

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
เมทิลโลโทรฟิแบคทีเรีย	3
เมทานอล	5
เมแทบอลิซึมของเมทานอลในเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรีย	6
คิสติมิเลชันของเมทานอล	7
แอสติมิเลชันของเมทานอล	13
ฟอร์มัลดีไฮด์	19
การนำเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียไปใช้ประโยชน์	21
แบคทีเรียทนอุณหภูมิสูง	23
อนุกรมวิธานของแบคทีเรีย	25
อุปกรณ์และวิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	38
สรุป	91
ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	95
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก	105
ภาคผนวก ข	115
ภาคผนวก ค	128
ภาคผนวก ง	131
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	165

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การแยกเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียที่สามารถใช้เมทานอลเพื่อการเจริญได้ที่ 45 องศาเซลเซียส บนอาหารแข็งที่มีเมทานอล 0.5 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) บ่มนาน 3 วัน	38
2	การเจริญของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียที่อุณหภูมิสูง (45 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส) ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 0.5 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตรอาหาร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ความเร็ว 170 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 วัน	42
3	ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ความเร็ว 170 รอบต่อนาที ที่ 37 45 50 และ 55 องศาเซลเซียส	48
4	ค่า MIC ของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อการเจริญของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียทนอุณหภูมิสูง 19 ไอโซเลท เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่เติมฟอร์มัลดีไฮด์ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายในช่วง 0.01-2.5 มิลลิโมลาร์ บ่ม ที่ 45 และ 50 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ความเร็ว 170 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	62
5	ค่า MIC ของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อการเจริญของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB4 TE1 และ TB2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีและไม่มีเมทานอล เมื่อเลี้ยงที่ 45 องศาเซลเซียส	69
6	กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์ HPS และ PHI ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุน 170 รอบต่อนาที ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
7	ค่าการเจริญสูงสุด ปริมาณฟอर्मาลดีไฮด์ในอาหารเลี้ยงเชื้อเริ่มต้น และสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง ปริมาณสูงสุดของฟอर्मาลดีไฮด์ภายในเซลล์ และกิจกรรมจำเพาะสูงสุดของเอนไซม์ HPS และ PHI ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรีย 3 ไอโซเลทที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่เติมฟอर्मาลดีไฮด์ บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	77
8	ค่าความเหมือน (% Identities) ของลำดับเบสจำนวน 816 คู่เบส ของ 16s rDNA ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB4 เปรียบเทียบกับลำดับเบสของแบคทีเรียจากฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม BLASTn	79
9	สัณฐานวิทยาของเซลล์และโคโลนี การติดสีแกรม การสร้างเอนโดสปอร์ และคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB4	81
10	ค่าความเหมือน (% Identities) ของลำดับเบสจำนวน 814 คู่เบส ของ 16s rDNA ของ เมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TE1 เปรียบเทียบกับลำดับเบสของแบคทีเรียจากฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม BLASTn	84
11	สัณฐานวิทยาของเซลล์และโคโลนี การติดสีแกรม การสร้างเอนโดสปอร์ และคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TE1	85
12	ค่าความเหมือน (% Identities) ของลำดับเบสจำนวน 799 คู่เบส ของ 16s rDNA ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TB2 เปรียบเทียบกับลำดับเบสของแบคทีเรียจากฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม BLASTn	87
13	สัณฐานวิทยาของเซลล์และโคโลนี การติดสีแกรม การสร้างเอนโดสปอร์ และคุณสมบัติทางชีวเคมีบางประการของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TB2	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข1 การเตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐาน bovine serum albumin (BSA) จากความเข้มข้นเริ่มต้น 2.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เจือจางให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ	118
ข2 การเตรียมสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์มาตรฐาน จากความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิโมลาร์เจือจางให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ	120
ข3 การเตรียมโปตัสเซียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์	127
ค1 ช่วงอุณหภูมิในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	129
ค2 ลักษณะการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์	130
ง1 ค่าการเจริญ (OD ₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส CM1 ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	132
ง2 ค่าการเจริญ (OD ₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส CM3 ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	133
ง3 ค่าการเจริญ (OD ₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส CM4 ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	134

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง4 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส D2 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	135
ง5 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส D4 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	136
ง6 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส D5 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	137
ง7 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส D6 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	138
ง8 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส D7 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	139

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง9 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส KA1 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	140
ง10 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส KA2 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	141
ง11 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส KA5 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	142
ง12 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส KB5 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	143
ง13 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB2 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	144

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง14 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB4 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	145
ง15 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB6 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	146
ง16 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SD1 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	147
ง17 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SD2 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	148
ง18 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TA4 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง19 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียรหัส TB1 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	150
ง20 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียรหัส TB2 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	151
ง21 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียรหัส TB3 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	152
ง22 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียรหัส TD2 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	153
ง23 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียรหัส TE1 ที่ระยะ เวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มี เมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง24 ค่าการเจริญ (OD₆₁₀) ของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียรหัส TE2 ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อเลี้ยงที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุนที่ความเร็ว 170 รอบต่อนาที	155
ง25 การเจริญของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) โดยเติมฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 0.0.1-1.0 มิลลิโมลาร์ ที่ 45 องศาเซลเซียส บ่มบนเครื่องเขย่า 170 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	156
ง26 การเจริญของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) โดยเติมฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1.1-2.5 มิลลิโมลาร์ ที่ 45 องศาเซลเซียส บ่มบนเครื่องเขย่า 170 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	158
ง27 เมทิลโลโทรฟิแบคทีเรีย รหัส SB4 โดยเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่มีเติมฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นตามค่า MIC ที่ได้ บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุน 170 รอบต่อนาที ที่ 45 องศาเซลเซียส	160
ง28 เมทิลโลโทรฟิแบคทีเรีย รหัส TE1 โดยเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่มีเติมฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นตามค่า MIC ที่ได้ บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุน 170 รอบต่อนาที ที่ 45 องศาเซลเซียส	160
ง29 เมทิลโลโทรฟิแบคทีเรีย รหัส TB2 โดยเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่มีเติมฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นตามค่า MIC ที่ได้ บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุน 170 รอบต่อนาที ที่ 45 องศาเซลเซียส	161

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง30 ค่า MIC ของเมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรียที่เจริญได้ในอาหารเหลว ที่เติมฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้นต่าง ๆ บ่มบนเครื่องเขย่าแบบหมุน ความเร็ว 170 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	161
ง31 เมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรีย รหัส SB4 โดยเลี้ยงในอาหารเหลว เมทานอล ที่เติมฟอร์มาลดีไฮด์ 0.8 มิลลิโมลาร์ บ่มบนเครื่องเขย่า แบบหมุน 170 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	162
ง32 เมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรีย รหัส TE1 โดยเลี้ยงในอาหารเหลว เมทานอล ที่เติมฟอร์มาลดีไฮด์ 0.7 มิลลิโมลาร์ บ่มบนเครื่องเขย่า แบบหมุน 170 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	163
ง33 เมทิลโลโทรฟิเคแบคทีเรีย รหัส TB2 โดยเลี้ยงในอาหารเหลว เมทานอล ที่เติมฟอร์มาลดีไฮด์ 0.5 มิลลิโมลาร์ บ่มบนเครื่องเขย่า แบบหมุน 170 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	164

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กระบวนการกำจัดเมทานอลในร่างกาย	6
2 พอร์มาลดีไฮด์เป็นศูนย์กลางการเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมของ เมทิลโอโทรฟิแบคทีเรีย	7
3 โครงสร้างของโคแฟกเตอร์และโคเอนไซม์ชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการ การออกซิไดซ์พอร์มาลดีไฮด์	8
4 วิธีการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของพอร์มาลดีไฮด์ไปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ ของ <i>Methylobacterium extorquens</i> AM1 และ <i>Paracoccus denitrificans</i>	9
5 วิถี Ribulose monophosphate (RuMP)	15
6 วิถี Serine	16
7 วิถี Ribulose biphosphate (RuBP)	18
8 สัณฐานวิทยาของโคโลนี เมื่อเจริญบนอาหาร NA เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (ก) รูปร่าง ขนาด และการติดสีแกรม (ข) และตำแหน่งเอนโดสปอร์ภายใน เซลล์ (ค) ของเมทิลโอโทรฟิแบคทีเรียหีส CM1 ภายใต้กล้อง จุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า	51
9 สัณฐานวิทยาของโคโลนี เมื่อเจริญบนอาหาร NA เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (ก) รูปร่าง ขนาด และการติดสีแกรม (ข) และตำแหน่งเอนโดสปอร์ภายใน เซลล์ (ค) ของเมทิลโอโทรฟิแบคทีเรียหีส CM3 ภายใต้กล้อง จุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า	52
10 สัณฐานวิทยาของโคโลนี เมื่อเจริญบนอาหาร NA เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (ก) รูปร่าง ขนาด และการติดสีแกรม (ข) และตำแหน่งเอนโดสปอร์ภายใน เซลล์ (ค) ของเมทิลโอโทรฟิแบคทีเรียหีส CM4 ภายใต้กล้อง จุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า	52
11 สัณฐานวิทยาของโคโลนี เมื่อเจริญบนอาหาร NA เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (ก) รูปร่าง ขนาด และการติดสีแกรม (ข) และตำแหน่งเอนโดสปอร์ภายใน เซลล์ (ค) ของเมทิลโอโทรฟิแบคทีเรียหีส D2 ภายใต้กล้อง จุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
12	53
13	54
14	54
15	55
16	55
17	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
18	56
19	57
20	57
21	58
22	58
23	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
24	59
25	60
26	60
27	66
28	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นของเซลล์แขวนลอยที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร (OD_{610}) กับน้ำหนักแห้งของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียหัต TE1	117
ข2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร	119
ข3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้นต่างๆ กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร	121
ง1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียหัต CM1 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	132
ง2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียหัต CM3 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	133
ง3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียหัต CM4 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	134
ง4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียหัต D2 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	135
ง5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียหัต D4 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	136
ง6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิลโลโทรฟิแบคทีเรียหัต D5 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	137

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส D6 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	138
ง8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส D7 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	139
ง9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส KA1 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ปริมาตร ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	140
ง10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส KA2 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	141
ง11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส KA5 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	142
ง12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส KB5 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	143
ง13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB2 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	144
ง14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB4 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	145
ง15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SB6 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	146

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SD1 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	147
ง17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส SD2 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	148
ง18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TA4 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	149
ง19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TB1 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	150
ง20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TB2 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	151
ง21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TB3 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	152
ง22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TD2 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	153
ง23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TE1 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	154
ง24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเจริญ (OD_{610}) กับเวลาของเมทิล โลโทรฟิเคแบคทีเรียรหัส TE2 ในอาหารเหลวที่มีเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ที่ 37 และ 45 องศาเซลเซียส	155