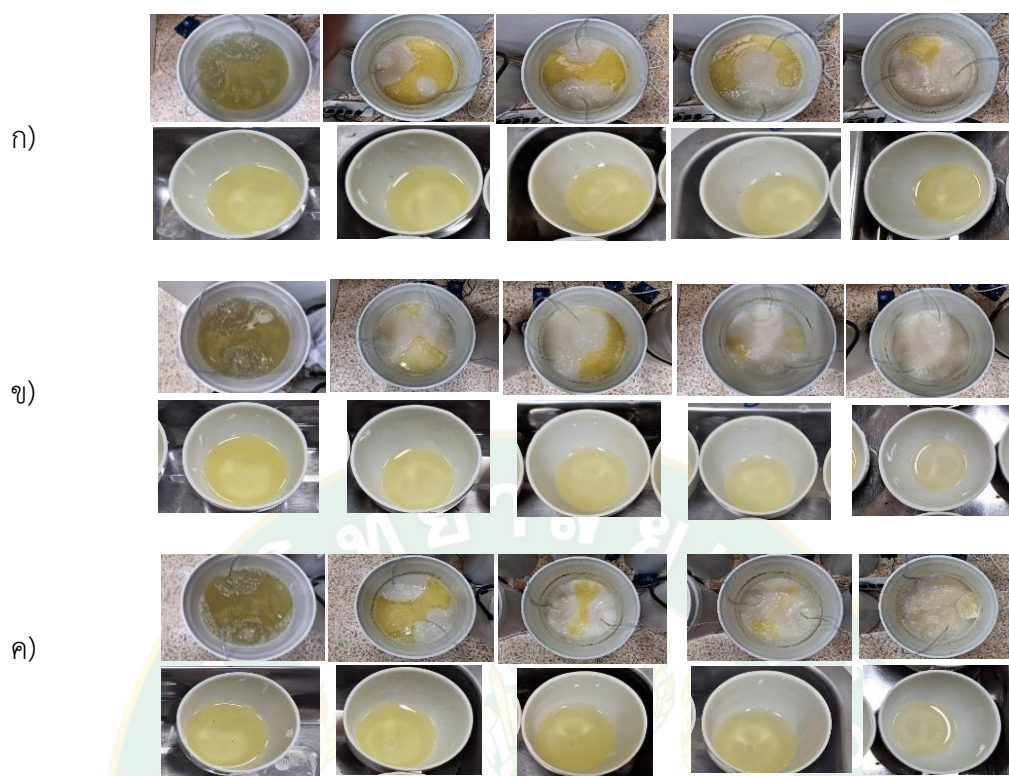
ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* อัตราส่วน 5% กับเอนไซม์ทางการค้าในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารเนื้อไก่แช่แข็ง ในสภาวะห้องปฏิบัติการ ในถังปฏิกรณ์พื้นที่ทำการ 20 ลิตร ใช้ น้ำเสีย 15 ลิตร เป็นเวลา 14 วัน ตามภาพที่ 16

ดำเนินการทดลองในชุดปฏิกรณ์ทึบ ขนาด 20 ลิตร โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลทุก 2 วัน ตามภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ชุดถังปฏิกรณ์พลาสติกทึบ ขนาด 20 ลิตร ที่มีปริมาตรน้ำเสีย 15 ลิตร เต็มอากาศ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไขมันในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

ลักษณะของน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันในถังปฏิกรณ์ และปริมาณน้ำมันและไขมันที่สกัดได้ ซึ่งพบว่ามีชุดการทดลองที่เติมเชื้อ *B. tropicus* 5% มีการเจริญของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมากที่สุดและมีปริมาณไขมันลดลงได้มากที่สุด ตามภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ลักษณะทางกายภาพของไขมันและน้ำมันในน้ำเสียของโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง
ที่เติมเชื้อ *B. tropicus* 5% และเอนไซม์ทางการค้า วันที่ 0, 4, 8, 12, และ 14
ก) Control ข) แบคทีเรีย *B. tropicus* 5% ค) เอนไซม์ทางการค้า

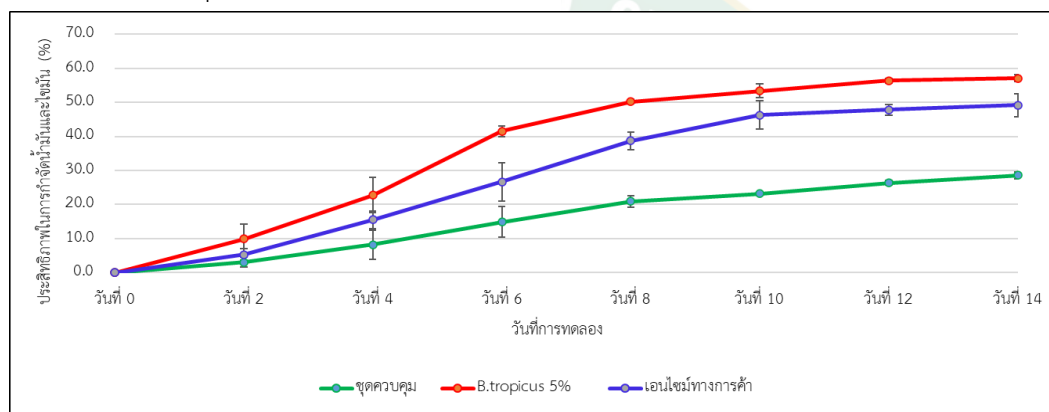
วิธีการสกัดไขมันในน้ำเสียตัวอย่าง มีการกำหนดชุดการทดลองไว้ ตามภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การสกัดไขมันในน้ำเสียตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมัน ค่า COD และ ค่า pH ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ไขมันและน้ำมัน : ผลการทดลองที่ได้พบว่า น้ำเสียที่ใช้ทดลองมีปริมาณไขมันเริ่มต้นเท่ากับ 6.56 กรัม/ลิตร และในวันที่ 14 ชุดการทดลองที่เติม *B. tropicus* (5%) มีไขมันเท่ากับ 2.80 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน เท่ากับ 57.1% สำหรับชุดการทดลองที่ใช้ Commercial enzyme มีไขมันเท่ากับ 3.34 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน เท่ากับ 49.1% และชุดการทดลอง (ชุดควบคุม) มีปริมาณไขมันเท่ากับ 4.70 กรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันเท่ากับ 28.6% สรุปได้ว่า ผลการบำบัดไขมันของน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* (5%) มีประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อสัตว์แช่แข็งของ *B. tropicus* 5% และเอนไซม์ทางการค้า

จากภาพที่ 20 ในช่วงแรกของการทดลอง ประสิทธิภาพการกำจัดไขมันในทุกชุดทดลองเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงจนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง และค่อย ๆ ลดน้อยลง โดยเฉพาะในชุดการทดลองที่ใส่ *B. tropicus* (5%) และชุดการทดลองที่ใส่ เอนไซม์ทางการค้า เนื่องจากในช่วงแรกในน้ำเสียมีไขมันอยู่จำนวนมาก เอนไซม์ไลเปสทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป ทำให้ประสิทธิภาพในการลดน้ำมันมีค่าน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของไขมันในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณที่น้อยลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปรวมไปถึงปริมาณผลผลิตหรือกรดไขมันที่เกิดขึ้นเหล่านี้อาจทำให้เกิดการขัดขวางในตำแหน่งการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ (Puthli et al., 2006; Rathod and Pandit, 2009)

เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ใส่ *B. tropicus* (5%) พบว่ากำจัดไขมันได้ประสิทธิภาพดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียสามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสได้ต่อเนื่อง ตามปริมาณของการเพิ่มขึ้นของแบคทีเรียและปริมาณสารอินทรีย์ที่ลดลง โดยในช่วงแรกเป็นระยะ Lag นั้นค่อนข้างสั้นแสดงถึงการ

ปรับตัวที่รวดเร็วของแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งอยู่แล้ว จึงมีความคุ้นเคยกับลักษณะและองค์ประกอบของน้ำทิ้ง ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ดี และใช้สารอาหารต่างๆ ในน้ำทิ้งโดยเฉพาะไขมันและน้ำมันได้ดี สำหรับระยะ Exponential นั้นจะใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน และยังไม่พบระยะ Stationary ที่ชัดเจน เนื่องจากแบคทีเรียสามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสได้เรื่อย ๆ จนกว่าสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำหมดลง ในขณะที่เอนไซม์ทางการค้าในชุดการทดลองที่ 3 (Commercial enzyme) พบว่าเมื่อเริ่มแรก ก็ทำงานได้ในทันทีเช่นกัน แสดงได้จากมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเพิ่มมากขึ้น และจะเริ่มคงที่ในการทดลองวันที่ 10-14 อาจเป็นเพราะปริมาณของเอนไซม์ไลเปสที่หมดลง เนื่องจากระบบใช้เพียงเอนไซม์ที่มีอยู่เท่านั้น เนื่องจากสร้างขึ้นใหม่ไม่ได้ ถ้าปริมาณไขมันมีจำนวนมาก จำเป็นต้องใส่เพิ่มลงไปจึงทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดไขมันน้อยกว่าในชุดการทดลองที่มีแบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสได้ตลอดเวลา ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการใส่เอนไซม์ไลเปสทุก 2 สัปดาห์ ซึ่งถ้าระบบมีปริมาณไขมันมากกว่านี้ก็อาจไม่เพียงพอหรือถ้าระบบมีปริมาณไขมันน้อยกว่านี้ การใส่ปริมาณเท่าเดิมนอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเอนไซม์ส่วนเกินเหล่านี้อาจจะไปเพิ่มความหนืดให้กับระบบ ทำให้เกิดปัญหาในการย่อยสลาย (Assimilation, Hindering the mass transfer) (Gharat and Rathod, 2013) สำหรับชุดการทดลอง (ชุดควบคุม) พบว่า มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่า มีระยะ lag ค่อนข้างยาวนานกว่าในชุดการทดลองที่เติม *B. tropicus* (5%) ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียมียุติพันธุ์แรกเริ่มอยู่ค่อนข้างน้อยโดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ไลเปส ทำให้จุลินทรีย์ค่อย ๆ เจริญเติบโตไปอย่างช้า ๆ เห็นได้จากประสิทธิภาพของระบบที่เป็นไปอย่างช้า ๆ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองยังไม่พบระยะ Stationary ที่ชัดเจน

จากผลการศึกษาจะเห็นว่า การทดลองที่ใช้ น้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง มีประสิทธิภาพการบำบัดไขมันดีกว่าการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยชุดควบคุม มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันถึง 28.6% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำเสียสังเคราะห์พบว่าชุดควบคุมมีประสิทธิภาพน้อยมากเพียง 0.33% เท่านั้น เช่นเดียวกับการทดลองที่เติม *B. tropicus*, 5% มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน 57.1% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ 37.02% ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองต้องการจำลองสถานการณ์ของการบำบัดน้ำเสียจากระบบจริงจึงไม่ได้ทำการฆ่าเชื้อในน้ำเสียก่อนทำการทดลอง ทำให้ในน้ำเสียเริ่มต้นและในชุดควบคุมยังมีจุลินทรีย์ปะปนอยู่หลากหลายชนิด ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่สามารถกำจัดไขมันได้เช่นกัน (M.P and Manjunath, 2011) ได้ศึกษาถึงแบคทีเรียที่มีความสามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมัน เช่น *Staphylococcus warneri* , *Bacillus cereus* และ *Pseudomonas aeruginosa* เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นว่า เชื้อแบคทีเรียหลายชนิดในธรรมชาติดั้งเดิมนั้นสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันได้ ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกำจัด อาจมีความแตกต่างกันตามชนิดของ

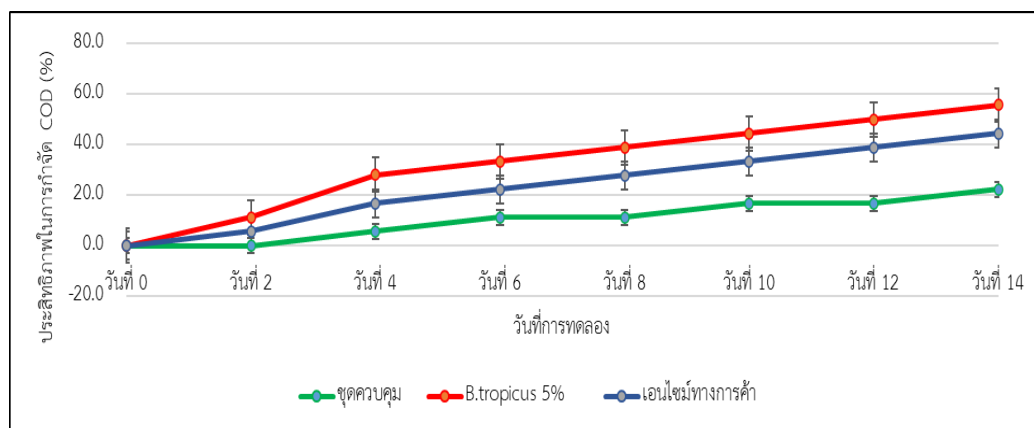
แบคทีเรียและน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ รวมถึงการเติมอากาศและเติมจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไขมันและน้ำมัน (วิจิตร, 2562) แต่สำหรับ *B. tropicus* นั้นยังไม่มีรายงานว่าการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันมาก่อน แต่มีงานวิจัยหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นว่ามี *Bacillus* sp. หลายชนิดที่มีประสิทธิภาพในการย่อยไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย เช่น *B.pumilus*.strain UBU5 (รัชวุฒิ และคณะ, 2563) *B. subtilis* TP8 และ *P. fluorescens* G7 (อภิษฐา และคณะ, 2562) ซึ่งจะเห็นว่าการนำเชื้อแบคทีเรียหลายชนิด มาใช้ย่อยสลายไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย และมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันได้ดี ทั้งนี้ประสิทธิภาพอาจมีความแตกต่างกันตามชนิดของแบคทีเรียและน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ

ทั้งนี้ มีผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเชื้อแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายไขมันและไขมันไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ และพื้นที่ ที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพในการใช้แบคทีเรียกำจัดไขมันและน้ำมันของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายการทดลอง	เชื้อแบคทีเรีย	ไขมันและน้ำมัน (กรัม)		ประสิทธิภาพใน การกำจัดไขมัน และน้ำมัน (%)	อ้างอิง
1. น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่	<i>B.Tropicus</i> 5%	6.53	2.80	57.10	กชพรรณ (2567)
2. น้ำเสียในตลาดสดเทศบาล 3 จ.อุบลราชธานี	<i>Bacillus pumilus</i> . <i>Strain UBU5</i>	250	183	73.20±9.05	รัชวุฒิ และคณะ (2563)
3. น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ	<i>Bacillus pumilus</i>	1,500	1,277.85	85.19±0.27	สุชัยัญญา และคณะ (2661)
4. น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ	<i>Bacillus pumilus</i>	250	228.1	91.24±0.10	มาริส (2560)
5. น้ำเสียจากโรงอาหาร	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	100	48.98	48.98	ประชุมพร และคณะ (2558)
6. น้ำเสียจากโรงงานผลิตปลาซึ่ม จ.พะเยา	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Acinetobacter baumannii</i> และ <i>Pseudomonas stutzeri</i>	81.2 5	2.58	96.82	สุวัฒน์ศักดิ์ (2551)

ค่า COD : จากผลการทดลองพบว่าน้ำเสียที่ใช้ทดลอง มีค่า COD เริ่มต้นเท่ากับ 165.3 มิลลิกรัม/ลิตร และในวันที่ 14 ของการทดลอง ชุดการทดลองที่เติมเชื้อแบคทีเรีย (*B.tropicus*, 5%) มีค่า COD 73.4 มิลลิกรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD มากที่สุดคือ เท่ากับ 55.6% รองลงมาได้แก่ชุดการทดลองที่เติม Commercial enzyme และชุดควบคุม มีค่า COD 91.9 และ 128.6 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับ 44.4% และชุดควบคุม ประสิทธิภาพกำจัด COD ได้น้อยที่สุด 22.2% แสดงดังภาพที่ 20 ทั้งนี้เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 นั้น จุลินทรีย์ที่เติมลงไปจะเริ่มใช้สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย พร้อมทั้งสร้างเอนไซม์ ไลเปสเพื่อย่อยสลายไขมันให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และเป็นแหล่งพลังงาน ส่งผลให้ปริมาณของ COD ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียนั้นถูกย่อยสลายและมีปริมาณที่ลดลง ในขณะที่ชุดการทดลองที่เติม Commercial enzyme มีการเติมเอนไซม์ไลเปสเพื่อกำจัดไขมัน แต่จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นมีอยู่น้อย การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์และการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงเกิดได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่เติมจุลินทรีย์ สำหรับการทดลองชุดควบคุม มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้น้อยที่สุด เนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นในน้ำเสียนี้น้อย โดยเฉพาะการย่อยสลายไขมันที่เป็นไปได้ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD ไม่มากนัก โดยมากที่สุดคือชุดที่เติมจุลินทรีย์ เท่ากับ 55.6% ในขณะที่มีผลการศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ ที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการกำจัดไขมันในงานวิจัยอื่น ๆ นั้น อาจมี ประสิทธิภาพสูงกว่านี้ เช่น จุลินทรีย์ผสมของ *Pseudomonas* sp. *Acinetobacter* sp. และ *Bacillus* sp. ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตพลาสติกมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD ถึง 70.8 % (สุวัฒน์ศักดิ์, 2551) และ *Pseudomonas* sp. มีประสิทธิภาพถึง 95.81% ในการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงครัวที่ปนเปื้อนน้ำมันบนตัวกลางพลาสติกที่มีการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ (Bhumibhamon and Phattayakorn, 2003) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งที่ใช้ทดลอง เป็นน้ำที่ผ่านระบบการดักไขมันแล้ว ทำให้สารอินทรีย์เริ่มต้นมีค่าน้อย โดยมีค่า COD กรอง เริ่มต้น เท่ากับ 165.3 มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ในน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อสัตว์แช่แข็งของ *B. tropicus* 5% และเอนไซม์ทางการค้า

ค่า pH : สำหรับค่า pH น้ำเสียมีค่า pH ในวันเริ่มต้นการทดลอง 8.07 ± 0.02 และในวันที่ 14 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่า pH ลดลง โดยชุดควบคุม มีค่า 7.59 ± 0.18 ชุดการทดลองที่เติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus*, 5% มีค่า 7.25 ± 0.31 และชุดการทดลองที่เติม เอนไซม์ทางการค้า มีค่า 7.36 ± 0.27 ทั้งนี้เนื่องมาจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย รวมไปถึงการย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมัน ไขมันอิสระ (Free fatty acids) ถ้าผลจากผลผลิตของกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากขบวนการย่อยสลายไขมันเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ pH ลดลงมากขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่เติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus*, 5% มี pH ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือชุดการทดลองที่เติม Commercial enzyme ถึงแม้จะไม่มี การเติมจุลินทรีย์ แต่ก็มีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เกิดขึ้น (Adulkar and Rathod, 2013) และท้ายสุดคือการทดลองชุดควบคุม เนื่องจากมีเฉพาะจุลินทรีย์ดั้งเดิมระบบเท่านั้น จึงเกิดการย่อยไขมันได้ค่อนข้างช้า แต่อย่างไรก็ตามการลดลงของ pH ที่มากจนเกินไปอาจขัดขวางและลดกิจกรรมการย่อยสลายไขมันของแบคทีเรียได้ (Azhdarpoor et al., 2014) โดยพบว่าแบคทีเรียสามารถเจริญได้ใน pH ที่ต่ำสุด 4-4.5 สูงสุดคือ 8.0-9.0 และสามารถ เจริญได้ดีใน pH ประมาณ 6.8-7.2 (นฤมล, 2562)

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบโดยเฉพาะน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันปะปนอยู่เป็นจำนวนมากนั้น โดยทั่วไปจะมีการกำจัดน้ำมันและไขมันเบื้องต้นด้วยบ่อดักไขมัน (Grease trap tank) ซึ่งสามารถกำจัดไขมันที่ลอยบนผิวน้ำได้แต่ไม่สามารถกำจัดน้ำมันและไขมันในรูปที่ละลายน้ำหรือที่เรียกว่าอิมัลชันได้ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน เช่น ระบบเติมอากาศ น้ำมันที่ละลายน้ำจะเกาะกับตะกอนจุลินทรีย์ จะส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถรับออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศได้ โดยเฉพาะในระบบ Bio-contact หรือระบบโปรยกรอง (Trickling filter) โดยไขมันเหล่านี้จะเคลือบอยู่บนพื้นผิวของตัวกลาง (Media) ส่งผลให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางไม่ได้เต็มประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการกำจัดน้ำมันและไขมันเหล่านี้ การใช้เอนไซม์ถือเป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจาก เป็นเทคโนโลยีที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตรงกับกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดในเรื่องของการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Mendes et al., 2010) โดยในปัจจุบันเอนไซม์ไลเปสมีจำหน่ายในท้องตลาด (Commercial enzyme) หลายชนิดได้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดไขมันและน้ำมัน และมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง แต่มีราคาค่อนข้างสูงด้วยเช่นกัน ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างมากในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่าการใช้เอนไซม์ไลเปสทางการค้ามีค่าใช้จ่ายประมาณ 5.7 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แบคทีเรีย ที่มีค่าใช้จ่ายประมาณ 1.1 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร จะเห็นได้ว่าการใช้แบคทีเรียจะถูกกว่า 5.2 เท่าต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามสำหรับการใช้แบคทีเรียนั้นโดยทั่วไปจำเป็นต้องจะมีการ Startup ระบบเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ในระยะเริ่มแรกเพื่อให้แบคทีเรียได้ปรับตัวและเพิ่มจำนวน แต่สำหรับในการทดลองนี้พบว่ามีระยะ Lag phase หรือระยะปรับตัวค่อนข้างสั้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งอยู่แล้ว ทำให้มีความคุ้นเคยแต่ก็ยังคงต้องมีการใส่เชื้อเพิ่มเติมจนละ 2 ครั้ง ในขณะที่การใช้เอนไซม์ทางการค้านั้นต้องมีการใส่เพิ่มในทุก 1 สัปดาห์ ขึ้นกับปริมาณน้ำเข้ามาในระบบ การใช้เอนไซม์นี้จะไม่มีการ Startup ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบของการใช้เอนไซม์ไลเปสจะมีข้อดีคือระยะเวลาในการบำบัดที่เร็วกว่าการใช้จุลินทรีย์เนื่องจากระบบไม่ต้องการการ Startup ในขณะที่การใช้แบคทีเรียนั้นอาจมีระยะเวลาเริ่มต้นที่ยาวนานกว่า โดยเฉพาะไม่ใช่แบคทีเรียดั้งเดิมของระบบ เพราะจุลินทรีย์ต้องการเวลาในการปรับตัวและเพิ่มจำนวน อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์ไลเปส ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดเอนไซม์ส่วนเกินซึ่งจะไปเพิ่มความหนืดในระบบ ทำให้เกิดปัญหาในการดูดซึมซึ่งเป็นอุปสรรคในการถ่ายโอนมวล รวมไปถึงการมีผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นอย่างมากในระยะเริ่มต้นอาจทำให้เกิดการขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง (Gharat and Rathod,

2013) ในขณะที่การใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพของการบำบัดค่อนข้างจะสม่ำเสมอเมื่อระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์มีความคุ้นชินกับระบบ

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบต้นทุนในการกำจัดไขมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสเทียบกับเอนไซม์ทางการค้า

รายการ	ปริมาณน้ำ เข้าระบบ (m ³ /เดือน)	ราคา/ลิตร (บาท)	ต้นทุน/เดือน (บาท)	ต้นทุน/ปี (บาท)	ต้นทุน/m ³ (บาท)
Commercial Enzyme	5,980	107.00	34,240.00	410,880.0	5.7
<i>B. Tropicus</i> 5%	5,980	2.42	6,679.20	80,150.4	1.1
ผลต่าง	0	104.58	27,560.80	330,729.6	4.6

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ผลการคัดเลือกและเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสที่ใช้ในการย่อยไขมันและน้ำมัน โดยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทำการคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียจากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปไก่แช่แข็งที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยนำเชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์ *B. tropicus* และ *B. thuringiensis* มาทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา ด้วยการย้อมสีแบบแกรม (Gram's staining) ดูลักษณะของโคโลนี และ นำมาทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส (Lipase activity) ด้วยวิธีของ (Horani-Khyami, 1996) โดยใช้เชื้อแบคทีเรียจากห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จำนวน 2 ชนิด และเป็นแบคทีเรียชนิดที่ไม่ก่อโรค ที่มีผลการตรวจสอบค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส ของ (SC1) *B. tropicus* เท่ากับ 166.25 และ (W2A) *B. thuringiensis* เท่ากับ 140.75 หน่วยต่อมิลลิกรัม

2. ผลการศึกษาชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการย่อยไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ในสภาวะห้องปฏิบัติการ พบว่าในวันที่ 7 ของการทดลอง เชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* (5%) มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมน้ำมันพืช 10% ได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมันได้ 4.30 กรัมต่อลิตร หรือ เท่ากับ 37.0%

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้าในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งในสภาวะห้องปฏิบัติการพบว่าในวันที่ 7 ของการทดลอง ประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง โดยการเติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* (5%) มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยสามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมันได้เท่ากับ 4.66 กรัมต่อลิตร หรือ 65.6% ซึ่งมีประสิทธิภาพในการย่อยไขมันได้ดีกว่าการใช้เอนไซม์ทางการค้า ที่สามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมันได้เพียง 2.22 กรัมต่อลิตร หรือ 31.3%

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสและเอนไซม์ทางการค้าในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งโดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่ใช้น้ำเสีย 15 ลิตรต่อถัง พบว่าในวันที่ 14 ของการทดลอง น้ำเสียที่เติมเชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* 5% มีประสิทธิภาพในการย่อยไขมันได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมัน ในวันที่ 0 อยู่ที่

6.56 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 อยู่ที่ 2.80 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 57.1% และเมื่อเทียบกับเอนไซม์ทางการค้าพบว่า มีประสิทธิภาพในการย่อยไขมันได้น้อยกว่า ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมัน ในวันที่ 0 อยู่ที่ 6.56 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 อยู่ที่ 3.34 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 49.1% และมีประสิทธิภาพของค่า COD อยู่ที่ 55.6% และ 44.4% ตามลำดับ รวมถึงค่า pH เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในวันที่ 14 ทุกชุดการทดลองมีค่า pH ลดลง โดยชุดการทดลองที่ 2 เติมเชื้อแบคทีเรีย (*B.tropicus*, 5%) มีค่า 7.25 ± 0.31 และชุดการทดลองที่ 3 (Commercial enzyme) มีค่า 7.36 ± 0.27 ตามลำดับ

5. เปรียบเทียบต้นทุน พบว่าการใช้เอนไซม์ไลเปสทางการค้ามีค่าใช้จ่ายประมาณ 5.7 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร เปรียบเทียบกับการใช้แบคทีเรีย มีค่าใช้จ่ายประมาณ 1.1 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งการใช้แบคทีเรียจะถูกกว่า 5.2 เท่าต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

ข้อเสนอแนะ

1. ทำการศึกษาชนิดของเชื้อแบคทีเรียอื่น เพื่อสามารถนำไปทดลองใช้ในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย เพื่อเพิ่มโอกาสในการใช้เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการย่อยสลายไขมันและน้ำมัน ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมการผลิตอาหารประเภทเนื้อสัตว์ เพื่อลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย ต่อไป

2. การศึกษาวิจัยสัดส่วนความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดลอง ที่ใกล้เคียงกับระบบการบำบัดน้ำเสียที่ใช้จริง เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ที่ชัดเจนมากขึ้น เพื่อหาทางเลือกและโอกาสในการพัฒนาการใช้แบคทีเรียในระบบการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

3. จากการศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันจากโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง พบว่าการใช้เชื้อแบคทีเรีย *B. tropicus* เพื่อช่วยย่อยสลายไขมันและน้ำมัน สามารถลดค่า COD ให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด และควรศึกษาเพิ่มเติมในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณตัวอย่งน้ำเสียที่มากขึ้นเพื่อให้เห็นประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันหรือค้นหาวิธีการในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันด้วยกระบวนการอื่นๆ เพื่อเป็นทางเลือกในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียนั่นเอง

บรรณานุกรม

- กรมปศุสัตว์. 2566. **แผนปฏิบัติการไก่เนื้อ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2566-2570)**. กรุงเทพฯ: กองส่งเสริมและพัฒนาการปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กลุ่มการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
2568. **คู่มือการจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม สำหรับอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์ (สัตว์ปีก)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://php.diw.go.th/sns/file_manual/03e303industrial_slaughter_poultry.pdf (10 พฤษภาคม 2568).
- จิรภัทร จันทมาลี, ปาวิรัตน์ สุขศิริพัฒน์, กรวรรณ บุญญานนท์, จริยา บุญญานนท์ และ รสสุคนธ์ อันใจเอื้อ. 2562. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้จุลินทรีย์ทางการค้าในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**, 21(1), 184-191.
- จุฬากานต์ บุญมี. 2552. **การสร้างกลุ่มจุลินทรีย์เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฐปน ชื่นบาล. 2552. **จุลินทรีย์กับการบำบัดน้ำเสีย**. เชียงใหม่: โครงการเครือข่าย สวทช. ภาคเหนือ.
- ธวัชชัย แซ่ด่าน. 2550. **แนวทางการนำไขมันและน้ำมันจากน้ำล้างของอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อไก่สดมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย**. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- นฤมล มาแทน. 2562. **ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://essentialoil.wu.ac.th/wp-content/uploads/ปัจจัยที่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโต.pdf> (1 พฤษภาคม 2567).
- บริษัท ปริ้นเซส ฟูดส์ จำกัด. 2559. **ผังกระบวนการของระบบบำบัดน้ำเสีย**. เชียงใหม่: บริษัท ปริ้นเซส ฟูดส์ จำกัด.
- _____. 2566. **รายงานผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เลขที่เอกสาร (EF-SE-03-005)**. เชียงใหม่: บริษัท ปริ้นเซส ฟูดส์ จำกัด.
- บริษัท เอแอลเอส แลบบอราทอรี กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด. 2568. **รายงานผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำประจำเดือน มกราคม 2568**. กรุงเทพฯ: บริษัท เอแอลเอส แลบบอราทอรี กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด.

ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ, เจนจิรา แพงจันทร์, เฉษฐา ชาญศิริรัตน และ ตันติกร ชูนาพรหม. 2558.

การบำบัดไขมันในบ่อดักไขมันโรงอาหารโดยใช้กลุ่มแบคทีเรียคัตสายพันธุ์. วารสาร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 7(13), 41-49.

ปิยภรณ์ สุภักด์ดำรงกุล และ จันทร์เพ็ญ วิวัฒน์. 2560. การคัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียที่ผลิต

เอนไซม์ไลเปสได้สูงและการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์ไลเปสโดยใช้ของเสีย

จากกระบวนการผลิตน้ำมันพืชและการประยุกต์ใช้. กรุงเทพฯ: งานวิจัย มหาวิทยาลัยหัว

เฉียวเฉลิมพระเกียรติ.

พรพิมล มุขพันธ์, ปรรธนา อาษา และ ภิรมย์ น้อยสำแดง. 2560. การคัดแยกและประสิทธิภาพ

การย่อยสลายไขมันและน้ำมันของแบคทีเรียที่แยกได้จากน้ำทิ้งโรงอาหาร. Science and

Technology RMUTT Journal, 7(2), 241-250.

พวงเดือน ชุ่มศิริ. 2554. น้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ในสิ่งแวดล้อมกับห้องปฏิบัติการ.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 8. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<https://epo08.pcd.go.th/th/view/?file=GTMgMTqjqP5cZKt4pQMgYKqGTSgnTqHqP1cZ3t0pQygAap4GQEGZTp2qQAcAKtjpQlqZKpgGTEgMJqfqTycMatipTIgoUqcGTMgY2q1qTycZUt2pQsY3qxGTSgo2qfqUOcKti&n=47%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%82%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B9%88%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%A7%E0%B8%94%E0%B8%A5%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3&t=GTMgq2qxqS9cMUug> (5 มีนาคม 2567).

พัชรนันท์ อมรรัตนพันธ์. 2557. การโคลนและสมบัติของยีนไลเปสจาก *Bacillus sp.* ที่ผลิต

เอนไซม์ไลเปสประสิทธิภาพสูง: รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัย

แห่งชาติ.

มาริสา อัทธาศ และ สุชัยญา ทองเครือ. 2560. การศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่ผลิต

เอนไซม์ไลเปสในการย่อยสลายไขมันและไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์: โครงการวิจัย.

กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.

รัชฎา โคตรลาคำ, นิธิมา สุทธิพันธุ์ และ ณัฐพล ทองปลิว. 2563. การเพิ่มประสิทธิภาพของถัสดัก

ไขมันโดยการเติมแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสสำหรับการจัดการน้ำเสียในตลาดสด. วารสาร

วิทยาศาสตร์ มศว, 36(2), 41-54.

วิจิตรา พิกุลแก้ว. 2562. **ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร**. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สิรินาถ ปลอดสุวรรณ, สุชัยญา ทองเครือ และ ชญานันท์ จิตมณี. 2561. การคัดแยกและระบุสายพันธุ์แบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสจากน้ำเสียการผลิตปลาต้ม. น. 983-990. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56: สาขาวิทยาศาสตร์และพันธุ์วิศวกรรม, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม**. 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชัยญา ทองเครือ, มาริสา อรรถพงศ์ และ ศิริลักษณ์ สันพา. 2561. ประสิทธิภาพของแบคทีเรียในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์. **วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**, 10(11), 75-88.

สุวัฒน์ศักดิ์ ด้านศักดิ์ดา. 2551. การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสในการกำจัดไขมันและน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียของโรงงานปลาต้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อนุสิทธิ์ เกื้อกุล. 2560. **ไขมันและน้ำมัน**. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7163-2017-06-04-15-11-40> (5 มีนาคม 2567).

อภิญา พัดพิน, พิมพ์ไพร ขาวขำ และ พิทักษ์ ปอกสอน. 2562. การคัดแยกแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสจากน้ำเสียบ่อดักไขมันในโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)**, 7(1), 69-79.

อำนวย อรุณรุ่งอารีย์, กุลยา โอตากะ และ พิทยา สีสด. 2550. **ปฏิบัติการเคมี 2 CHEMISTRY LABORATORY II CM 118**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

Abdelali, F., Zahra, F., Hassani, E., Aissam, H., Merzouki, M. & Benlemlih, M. 2011. Aerobic treatment of lipid-rich wastewater by a bacterial consortium. **African Journal of Microbiology Research**, 5(30), 5333-5342.

Adegoke, O., Kareem, S., Balogun, S. & Afolabi, A. 2020. Production of lipase by immobilized bacillus thuringiensis and lysinibacillus sphaericus and biodegradation potential on diesel. **Bacterial Empire**, 3(3), 52-57.

- Adulkar, T. & Rathod, V. 2013. Pre-treatment of high fat content dairy wastewater using different commercial lipases. **Desalination and Water Treatment**, 53(9), 2450-2455.
- Azhardpoor, A., Mortazavi, B. & Moussavi, G. 2014. Oily wastewaters treatment using *Pseudomonas* sp. isolated from the compost fertilizer. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, 12, 77. doi: 10.1186/2052-1336X-1112-1177.
- Bhumibhamon, O. & Phattayakorn, K. 2003. Lipase-producing microorganisms for use in contaminated fat and oil kitchen wastewater treatment. **Kasetsart Journal (Nat. Sci.)**, 33, 327-333.
- Demirel, B., Yenigun, O. & Onay, T. T. 2005. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. **Process Biochemistry**, 40(8), 2583-2595.
- Fingas, M. 2014. Vegetable Oil Spills. In M. Fingas (Ed.), **Handbook of Oil Spill Science and Technology** (pp. 79-91). John Wiley & Sons, Inc.
- Gharat, N. & Rathod, V. K. 2013. Enzyme catalyzed transesterification of waste cooking oil with dimethyl carbonate. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, 88, 36-40.
- Izanloo, H., Mesdaghinia, A., Nabizadeh, R., Nasser, S., Naddafi, K., Mahvi, A. & Nazmara, S. 2006. Effect of organic loading on the performance of aerated submerged fixed-film 85 reactor (ASFFR) for crude oil-containing wastewater treatment. **Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering**, 3(2), 85-90.
- Jeganathan, J., Nakhla, G. & Bassi, A. 2007. Hydrolytic pretreatment of oily wastewater by immobilized lipase. **Journal of Hazardous Materials**, 145(1), 127-135.
- Khyami-Horani, H. 1996. Partial purification and some properties of an alkaline cellulase from an alkalophilic *Bacillus* sp. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 12(5), 525-529.
- Knob, A., Izidoro, S. C., Lacerda, L. T., Rodrigues, A. & de Lima, V. A. 2020. A novel lipolytic yeast *Meyerozyma guilliermondii*: Efficient and low-cost production of acid and promising feed lipase using cheese whey. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 24, 101565. <https://doi.org/10.1016/101510.101016/>

j.bcab.102020.101565.

- Kornboonrits, S. 2567. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2567-2569: อุตสาหกรรมไก่แช่เย็นแช่แข็ง และแปรรูป. วิจัยกรุงศรี. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/food-beverage/frozen-processed-chicken/io/chicken> (2 กันยายน 2567).
- Louhichi, G., Bousselmi, L., Ghrabi, A. & Khouni, I. 2019. Process optimization via response surface methodology in the physico-chemical treatment of vegetable oil refinery wastewater. **Environmental Science and Pollution Research**, 26(19), 18993-19011.
- M.P, P. & Manjunath, K. 2011. Comparative study on biodegradation of lipid-rich wastewater using lipase producing bacterial species. **Indian Journal of Biotechnology**, 10(1), 121-124.
- Matsumiya, Y., Wakita, D., Kimura, A., Sanpa, S. & Kubo, M. 2007. Isolation and characterization of a lipid-degrading bacterium and its application to lipid-containing wastewater treatment. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, 103(4), 325-330.
- Mendes, A., Pereira, E., Furigo Jr, A. & Castro, H. 2010. Anaerobic Biodegradability of Dairy Wastewater Pretreated with Porcine Pancreas Lipase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 53, 1279-1284.
- Mitwater. 2566. มาทำความเข้าใจกับ ระบบบำบัดน้ำเสีย คืออะไร ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย มีอะไรบ้าง มาดูกัน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://mitwater.com/what-is-wastewater-treatment-system/#rabb_ba_bad_na_seiy_khux_xari (2 มีนาคม 2567).
- Murtius, W. S., Hari, P. D. & Putri, I. N. 2022. The Effect of Incubation Time to The Activity of Lipase Produced by *Bacillus thuringiensis* on Coconut (*Cocos nucifera* L.) Dregs. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, The 4th International Conference on Sustainability Agriculture and Biosystem**, 1059(1), 012076.
- Musa, H. & Adebayo-Tayo, B. C. 2012. Screening of microorganisms isolated from different environmental samples for extracellular lipase production. **AU Journal of Technology**, 15(3), 179-186.

- National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC). 2568ก. **รายการจุลินทรีย์ประเภทที่ 1.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.biotec.or.th/biosafety/images/hiddenRG/RG1.pdf> (22 พฤษภาคม 2568).
- _____. 2568ข. **รายการจุลินทรีย์ประเภทที่ 2.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.biotec.or.th/biosafety/images/hiddenRG/RG2.pdf> (22 พฤษภาคม 2568).
- Puthli, M. S., Rathod, V. K. & Pandit, A. B. 2006. Enzymatic hydrolysis of castor oil: Process intensification studies. **Biochemical Engineering Journal**, 31(1), 31-41.
- Rathod, V. K. & Pandit, A. B. 2009. Effect of various additives on enzymatic hydrolysis of castor oil. **Biochemical Engineering Journal**, 47(1), 93-99.
- Salahi, A., Mohammadi, T., Rekabdar, F. & Mahdavi, H. 2010. Reverse osmosis of refinery oily wastewater effluents. **Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering**, 7(5), 413-422.
- Salihu, A., Alam, M., Ismail, M. S. & Salleh, H. 2011. Suitability of using palm oil mill effluent as a medium for lipase production. **African Journal of Biotechnology**, 10(11), 2044-2052.
- Salimbeni, A. & Magnolfi, V. 2015. Transformation of Used Cooking Oil into biodiesel: From waste to resource. **European Biomass Industry Association**, doi:10.13140/RG.13142.13141.12392.12009.
- Sukplang, G., Narasettiti, C., Chunhachart, O., Srithaworn, M., Lorliam, W., Krajangsang, S. & Panyachanakul, T. 2024. Isolation and Identification of Lipase-producing Bacteria from Wastewater Treatment Pond for the Removal of Oil and Grease in Wastewater Treatment **Chiang Mai J. Sci.**, 51(6), e2024096. <https://doi.org/2024010.2012982/CMJS.2022024.2024096>.
- Triyaswati, D. & Ilmi, M. 2020. Lipase-producing Filamentous Fungi from Non-dairy Creamer Industrial Waste. **Microbiology and Biotechnology Letters**, 48(2), 167-178.
- Wallace, T., Gibbons, D., O'Dwyer, M. & Curran, T. P. 2017. International evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management – A review. **Journal of Environmental Management**, 187, 424-435.

- Wutti007. 2554. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ, กระบวนการเอเอสแบบยืดเวลา (Extended Aeration Activated Sludge). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://bio-naroo.blogspot.com/2011/05/extended-aeration-activated-sludge.html> (10 พฤษภาคม 2568).
- Yasin, M. T., Ali, Y., Ahmad, K., Ghani, A., Amanat, K., Basheir, M. M., Faheem, M., Hussain, S., Ahmad, B., Hussain, A. & Bokhari, S. A. I. 2021. Alkaline lipase production by novel meso-tolerant psychrophilic *Exiguobacterium* sp. strain (AMBL-20) isolated from glacier of northeastern Pakistan. **Arch Microbiol**, 203(4), 1309-1320.
- Yu, L., Han, M. & He, F. 2017. A review of treating oily wastewater. **Arabian Journal of Chemistry**, 10, S1913-S1922.
- Zhao, J., Ma, M., Zeng, Z., Yu, P., Gong, D. & Deng, S. 2021. Production, purification and biochemical characterisation of a novel lipase from a newly identified lipolytic bacterium *Staphylococcus caprae* NCU S6. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, 36(1), 248-256.





ภาคผนวก ก

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี

1. อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร NB

Beef extract	13.0 กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0 มิลลิลิตร

2. สารเคมี

2.1 เฮกเซน (Hexane)

1.2 กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid)

1.3 สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA

1.4 สารละลายกรดโอเลอิก

1.5 Copper reagent

1.6 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

1.7 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

1.8 H_2SO_4 Reagent

1.9 Digestion Reagent

1.10 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0167 M

1.11 สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ –(Ferroin indicator)

1.12 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

3. น้ำเสียสังเคราะห์

4. น้ำเสียโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง

4.1 น้ำเสียที่ผ่านการตกไขมันออก (ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย)

5. น้ำมันพืช

5.1 น้ำมันพืช ตรารุ่งน



ภาคผนวก ข

ตารางประกอบผลการวิเคราะห์

ตารางผนวกที่ 1 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมัน ค่า COD และ ค่า pH ในน้ำเสีย
โรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็งของ *B. tropicus* 5% และเอนไซม์
ทางการค้าที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในระยะเวลา 7 วัน

ลำดับ	ตัวอย่าง	วัน	Oil & Grease (กรัมต่อลิตร)	COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)	pH
1	Control	เริ่มต้น	7.105±0.005	187±46.188	8.08±0.006
		วันที่ 7	5.421±0.161	173±23.094	7.81±0.006
		Reduced	1.689	13	0.27
		% Removal	23.76%	7.1%	3.26%
2	<i>B. tropicus</i> 5%	เริ่มต้น	7.105±0.005	213±46.188	8.08±0.006
		วันที่ 7	2.443±0.032	80±0.00	7.51±0.006
		Reduced	4.658	+133	0.57
		% Removal	65.60%	62.5%	7.06%
3	Commercial enzyme	เริ่มต้น	7.105±0.005	187±46.188	8.08±0.006
		วันที่ 7	4.881±0.092	107±46.188	7.68±0.006
		Reduced	2.222	+80	0.40
		% Removal	31.29%	+42.5%	4.95%

ตารางผนวกที่ 2 ผลตรวจวิเคราะห์ปริมาณไขมันของการใช้แบคทีเรีย *B. tropicus* 5% และ
เอนไซม์ทางการค้าในน้ำเสียโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในถังปฏิกรณ์ ปริมาตร
15 ลิตร

ลำดับ	ตัวอย่าง	น้ำหนักไขมัน (กรัมต่อลิตร)							
		Day 0	Day 2	Day 4	Day 6	Day 8	Day 10	Day 12	Day 14
1	Control	6.57	6.38	6.03	5.59	5.20	5.05	4.84	4.70
2	<i>B. tropicus</i> 5%	6.53	5.88	5.04	3.82	3.25	3.04	2.85	2.80
3	Commercial enzyme	6.57	6.23	5.55	4.83	4.03	3.54	3.43	3.34

ตารางผนวกที่ 3 ผลตรวจวิเคราะห์ค่า COD ของการใช้แบคทีเรีย *B. tropicus* 5% และเอนไซม์
ทางการค้ำในน้ำเสียโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในถังปฏิกรณ์ ปริมาตร 15 ลิตร

ลำดับ	ตัวอย่าง	COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
		Day 0	Day 2	Day 4	Day 6	Day 8	Day 10	Day 12	Day 14
1	Control	163.3	165.3	156	146.9	146.9	137.7	137.7	128.6
2	<i>B. tropicus</i> 5%	165.3	146.9	119.0	110.2	101.0	91.9	82.7	73.4
3	Commercial enzyme	165.3	156.0	137.6	128.6	119.3	110.2	101.0	91.9

ตารางผนวกที่ 4 ผลตรวจวิเคราะห์ค่า pH ของการใช้แบคทีเรีย *B. tropicus* 5% และเอนไซม์
ทางการค้ำในน้ำเสียโรงงานแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง ในถังปฏิกรณ์ ปริมาตร 15 ลิตร

ลำดับ	ตัวอย่าง	pH							
		Day 0	Day 2	Day 4	Day 6	Day 8	Day 10	Day 12	Day 14
1	Control	8.08	7.97	7.87	7.81	7.72	7.65	7.61	7.59
2	<i>B. tropicus</i> 5%	8.08	7.89	7.72	7.51	7.43	7.32	7.27	7.25
3	Commercial enzyme	8.05	7.95	7.78	7.57	7.47	7.42	7.38	7.36

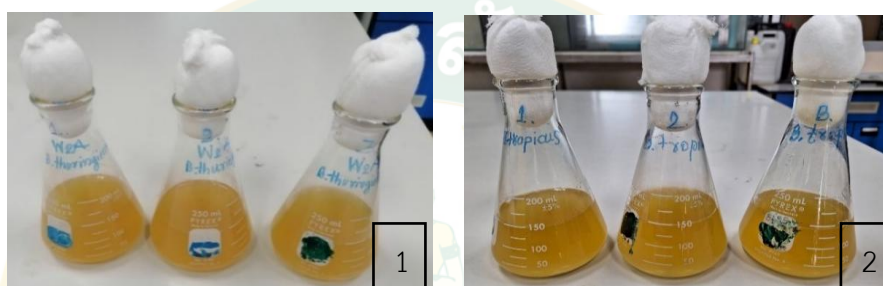


ภาพผนวก ค

ภาพประกอบผลการวิเคราะห์



ภาพผนวกที่ 1 การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียเพื่อเพิ่มจำนวนเชื้อสำหรับการทดลอง



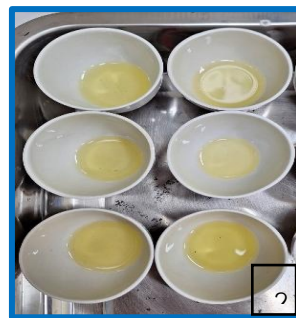
ภาพผนวกที่ 2 เชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มจำนวนในอาหารเหลว NB (Neutrient broth)

- 1) เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis*
- 2) เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus tropicus*



ภาพผนวกที่ 3 ปริมาณไขมันและน้ำมันที่สกัดได้จากการสลายตัวของไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ของแบคทีเรีย *Bacillus tropicus* ในอัตราส่วน 0%, 5% และ 10% เป็นระยะเวลา 7 วัน

- 1) Control
- 2) *Bacillus tropicus* (5%)
- 3) *Bacillus tropicus* (10%)



ภาพผนวกที่ 4 ปริมาณไขมันและน้ำมันที่สกัดได้จากการสลายตัวของแบคทีเรีย *Bacillus tropicus* ในอัตราส่วน 0% และ 5% ในน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปเนื้อไก่แช่แข็ง เป็นเวลา 7 วัน

1) Control

2) *Bacillus tropicus* (5%)



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวกชพรรณ วรณธาดา
เกิดเมื่อ 1 พฤษภาคม 2521
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2544 ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จังหวัดเชียงใหม่
พ.ศ. 2562 ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2544-2567 บริษัท ปริ้นเซส ฟู้ดส์ จำกัด

