# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ญ |
| สารบัญภาพ | ฏ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง | 34 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล | 54 |
| บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ | 109 |
| บรรณานุกรม | 111 |
| ภาคผนวก | 121 |
| ภาคผนวก ก ความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และสัดส่วนมวลน้ำตาลแต่ละชนิดต่อกรัมลำไยอบแห้ง จากการสกัดวิธี ST30, S24, S24B30, และ B30x2 | 122 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | |
|---|---|---|
| ภาคผนวก ข | การเตรียมสารสกัดลำไยเข้มข้น | 125 |
| ภาคผนวก ค | วิธีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยถังความดันฆ่าเชื้อ | 126 |
| ภาคผนวก ง | การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ | 128 |
| ภาคผนวก จ | การเตรียมแหล่งอาหารไนโตรเจนเข้มข้นสำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารสกัดลำไยอบแห้งและลำไยสดเป็นแหล่งอาหารคาร์บอนในการเพาะเลี้ยงหัวเชื้อ | 129 |
| ภาคผนวก ฉ | การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสารสกัดลำไยอบแห้งและลำไยสดระดับ 100, 150 และ 1,500 มิลลิลิตร สำหรับการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ | 130 |
| ภาคผนวก ช | การวัดความเข้มข้นมวลชีวภาพแห้ง | 132 |
| ภาคผนวก ซ | การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร | 133 |
| ภาคผนวก ฌ | การทำให้ผนังเซลล์ยีสต์เกิดรูรั่ว | 134 |
| ภาคผนวก ญ | การวิเคราะห์โปรตีนที่ละลายได้ด้วยวิธี Bradford | 135 |
| ภาคผนวก ฎ | การวิเคราะห์ค่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ไพรูเวตดีคาร์บอกซิเลส | 137 |
| ภาคผนวก ฏ | การวิเคราะห์ความเข้มข้นน้ำตาลและสารประกอบอินทรีย์โดยวิธีโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง | 140 |
| ภาคผนวก ฐ | การวิเคราะห์ความเข้มข้นฟีนิลแอซิติลคาร์บินอล | 144 |
| ภาคผนวก ฑ | การทดลองไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่นในระบบของเหลวสองชั้นแบบแยกชั้น | 145 |
| ประวัติผู้เขียน | | 152 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบัญตาราง


| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ลำไยปี 2548 – 2552 | 6 |
| 2.2 | การบริโภคลำไยสดและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ และการส่งออกปี 2548 – 2552 | 6 |
| 2.3 | ปริมาณ และมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์ลำไย (ปี 2542 – 2552) | 7 |
| 2.4 | ส่วนประกอบ การใช้งาน และประเทศที่ใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจากเอทานอล | 10 |
| 3.1 | จุลินทรีย์ 15 สายพันธุ์ ที่ใช้ในการทดลอง | 34 |
| 4.1 | ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะแนนประสิทธิภาพการสกัด (คะแนนเต็ม 100) สำหรับวิธีสกัดต่างชนิด | 59 |
| 4.2 | การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ค่าการดูดกลืนแสง และค่าความเข้มข้นมวลชีวภาพ ระหว่างเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ 5606D,5606F และ 5020F | 85 |
| 4.3 | ค่าระดับความเป็นกรดด่างเฉลี่ย อัตราการลดลงเฉลี่ยของค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสง อัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นมวลชีวภาพ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย และ เวลาเฉลี่ยที่จุลินทรีย์ใช้ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า สำหรับ 5606D, 5606F และ 5020F | 86 |
| 4.4 | อัตราการลดลงสูงสุดของค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของค่าการดูดกลืนแสง อัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของความเข้มข้นมวลชีวภาพ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด และเวลาน้อยสุดที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์เป็น 2 เท่า สำหรับ 5606D, 5606F และ 5020F | 87 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | |
|---|---|---|
| 4.5 | การเปลี่ยนแปลงของระดับการลดลงของความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส กลูโคสและฟรุกโตส ระดับการเพิ่มขึ้นของเอทานอล ระหว่างเวลาเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ และสัดส่วนการผลิตเอทานอล สำหรับ 5606D, 5606F และ 5020F | 88 |
| 4.6 | อัตราการลดลงเฉลี่ยของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส อัตราการผลิตเอทานอลเฉลี่ย อัตราการลดลงเฉลี่ยของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสจำเพาะ และอัตราเฉลี่ยการผลิตเอทานอลจำเพาะ สำหรับ 5606D, 5606F และ 5020F | 89 |
| 4.7 | อัตราการลดลงสูงสุดของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส อัตราการผลิตเอทานอลสูงสุด อัตราการลดลงสูงสุดของน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโตสจำเพาะ และอัตราสูงสุดการผลิตเอทานอลจำเพาะ สำหรับ 5606D, 5606F และ 5020F | 90 |
| 4.8 | การเปรียบเทียบทางสถิติความเข้มข้นของ PAC ที่ผลิตได้ในชั้นบัฟเฟอร์จากกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 102 |
| 4.9 | การเปรียบเทียบทางสถิติความเข้มข้นของ PAC ที่ผลิตได้ในชั้นสารอินทรีย์จากกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 103 |
| 4.10 | การเปรียบเทียบทางสถิติความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAC ที่ผลิตได้จากกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 104 |
| 4.11 | การเปรียบเทียบระดับความเป็นกรดด่างในชั้นฟอสเฟตบัฟเฟอร์ภายหลังกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 106 |
| 4.12 | สัดส่วนโดยปริมาตรของชั้นสารอินทรีย์ต่อชั้นบัฟเฟอร์ในกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 108 |
| ฎ.1 | ส่วนประกอบและความเข้มข้นของสารเคมีในสารละลายคาร์โบ-ไลเกสบัฟเฟอร์ | 137 |
| ฎ.2 | ปริมาณสารเคมีต่างๆในสารละลายคาร์โบไลเกสบัฟเฟอร์ | 137 |
| ฎ.3 | แสดงสภาวะที่ใช้สำหรับคอลัมน์ HPLC เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้น PAC | 138 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบัญภาพ


| ภาพ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ลำไย (*Dimocarpus longan*) | 4 |
| 2.2 | พื้นที่เพาะปลูกลำไยในประเทศไทย | 8 |
| 2.3 | ราคาลำไยทั้งช่อพันธุ์อีดอผลขนาดคละ ปี 2542 – 2552 | 9 |
| 2.4 | กระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่นเพื่อผลิต PAC และผลิตภัณฑ์ข้างเคียง | 27 |
| 2.5 | การผลิตเอทานอลในเซลล์ยีสต์ | 28 |
| 2.6 | กระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่นระบบของเหลวสองชั้นแบบอิมัลชั่นเพื่อผลิต PAC | 30 |
| 3.1 | ชุดเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ระดับ 100 มิลลิลิตร | 43 |
| 3.2 | การเก็บตัวอย่างในการทดสอบผลกระทบของการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจนสำหรับเชื้อจุลินทรีย์ 15 สายพันธุ์ | 44 |
| 3.3 | ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับการทดลอง 3.4.2 | 45 |
| 3.4 | ชุดเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ระดับ 1,500 มิลลิลิตร | 46 |
| 3.5 | ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ระดับ 1,500 มิลลิลิตร | 47 |
| 3.6 | กระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่นระบบของเหลวสองชั้นแบบแยกชั้นในอัตราส่วน 1:1 | 51 |
| 3.7 | แผ่นงานสำหรับกรอกค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนที่ต้องการเปรียบเทียบกันทางสถิต | 52 |
| 3.8 | แผ่นงานแสดงผลการเปรียบเทียบทางสถิติ | 53 |
| 4.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของสัดส่วนมวลน้ำตาลที่สกัดได้ต่อเนื้อลำไยอบแห้ง และความเข้มข้นทั้งหมดของน้ำตาลทั้งหมดที่สกัดได้ | 55 |
| 4.2 | ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคสที่สกัดได้รวมถึงสัดส่วนมวลน้ำตาลแต่ละชนิดต่อกรัมลำไยอบแห้งในกรณีสกัด B30 | 61 |
| 4.3 | การเปรียบเทียบค่าสูงสุดคะแนนประสิทธิภาพการสกัดสัมพัทธ์ต่อค่าใช้จ่ายและเวลาสกัดจากแต่ละวิธีสกัด | 62 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | |
|---|---|---|
| 4.4 | การเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าความเข้มข้นของโปรตีนจากแต่ละวิธีสกัด | 63 |
| 4.5 | ความเข้มข้นน้ำตาล กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน ที่เวลา 0 ชั่วโมง | 66 |
| 4.6 | ความเข้มข้นน้ำตาล กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน ที่เวลา 48 ชั่วโมง | 66 |
| 4.7 | ความเข้มข้นน้ำตาล กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส สำหรับกรณีที่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน ที่เวลา 0 ชั่วโมง | 67 |
| 4.8 | ความเข้มข้นน้ำตาล กลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส สำหรับกรณีที่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน ที่เวลา 48 ชั่วโมง | 67 |
| 4.9 | ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 68 |
| 4.10 | ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 68 |
| 4.11 | ความเข้มข้นมวลชีวภาพแห้งที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 70 |
| 4.12 | ความเข้มข้นมวลชีวภาพแห้งที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 70 |
| 4.13 | ความเข้มข้นเอทานอลที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 72 |
| 4.14 | ความเข้มข้นเอทานอลที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 72 |
| 4.15 | ระดับความเป็นกรดด่างที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 73 |
| 4.16 | ระดับความเป็นกรดด่างที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 74 |
| 4.17 | ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 75 |
| 4.18 | ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 76 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | |
|---|---|---|
| 4.19 | ค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 77 |
| 4.20 | ค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 77 |
| 4.21 | ความเข้มข้นโปรตีนที่ละลายได้ที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 78 |
| 4.22 | ความเข้มข้นโปรตีนที่ละลายได้ที่เวลา 0 และ 48 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่มีการเติมแหล่งอาหารไนโตรเจน | 79 |
| 4.23 | จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตสำหรับ 5606D | 83 |
| 4.24 | จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตสำหรับ 5606F | 84 |
| 4.25 | จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตสำหรับ 5020F | 84 |
| 4.26 | จลนพลศาสตร์การผลิตโปรตีน กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ PDC กิจกรรมการทำงานจำเพาะของเอนไซม์ PDC เทียบกับความเข้มข้นโปรตีนที่ละลายได้ และกิจกรรมการทำงานจำเพาะของเอนไซม์ PDC เทียบกับความเข้มข้นมวลชีวภาพแห้ง | 96 |
| 4.27 | ความเข้มข้น PAC ที่ผลิตได้ในชั้นบัฟเฟอร์จากกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 102 |
| 4.28 | ความเข้มข้น PAC ที่ผลิตได้ในชั้นสารอินทรีย์จากกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 103 |
| 4.29 | ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAC ที่ผลิตได้จากกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 104 |
| 4.30 | ระดับความเป็นกรดด่างในชั้นฟอสเฟตบัฟเฟอร์ในกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 105 |
| 4.31 | สัดส่วนโดยปริมาตรของชั้นสารอินทรีย์ต่อชั้นบัฟเฟอร์ที่ได้จากกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่น | 107 |
| ก.1 | ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคสที่สกัดได้ รวมถึงสัดส่วนมวล น้ำตาลแต่ละชนิดต่อกรัมลำไยอบแห้งในกรณีสกัด ST30 | 122 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | |
|---|---|---|
| ก.2 | ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคสที่สกัดได้ รวมถึงสัดส่วนมวล น้ำตาลแต่ละชนิดต่อกรัมลำไยอบแห้ง ในกรณีสกัด S24 | 123 |
| ก.3 | ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคสที่สกัดได้ รวมถึงสัดส่วนมวล น้ำตาลแต่ละชนิดต่อกรัมลำไยอบแห้ง ในกรณีสกัด S24B30 | 123 |
| ก.4 | ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส ฟรุกโตส และกลูโคสที่สกัดได้ รวมถึงสัดส่วนมวล น้ำตาลแต่ละชนิดต่อกรัมลำไยอบแห้ง ในกรณีสกัด B30x2 | 124 |
| ฉ.1 | การเติมแหล่งอาหารไนโตรเจนด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ | 131 |
| ญ.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน albumin bovine fraction V | 136 |
| ฏ.1 | โครมาโตรแกรมของน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส กรดแอซีติก และเอทานอล | 141 |
| ฏ.2 | เส้นโค้งความเข้มข้นมาตรฐานน้ำตาลซูโครส | 141 |
| ฏ.3 | เส้นโค้งความเข้มข้นมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส | 142 |
| ฏ.4 | เส้นโค้งความเข้มข้นมาตรฐานน้ำตาลฟรุกโตส | 142 |
| ฏ.5 | เส้นโค้งความเข้มข้นมาตรฐานกรดแอซีติก | 143 |
| ฏ.6 | เส้นโค้งความเข้มข้นมาตรฐานเอทานอล | 143 |
| ฐ.1 | โครมาโตแกรมของ PAC กรดเบนโซอิก และเบนซาลดีไฮด์ | 144 |
| ฑ.1 | ขวดทดลองกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่นระบบของเหลวสองชั้นแบบแยกชั้นก่อนการทดลอง | 151 |
| ฑ.2 | ขวดทดลองกระบวนการไบโอทรานส์ฟอร์เมชั่นระบบของเหลวสองชั้นแบบแยกชั้นหลังการทดลอง | 151 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved