



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตไลเปสโดยแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงและการประยุกต์ใช้
ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน

(Lipase production by thermophilic bacteria and application for
biological treatment of lipid-contaminated wastewater)

โดย

ผศ. ดร. ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล

กันยายน ๒๕๕๒

b 00250413



245653



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตไลเปสโดยแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงและการประยุกต์ใช้
ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน

(Lipase production by thermophilic bacteria and application for
biological treatment of lipid-contaminated wastewater)

โดย

ผศ. ดร. ปราณีย์ พัฒนพิพิธไพศาล



กันยายน ๒๕๕๒



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง การผลิตไลเปสโดยแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงและการประยุกต์ใช้
ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน

(Lipase production by thermophilic bacteria and application for
biological treatment of lipid-contaminated wastewater)

ผู้วิจัย

ผศ. ดร. ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานงบประมาณ

ประจำปี ๒๕๕๑-๒๕๕๒

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณ ประจำปี พ. ศ. ๒๕๕๑-๒๕๕๒ ผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวพิยาดา สุรารักษ์ นางสาวจิราวรรณ มลาไว้ย และนางสาวสายน้ำผึ้ง ฉายาพัฒน์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่สำหรับทำงานวิจัยในครั้งนี้

บทคัดย่อ

245653

จากการศึกษาเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการย่อยสลายไขมันของไลเปสที่สังเคราะห์จากแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงจำนวน 4 ไอโซเลท พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อกิจกรรมไลเปสที่สังเคราะห์จากแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ไอโซเลท PTL36, PTL38, PTL41, และ PTL44 คือ 6.5, 6.0, 5.6, และ 6.0 ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 60, 60, 50, และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความคงตัวในช่วงพีเอชเท่ากับ 6.5-7.0, 6.5-7.0, 7.0, และ 6.0-6.5 ตามลำดับ เมื่อเก็บไลเปสไว้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เอนไซม์ยังคงมีกิจกรรมคงเหลือเท่ากับ 69.67, 93.12, 71.65, และ 55.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ไอโซเลท PTL38 เป็นสายพันธุ์สังเคราะห์ไลเปสที่มีกิจกรรมสูงและมีความคงทนต่อช่วงสภาวะที่เป็นกลางและอุณหภูมิสูง จึงคัดเลือกใช้ในการศึกษาต่อไป สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไลเปสโดยแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ไอโซเลท PTL38 คือ การเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันปาล์มเป็นสับสเตรท พีเอชเริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 7.0 หัวเชื้อตั้งต้นอายุ 36 ชั่วโมง ด้วยปริมาตร 5.0 เปอร์เซ็นต์ (v/v) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 36 ชั่วโมง โดยเชื้อสามารถสังเคราะห์ไลเปสที่มีกิจกรรมสูงสุดเท่ากับ 36.50 ยูนิตต่อมิลลิลิตร เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันมะกอกโดยไบโोकตะไลด์ตรึงรูป พบว่าในเวลา 120 ชั่วโมงแบคทีเรียตรึงรูป เอ็กซ์ตราเซลลูลาไลเปสตรึงรูป และอินตราเซลลูลาไลเปสตรึงรูป สามารถย่อยสลายน้ำมันมะกอกโดยมีปริมาณน้ำมันและไขมันเหลืออยู่เท่ากับ 43.03, 30.74, และ 19.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับหรือเปลือกไข่ เอ็กซ์ตราเซลลูลาไลเปสตรึงรูป และอินตราเซลลูลาไลเปสตรึงรูป มีค่า BOD ลดลงเท่ากับ 62.63, 36.42 และ 48.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือเท่ากับ 31.62, 15.00 และ 29.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้ำเสียปนเปื้อนไขมันจากโรงงานผลิตเนื้อสัตว์เทศบาลวารินชำราบที่ผ่านการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับหรือเปลือกไข่ เอ็กซ์ตราเซลลูลาไลเปสตรึงรูป และอินตราเซลลูลาไลเปสตรึงรูป มีค่า BOD ลดลงเท่ากับ 39.71, 36.72 และ 39.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือเท่ากับ 54.14, 32.64 และ 48.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการตรวจวินิจฉัยด้วยเทคนิคชีวโมเลกุล สามารถจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 คือ *Geobacillus stearothermophilus* PTL38 ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำไลเปสตรึงรูปไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมันของโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

Abstract

245653

Optimization conditions of the lipolytic reaction between four thermophilic bacteria was investigated. It was found that the optimal lipase activity of isolate PTL36, PTL38, PTL41, and PTL44 were pH 6.5, 6.0, 5.6, and 6.0, respectively, and at 60, 60, 50, and 60°C, respectively. The lipases were stable in the pH range of 6.5-7.0, 6.5-7.0, 7.0, and 6.0-6.5, respectively. The lipases retained 69.67%, 93.12%, 71.65%, and 55.32% of original activity after incubation at 70 °C for 30 minutes. The result showed that thermophilic bacteria isolate PTL38 synthesizes lipase containing high activity and stability in acidic condition and at high temperature. Optimization of lipase production, the maximum activity of 36.50 U/ml was obtained when the bacterium was cultured using plum oil (cooking oil) as substrate, initial pH 7.0, 5.0% (v/v) of 36 hours of inoculum age, incubate at 55 °C with shaking at 180 rpm for 36 hour. The biodegradation of olive oil was performed using immobilised cells (egg shell loaded with cells) immobilised extracellular lipase (egg shell loaded with extracellular lipase), immobilised intracellular lipase (egg shell loaded with intracellular lipase). It was showed that the lipid content remained 43.03%, 30.74%, and 19.66% of original concentration, respectively. The BOD removal from synthetic wastewater treated with egg shell, immobilised extracellular lipase, and immobilised intracellular lipase was 62.63%, 36.42% and 48.84%, respectively at a residence time of 120 hours while the lipid content remained 31.62%, 15.00% and 29.94% of original concentration, respectively. Lipid contaminated wastewater from Warinchamrap slaughterhouse was treated with egg shell, immobilised extracellular lipase, and immobilised intracellular lipase. The BOD removal was 39.71%, 36.72% and 39.06% respectively and lipid content was reduced by 54.14%, 32.64% and 48.55% of original concentration, respectively within 120 hours under aerobic condition. From 16S rDNA sequencing analysis showed that thermophilic lipase producing bacteria isolate PTL38 is *Geobacillus stearotherophilus* PTL38. The study indicates that immobilized lipase of *G. stearotherophilus* PTL38 could be further applied in lipid-contaminated wastewater treatment system in industries.

คำสำคัญ : ไขมัน (Lipid) ไลเปส (Lipase) ไลเปสตรึงรูป (Immobilized lipase) การผลิตไลเปส (Lipase production) การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน (Lipid-contaminated wastewater treatment)

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
สารบัญตาราง	7
สารบัญภาพ	10
บทนำ	13
การตรวจเอกสาร	15
วิธีการทดลอง	23
ผลการทดลอง	29
อภิปรายผลการทดลอง	78
สรุปผลการทดลอง	82
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก	
- ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงเชื้อ	87
- ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์	90
- ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	92
ประวัติผู้วิจัย	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 16 ความคงทนของไลเปสที่สังเคราะห์จากเชื้อแบคทีเรียชอบอุณหภูมิตั้ง ไอโซเลท PTL44 ที่อุณหภูมิต่างๆ	48
ตารางที่ 17 สรุปลักษณะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการย่อยสลายไขมันและความคงทน ของไลเปสที่สังเคราะห์จากแบคทีเรียชอบอุณหภูมิตั้งไอโซเลท	49
ตารางที่ 18 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิตั้ง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับค่าพีเอช ในระดับต่าง ๆ บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	51
ตารางที่ 19 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิตั้ง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับพีเอช เท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิต่าง ๆ บนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	53
ตารางที่ 20 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิตั้ง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 โดยใช้ช่วงอายุของหัวเชื้อตั้งต้นต่างๆ ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับพีเอชเท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	55
ตารางที่ 21 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิตั้ง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ที่มีอายุของหัวเชื้อตั้งต้นที่ 36 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้นที่ระดับต่างๆ ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับพีเอชเท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	57
ตารางที่ 22 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิตั้ง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้น้ำมันมะกอก เป็นสับสเตรท ระดับความเข้มข้นของสับสเตรทเท่ากับ 2.5 % v/v ปรับค่าพีเอช เท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อายุของหัวเชื้อตั้งต้น 36 ชั่วโมง ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้น 5.0 เปอร์เซ็นต์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบต่อนาที ที่ระดับต่างๆ กัน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	59
ตารางที่ 23 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิตั้งที่สังเคราะห์ ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้น้ำมันมะกอกเป็นสับสเตรท ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 2.5 % (v/v), และปรับพีเอชเท่ากับ 7.0 บ่มที่ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อายุของหัวเชื้อตั้งต้น 36 ชั่วโมง ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้น 5.0 เปอร์เซ็นต์ บนเครื่องเขย่าความเร็ว 180 รอบต่อนาที ตามช่วงเวลาต่างๆ	61

ตารางที่	หน้า
<p>ตารางที่ 24 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันพืช ประกอบอาหารที่ผลิตเชิงพาณิชย์ (ใหม่) เป็นสับสเตรท ปรับพีเอชเท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อายุของหัวเชื้อตั้งต้น 36 ชั่วโมง ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้น 5.0 เปอร์เซ็นต์ บนเครื่องเขย่าความเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 36 ชั่วโมง</p>	63
<p>ตารางที่ 25 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันพืช ประกอบอาหารที่ผลิตเชิงพาณิชย์ (ผ่านการใช้แล้ว) เป็นสับสเตรท ปรับพีเอช เท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อายุของหัวเชื้อตั้งต้น 36 ชั่วโมง ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้น 5.0 เปอร์เซ็นต์ บนเครื่องเขย่าความเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 36 ชั่วโมง</p>	64
<p>ตารางที่ 26 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันปาล์ม เป็นสับสเตรทที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ ปรับพีเอชเท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส อายุของหัวเชื้อตั้งต้น 36 ชั่วโมง ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้น 5.0 เปอร์เซ็นต์ บนเครื่องเขย่าความเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 36 ชั่วโมง</p>	65
<p>ตารางที่ 27 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ด้วยอายุของหัวเชื้อตั้งต้น 36 ชั่วโมง ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้น 5.0 เปอร์เซ็นต์ ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ น้ำมันปาล์ม เป็นสับสเตรทที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 2.5 % (v/v) และปรับพีเอชเท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 36 ชั่วโมง</p>	67
<p>ตารางที่ 28 ปริมาณไขมันที่เหลือจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียตรึงรูป เอ็กซ์ตราเซลลูลาไลเปสตรึงรูป และอินตราเซลลูลาไลเปสตรึงรูป ตามช่วงเวลาต่างๆ</p>	68
<p>ตารางที่ 29 ปริมาณ BOD ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ลดลงจากการบำบัดด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป</p>	71
<p>ตารางที่ 30 ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป</p>	72
<p>ตารางที่ 31 ปริมาณ BOD ของน้ำเสียปนเปื้อนไขมันจากโรงงานผลิตเนื้อสัตว์ เทศบาลวารินชำราบที่ลดลงจากการบำบัดด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป</p>	74
<p>ตารางที่ 32 ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือของน้ำเสียปนเปื้อนไขมันจากโรงงาน ผลิตเนื้อสัตว์เทศบาลวารินชำราบที่บำบัดด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป</p>	75

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 16 กิจกรรมไลเปสที่สังเคราะห์จากแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ไอโซเลท PTL44 หลังการบ่มที่อุณหภูมิระดับต่างๆ เป็นเวลา 30 นาที	48
ภาพที่ 17 สภาวะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการย่อยสลายไขมันและความคงทนของไลเปสที่สังเคราะห์จากแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงทั้งสี่ไอโซเลท	49
ภาพที่ 18 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับค่าพีเอชในระดับต่าง ๆ	51
ภาพที่ 19 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับพีเอชเท่ากับ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ	53
ภาพที่ 20 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 โดยใช้ช่วงอายุของหัวเชื้อตั้งต้นต่างๆ ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ	55
ภาพที่ 21 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ที่มีอายุของหัวเชื้อตั้งต้นที่ 36 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อตั้งต้นที่ระดับต่างๆ	57
ภาพที่ 22 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 บนเครื่องเขย่าความเร็ว (รอบต่อนาที) ที่ระดับต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	59
ภาพที่ 23 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้น้ำมันมะกอกเป็นสับสเตรท ตามช่วงเวลาต่างๆ	61
ภาพที่ 24 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันพืชประกอบอาหารที่ผลิตเชิงพาณิชย์ (ใหม่) เป็นสับสเตรท	63
ภาพที่ 25 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันพืชประกอบอาหารที่ผลิตเชิงพาณิชย์ (ผ่านการใช้แล้ว) เป็นสับสเตรท	64
ภาพที่ 26 กิจกรรมไลเปสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันปาล์มเป็นสับสเตรทที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ	66
ภาพที่ 27 ปริมาณไขมันที่เหลือจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียตรึงรูป เอ็กซ์ตราเซลลูล่าไลเปส ตรึงรูป และอินตราเซลลูล่าไลเปสตรึงรูป ตามช่วงเวลาต่างๆ	69
ภาพที่ 28 ปริมาณ BOD ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ลดลงจากการบำบัดด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป	71
ภาพที่ 29 ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือของน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป	72
ภาพที่ 30 ปริมาณ BOD ของน้ำเสียปนเปื้อนไขมันจากโรงงานผลิตเนื้อสัตว์เทศบาล วารินชำราบที่ลดลงจากการบำบัดด้วยเอนไซม์ไลเปสตรึงรูป	74

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 31 ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือของน้ำเสียปนเปื้อนไขมันจากโรงงานผลิตเนื้อสัตว์ เทศบาลวารินชำราบที่บำบัดด้วยเอนไซม์ไลเปสตรังรูป	75
ภาพที่ 32 ลำดับเบสของ 16S rDNA gene ของเชื้อแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูงที่สังเคราะห์ ไลเปสไอโซเลท PTL38 (Query ID: lcl63227, 568 nucleotides) “N” หมายถึง Unidentified nucleotides	76
ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบการเข้าคู่ของลำดับเบสของเชื้อแบคทีเรียชอบอุณหภูมิสูง ที่สังเคราะห์ไลเปส ไอโซเลท PTL38 (Query ID: lcl63227) และลำดับเบสของ subject sequence; <i>Geobacillus stearothermophilus</i> 16S rRNA gene (Accession no. EU652090.1)	77