

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249119



การหมักกากเมล็ดสับดำนเพื่อกำจัดสารพิษ
และผลิตโปรตีนสกัดสำหรับเลี้ยงถาวรเจริญเติบโตของพืช

นางสาวตติยาไม สว่างอารมณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2553

00253626

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249119

การหมักกากเมล็ดสับดูดำเพื่อกำจัดสารพิษ
และผลิตโปรตีนสกัดสำหรับเร่งการเจริญเติบโตของพืช

นางสาวผดุงไข่ม สว่างอารมณ์ วท.บ. (จุลชีววิทยา)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2553



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ.ดร. ศิริโณม ทุงแก้ว)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ.ดร. วรพงษ์ สุนทรสุข)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผศ.ดร. ศิววรรณ พูลพันธ์)

กรรมการ

(ดร. สุคนธ์ คันติไพบุลย์วุฒิ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหมักกากเมล็ดสับดูดำเพื่อกำจัดสารพิษและผลิตโปรตีนสกัด สำหรับเร่งการเจริญเติบโตของพืช
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวผดุงไข่ม สว่างอารมณ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. วรพจน์ สุนทรสุข
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาประยุกต์
ภาควิชา	จุลชีววิทยา
คณะ	วิทยาศาสตร์
พ.ศ.	2553

บทคัดย่อ

249119

กากเมล็ดสับดูดำเป็นของเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมันสับดูดำเพื่อใช้เป็นไบโอดีเซล กากสับดูดำมีโปรตีนสูง น่าจะใช้เป็นอาหารสัตว์หรือผลิตเป็นโปรตีนสกัดเพื่อใช้เร่งการเจริญเติบโตของพืช แต่กากเมล็ดสับดูดำมีสารพิษ phorbol ester และสารต้านคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ trypsin inhibitor, phytic acid, lectin และ saponin จึงไม่สามารถใช้ประโยชน์จากกากเมล็ดสับดูดำ งานวิจัยนี้ศึกษาการลดสารพิษและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการในกากเมล็ดสับดูดำโดยการหมักกากเมล็ดสับดูดำแบบอาหารเหลวและอาหารแข็งด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Rhizopus oryzae* และ *Rhizopus oligosporus* และศึกษาผลของการเจริญเติบโตของพืชด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ ผลการวิจัยพบว่าหลังการหมักกากเมล็ดสับดูดำแบบอาหารเหลว ปริมาณ phorbol ester ในกากเมล็ดสับดูดำลดลง 60-70% ด้วย *R. oligosporus* และ *A. oryzae* ปริมาณ phytic acid ลดลง 50% ด้วย *A. niger* ปริมาณ trypsin inhibitor ลดลงประมาณ 80% ด้วย *R. oligosporus* ปริมาณ saponin ลดลง 53% ด้วย *A. oryzae* และไม่พบปริมาณ lectin หลังการหมักด้วย *A. oryzae* สำหรับหลังการหมักแบบอาหารแข็งพบว่าปริมาณ phorbol ester ลดลง 56% ด้วย *A. oryzae* ปริมาณ phytic acid ลดลงมากที่สุดหลังการหมักโดย *A. niger* ปริมาณ trypsin inhibitor ลดลงประมาณ 50% ด้วย *R. oryzae* ไม่พบปริมาณ lectin ด้วย *A. oryzae* และไม่มีการลดลงของปริมาณ saponin นอกจากนี้ น้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อราทุกสายพันธุ์สามารถเร่งการเจริญเติบโตของต้นพริกและต้นคะน้า ทั้งนี้ น้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำของ *R. oligosporus* ให้ผลการเจริญเติบโตของพืชได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: กากเมล็ดสับดูดำ/ ฟอรับอลเอสเทอร์/ สารต้านโภชนาการ/ สารเร่งการเจริญเติบโตพืช/ การหมัก

Thesis Title	Fungal Fermentation of <i>Jatropha curcas</i> Seed Cake for its Detoxification and Production of Protein Hydrolysate for Plant Growth Promotion
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Padachamai Swang-arom
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Worapot Suntornsuk
Program	Master of Science
Field of Study	Applied Microbiology
Department	Microbiology
Faculty	Science
B.E.	2553

Abstract

249119

Jatropha curcas seed cake is a by-product generated from the biodiesel production of *J. curcas* seeds. It has high protein and could be used as a plant growth promoter. However, it contains toxic compounds, phorbol esters, and anti-nutritional factors such as trypsin inhibitor, phytic acid, lectin and saponin. Therefore, its applications are still limited. The objectives of this study were to detoxify the toxins and anti-nutritional factors in *J. curcas* seed cake by fungal fermentation using submerged and solid-state techniques and to study plant growth promotion by liquids from the fermented seed cake. Four fungal strains, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Rhizopus oryzae* and *Rhizopus oligosporus*, were tested in the study. For submerged fermentation, a level of phorbol esters in the seed cake was significantly reduced approximately 60-70% by *R. oligosporus* and *A. oryzae*. Phytic acid was markedly lowered around 50% by *A. niger*. Lectin was totally degraded by *A. oryzae*. Trypsin inhibitor was drastically decreased by all strains especially *R. oligosporus*. Saponin was decreased about 53% by *A. oryzae*. For solid-state fermentation, *A. oryzae* can reduce phorbol ester by 56%. Phytic acid was decreased around 55% by *A. niger*. Lectin was completely degraded by *A. oryzae*. Trypsin inhibitor was lowered by all strains especially *R. oryzae*. However, saponin content remained unchanged after fungal fermentation by all strains. In addition, the plant growth was promoted significantly by all liquid of the fungal fermented seed cake. However, the most effective plant growth promotion was observed by the liquid of the seed cake fermented by *R. oligosporus*.

Keywords: *Jatropha curcas* Seed Cake/ Phorbol Esters/ Anti-nutritional Factor/ Plant Growth Promotion/ Fermentation.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. วรพจน์ สุนทรสุข ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ศิริ โฉมทู่เกล้า ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ศิววรรณ พูลพันธ์ และ ดร. สุคนธ์ ตันติไพบูลย์วุฒิ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนช่วยให้แนวทางการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ธุรการประจำภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน สำหรับคำแนะนำและการอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (MRG-WI515S057) ที่สนับสนุนทุนวิจัยตลอดระยะเวลาการทำวิจัย และขอขอบคุณบริษัท ลัดดา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบ ข้อมูลวิชาการทางการเกษตร และทุนวิจัยบางส่วนสำหรับงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาของข้าพเจ้า ที่ช่วยให้กำลังใจสนับสนุนตลอดมา ขอขอบคุณนางสาวอรอุมา เสถานนท์ที่ให้คำปรึกษาในการทดสอบการเจริญเติบโตของพืช และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่น้องทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการเป็นกำลังใจให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ฅ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ถ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎี	4
2.1 สบู่ดำ	4
2.1.1 ข้อมูลทั่วไปและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพืชสบู่ดำ	4
2.1.2 ประโยชน์ของสบู่ดำ	6
2.1.3 พืชวิทยาของสบู่ดำ	7
2.1.4 สารพิษและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดสบู่ดำ	8
2.1.5 องค์ประกอบของกากสบู่ดำ	11
2.2 กระบวนการหมัก	14
2.2.1 การเลี้ยงเชื้อราบนอาหารแข็ง	14
2.2.2 การเลี้ยงเชื้อราบนอาหารเหลว	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 เชื้อราที่ใช้ในอุตสาหกรรม	16
2.3.1 <i>Aspergillus niger</i>	16
2.3.2 <i>Aspergillus oryzae</i>	16
2.3.3 <i>Rhizopus oligosporus</i>	17
2.3.4 <i>Rhizopus oryzae</i>	18
2.4 การเจริญเติบโตของพืช	18
2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด	18
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	19
2.5 สารเร่งการเจริญเติบโตของพืช	20
2.6 การวัดการเจริญเติบโต	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
3. ระเบียบวิธีวิจัย	24
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	24
3.2 สารเคมีและวัสดุดิบ	25
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	27
3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดสับดูดำ	27
3.3.2 การศึกษาสารพิษและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการในกากเมล็ดสับดูดำ	27
3.3.3 การเตรียมกล้าเชื้อรา	30
3.3.4 การกากเมล็ดสับดูดำแบบ solid-state fermentation	30
3.3.5 การกากเมล็ดสับดูดำแบบ submerged fermentation	30
3.3.6 การวิเคราะห์กากเมล็ดสับดูดำหลังการหมักด้วยเชื้อรา	30
3.3.7 การเตรียมน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ	31
3.3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ	31
3.3.9 การศึกษาจุลศาสตร์ของการหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา	33
3.3.10 การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ	33
3.3.11 การวิเคราะห์ทางสถิติ	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	36
4.1 องค์ประกอบของกากเมล็ดสบู่ดำ	36
4.2 การเจริญเติบโตของเชื้อราในกากเมล็ดสบู่ดำ	37
4.3 การลดสารพิษและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการในกากเมล็ดสบู่ดำ	39
4.3.1 ปริมาณ Phorbol esters	39
4.3.2 ปริมาณ Phytic acid	41
4.3.3 ปริมาณ Trypsin inhibitor	42
4.3.4 ปริมาณ Lectin	43
4.3.5 ปริมาณ Saponin	44
4.4 องค์ประกอบของกากเมล็ดสบู่ดำหลังการหมัก	46
4.5 กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในน้ำหมักกากเมล็ดสบู่ดำ	47
4.5.1 กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในน้ำหมักกากเมล็ดสบู่ดำ	47
4.5.2 กิจกรรมของเอนไซม์ไฟเตสในน้ำหมักกากเมล็ดสบู่ดำ	48
4.5.3 กิจกรรมของเอนไซม์เอสเทอร์สในน้ำหมักกากเมล็ดสบู่ดำ	49
4.6 การหมักกากเมล็ดสบู่ดำด้วย <i>R. oligosporus</i> แบบอาหารเหลว	51
4.6.1 การเจริญเติบโต	51
4.6.2 สารพิษและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการในกากเมล็ดสบู่ดำ	52
4.6.3 กิจกรรมของเอนไซม์ในน้ำหมักกากเมล็ดสบู่ดำ	54
4.6.4 ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนในน้ำหมักกากเมล็ดสบู่ดำ	56
4.7 การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสบู่ดำ	57
4.7.1 คุณสมบัติของน้ำหมักกากเมล็ดสบู่ดำ	57
4.7.2 การเจริญเติบโตของต้นพริก	59
4.7.3 การเจริญเติบโตของต้นคะน้า	65
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการทดลอง	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	69

สารบัญ (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก	
ก เทคนิคทางจุลชีววิทยา	82
ข การเตรียมสารเคมี	84
ค เทคนิคทางเคมีวิเคราะห์	88
ง ข้อมูลดิบผลการทดลอง	92
ประวัติผู้วิจัย	156

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบเคมีและปริมาณที่พบในกากเมล็ดสับดูดำจากเมืองต่างๆ ในประเทศไทยเม็กซิโก	12
2.2	ปริมาณและชนิดกรดอะมิโนที่พบในกากเมล็ดสับดูดำ	12
2.3	ปริมาณและชนิดแร่ธาตุที่พบในกากเมล็ดสับดูดำ	13
2.4	ปริมาณและชนิดสารพิษและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการที่พบในกากเมล็ด สับดูดำ	13
3.1	การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ Trypsin inhibitor	29
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดสับดูดำ	36
4.2	องค์ประกอบสารพิษและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการของกากเมล็ดสับดูดำ	37
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดสับดูดำหลังการหมักในสภาวะอาหารแข็ง และอาหารเหลว	46
4.4	ปริมาณ โปรตีนในน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำหลังจากการหมัก 7 วัน	57
4.5	ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ	58
4.6	ผลการเจริญของต้นค่น้ำหลังจากทดสอบด้วยตัวอย่างต่างๆ	66
4.7	สีของใบค่น้ำหลังจากการทดสอบด้วยตัวอย่างต่างๆ	66
ง.1	ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	92
ง.2	ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	93
ง.3	ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	93
ง.4	ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	93
ง.5	ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	94

รายการตาราง (ต่อ)

	หน้า
ง.6 ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	94
ง.7 ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	94
ง.8 ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	95
ง.9 ปริมาณ phorbol esters หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	96
ง.10 ปริมาณ phorbol esters หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	96
ง.11 ปริมาณ phorbol esters หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	97
ง.12 ปริมาณ phorbol esters หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	97
ง.13 ปริมาณ phorbol esters หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	98
ง.14 ปริมาณ phorbol esters หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	98
ง.15 ปริมาณ phorbol esters หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	99
ง.16 ปริมาณ phorbol esters หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	99
ง.17 ปริมาณ phytic acid หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	108
ง.18 ปริมาณ phytic acid หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	109
ง.19 ปริมาณ phytic acid หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	109
ง.20 ปริมาณ phytic acid หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	110
ง.21 ปริมาณ phytic acid หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	110
ง.22 ปริมาณ phytic acid หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	111
ง.23 ปริมาณ phytic acid หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	111
ง.24 ปริมาณ phytic acid หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	112
ง.25 ปริมาณ trypsin inhibitor หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	112

รายการตาราง (ต่อ)

	หน้า
ง.26 ปริมาณ trypsin inhibitor หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	113
ง.27 ปริมาณ trypsin inhibitor หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	113
ง.28 ปริมาณ trypsin inhibitor หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	113
ง.29 ปริมาณ trypsin inhibitor หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	114
ง.30 ปริมาณ trypsin inhibitor หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	114
ง.31 ปริมาณ trypsin inhibitor หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	114
ง.32 ปริมาณ trypsin inhibitor หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	115
ง.33 ปริมาณ lectin หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	115
ง.34 ปริมาณ lectin หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	115
ง.35 ปริมาณ lectin หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	116
ง.36 ปริมาณ lectin หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	116
ง.37 ปริมาณ lectin หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	116
ง.38 ปริมาณ lectin หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	117
ง.39 ปริมาณ lectin หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	117
ง.40 ปริมาณ lectin หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	117
ง.41 ปริมาณ saponin หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	118
ง.42 ปริมาณ saponin หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	119
ง.43 ปริมาณ saponin หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	119
ง.44 ปริมาณ saponin หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	119
ง.45 ปริมาณ saponin หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	120
ง.46 ปริมาณ saponin หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	120

รายการตาราง (ต่อ)

		หน้า
ง.47	ปริมาณ saponin หลังการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	120
ง.48	ปริมาณ saponin หลังการหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	121
ง.49	ปริมาณ โปรตีนหลังการหมักแบบอาหารเหลวในวันที่ 7	122
ง.50	ปริมาณ โปรตีนหลังการหมักแบบอาหารแข็งในวันที่ 7	122
ง.51	ปริมาณกรดอะมิโนหลังการหมักแบบอาหารเหลวในวันที่ 7	123
ง.52	ปริมาณกรดอะมิโนหลังการหมักแบบอาหารแข็งในวันที่ 7	124
ง.53	กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสหลังการหมักแบบอาหารเหลวในวันที่ 7	125
ง.54	กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสหลังการหมักแบบอาหารแข็งในวันที่ 7	125
ง.55	กิจกรรมเอนไซม์ไฟเตสหลังการหมักแบบอาหารเหลวในวันที่ 7	126
ง.56	กิจกรรมเอนไซม์ไฟเตสหลังการหมักแบบอาหารแข็งในวันที่ 7	127
ง.57	กิจกรรมเอนไซม์เอสเทอร์เอสหลังการหมักแบบอาหารเหลวในวันที่ 7	128
ง.58	ปริมาณกลูโคซามีนและค่า pH ระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	129
ง.59	ปริมาณ phorbol ester ระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	130
ง.60	ปริมาณ phytic acid ระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	131
ง.61	ปริมาณ trypsin inhibitor ระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	132
ง.62	ปริมาณ lectin ระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	133
ง.63	ปริมาณ saponin ระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	134
ง.64	ปริมาณ โปรตีนระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	135
ง.65	ปริมาณกรดอะมิโนระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	136

รายการตาราง (ต่อ)

		หน้า
ง.66	กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	137
ง.67	กิจกรรมเอนไซม์ไฟเตสระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	138
ง.68	เปอร์เซ็นต์ความงอกของพริกขี้หนูสายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์ที่ระยะเวลา 14 วัน หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์ และชุด ควบคุม	139
ง.69	เปอร์เซ็นต์การแทงรากของพริกขี้หนูสายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์ที่ระยะเวลา 14 วัน หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุด ควบคุม	139
ง.70	อัตราการเจริญของต้นกล้าของพริกขี้หนูสายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์ ที่ ระยะเวลา 14 วัน หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สาย พันธุ์ และชุดควบคุม	140
ง.71	ดัชนีการงอกของพริกขี้หนูสายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์ หลังทดสอบด้วยน้ำ หมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	140
ง.72	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (mm) ของคะน้าสายพันธุ์ทวีโชค หลังทดสอบ ด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	141
ง.73	ความสูงลำต้น (cm) ของคะน้าสายพันธุ์ทวีโชค หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกาก เมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	141
ง.74	น้ำหนักแห้ง (g) ของคะน้าสายพันธุ์ทวีโชค หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ด สับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	142
ง.75	น้ำหนักสด (g) ของคะน้าสายพันธุ์ทวีโชค หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ด สับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	142
ง.76	ค่า L* ของสีใบคะน้าสายพันธุ์ทวีโชค หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ ด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	143
ง.77	ค่า a* ของสีใบคะน้าสายพันธุ์ทวีโชค หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ ด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	143
ง.78	ค่า b* ของสีใบคะน้าสายพันธุ์ทวีโชค หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ ด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	144

รายการตาราง (ต่อ)

		หน้า
ง.79	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์ความงอก (%G) ของพริกยักษ์สายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์	145
ง.80	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์การแทงราก (%RE) ของพริกยักษ์สายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์	146
ง.81	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการเจริญของต้นกล้า (SGR) ของพริกยักษ์สายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์	147
ง.82	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติดัชนีการงอก (GI) ของพริกยักษ์สายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์	148
ง.83	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (mm) ของคะน้ำสายพันธุ์ทิวโชค	149
ง.84	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติความสูงลำต้น (cm) ของคะน้ำสายพันธุ์ทิวโชค	150
ง.85	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติน้ำหนักแห้ง (g) ของคะน้ำสายพันธุ์ทิวโชค	151
ง.86	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติน้ำหนักสด (g) ของคะน้ำสายพันธุ์ทิวโชค	152
ง.87	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า L* ของสีใบคะน้ำสายพันธุ์ทิวโชค	153
ง.88	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า a* ของสีใบคะน้ำสายพันธุ์ทิวโชค	154
ง.89	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่า b* ของสีใบคะน้ำสายพันธุ์ทิวโชค	155

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะใบของต้นสบู่ดำและลักษณะเมล็ดสบู่ดำ	4
2.2	ลักษณะของส่วนประกอบของสบู่ดำ	5
2.3	โครงสร้าง tigliane และ phorbol 12-myristate 13-acetate	8
2.4	โครงสร้างจำลองสามมิติของ trypsin inhibitor	9
2.5	โครงสร้างจำลองสามมิติของ lectin	9
2.6	โครงสร้างของ phytic acid ตำแหน่งการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ phytase และลำดับโครงสร้างสารที่ได้จากการย่อย phytic acid ด้วยเอนไซม์ phytase	10
2.7	โครงสร้างของ saponin	11
2.8	ลักษณะของ <i>Aspergillus niger</i> บนอาหาร Czapekdox agar และภายใต้ Scanning electron microscope	16
2.9	ลักษณะโคโลนีของ <i>Aspergillus oryzae</i> บนอาหาร Czapekdox agar และภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	17
2.10	ลักษณะโคโลนีของ <i>Rhizopus oligosporus</i> บนอาหารและภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	17
2.11	ลักษณะโคโลนีของ <i>Rhizopus oryzae</i> บนอาหาร Sabouraud's dextrose agar และภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	18
2.12	โครงสร้างของ gossypol	22
4.1	ปริมาณ glucosamine ของเชื้อราในวันที่ 7 ของการหมักบนกากเมล็ดสบู่ดำ ในสภาวะการหมักแบบอาหารเหลวและอาหารแข็ง	38
4.2	ค่า pH ของกากเมล็ดสบู่ดำก่อนและหลังการหมักด้วยเชื้อราเป็นเวลา 7 วัน ในสภาวะการหมักแบบอาหารเหลวและอาหารแข็ง	39
4.3	ปริมาณสาร phorbol ester ในกากเมล็ดสบู่ดำก่อนและหลังการหมักแบบอาหารเหลวและอาหารแข็งเป็นเวลา 7 วัน	40
4.4	ปริมาณ phytic acid ในกากเมล็ดสบู่ดำก่อนและหลังการหมักแบบอาหารเหลวและอาหารแข็งเป็นเวลา 7 วัน	42

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า	
4.5	ปริมาณ trypsin inhibitor ที่พบในกากเมล็ดสับดูดำก่อนและหลังหมักแบบ อาหารเหลวและอาหารแข็งเป็นเวลา 7 วัน	43
4.6	ปริมาณ lectin ที่พบในกากเมล็ดสับดูดำก่อนและหลังหมักแบบอาหารเหลวและ อาหารแข็งเป็นเวลา 7 วัน	44
4.7	ปริมาณ saponin ที่พบในกากเมล็ดสับดูดำก่อนและหลังหมักแบบอาหารเหลว และอาหารแข็งเป็นเวลา 7 วัน	45
4.8	ปริมาณเอนไซม์โปรติเอสที่พบในตัวอย่างน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำวันที่ 7	48
4.9	ปริมาณเอนไซม์ไฟเตสในตัวอย่างน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำวันที่ 7	49
4.10	กิจกรรมเอนไซม์เอสเทอเรส ที่พบในน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำ หลังการหมักด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์แบบอาหารเหลวในวันที่ 7	50
4.11	การเจริญเติบโตและค่า pH ระหว่างการหมักกากเมล็ดสับดูดำแบบอาหารเหลว ด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	52
4.12	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ phorbol ester, phytic acid, trypsin inhibitor, saponin และ lectin ในกากเมล็ดสับดูดำระหว่างการหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	53
4.13	กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสและกิจกรรมเอนไซม์ไฟเตสในตัวอย่างน้ำหมัก กากเมล็ดสับดูดำหลังการหมักด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	55
4.14	ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนในน้ำหมักระหว่างการหมักกากเมล็ดสับดูดำ ด้วย <i>R. oligosporus</i> เป็นเวลา 7 วัน	56
4.15	เปอร์เซ็นต์ความงอกของพริกยักษ์สายพันธุ์เคลิฟอร์เนียวันเดอร์ที่ระยะเวลา 14 วัน หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์ และชุด ควบคุม	60
4.16	เปอร์เซ็นต์การแทงรากของพริกยักษ์สายพันธุ์เคลิฟอร์เนียวันเดอร์ที่ระยะเวลา 14 วัน หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุด ควบคุม	61
4.17	อัตราการเจริญของต้นกล้าของพริกยักษ์สายพันธุ์เคลิฟอร์เนียวันเดอร์ ที่ ระยะเวลา 14 วัน หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับดูดำด้วยเชื้อรา 4 สาย พันธุ์และชุดควบคุม	62

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า	
4.18	ดัชนีการงอกของพริกขี้หนูสายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์ที่ระยะเวลา 14 วัน หลังทดสอบด้วยน้ำหมักกากเมล็ดสับุดำด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์และชุดควบคุม	63
4.19	ลักษณะการงอกของพริกขี้หนูสายพันธุ์แคลิฟอร์เนียวันเดอร์ที่ระยะเวลา 14 วัน หลังทดสอบ	64
4.20	การเจริญของต้นคะน้าในวันที่ 55 ของชุดควบคุมและชุดตัวอย่าง	67
4.21	ลักษณะของต้นคะน้าในวันที่ 55 ของชุดควบคุมและชุดตัวอย่าง	68
ง.1	กราฟมาตรฐานของกลูโคซามีน	92
ง.2	กราฟมาตรฐานของ Phorbol-12-Myristate-13-Acetate	95
ง.3	ลักษณะฟิคที่ปรากฏของกลุ่มสาร phorbol ester เมื่อ a) control และ b) กากเมล็ดสับุดำหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	100
ง.4	ลักษณะฟิคที่ปรากฏของกลุ่มสาร phorbol ester เมื่อ a) control และ b) กากเมล็ดสับุดำหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. niger</i> ในวันที่ 7	101
ง.5	ลักษณะฟิคที่ปรากฏของกลุ่มสาร phorbol ester เมื่อ a) control และ b) กากเมล็ดสับุดำหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	102
ง.6	ลักษณะฟิคที่ปรากฏของกลุ่มสาร phorbol ester เมื่อ a) control และ b) กากเมล็ดสับุดำหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>A. oryzae</i> ในวันที่ 7	103
ง.7	ลักษณะฟิคที่ปรากฏของกลุ่มสาร phorbol ester เมื่อ a) control และ b) กากเมล็ดสับุดำหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	104
ง.8	ลักษณะฟิคที่ปรากฏของกลุ่มสาร phorbol ester เมื่อ a) control และ b) กากเมล็ดสับุดำหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oryzae</i> ในวันที่ 7	105
ง.9	ลักษณะฟิคที่ปรากฏของกลุ่มสาร phorbol ester เมื่อ a) control และ b) กากเมล็ดสับุดำหมักแบบอาหารเหลวด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	106
ง.10	ลักษณะฟิคที่ปรากฏของกลุ่มสาร phorbol ester เมื่อ a) control และ b) กากเมล็ดสับุดำหมักแบบอาหารแข็งด้วย <i>R. oligosporus</i> ในวันที่ 7	107
ง.11	กราฟมาตรฐานของ Phytic acid	108
ง.12	กราฟมาตรฐานของ Diosgenin	118
ง.13	กราฟมาตรฐานของ Bovine serum albumin	121

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า	
ง.14	กราฟมาตรฐานของปริมาณกรดอะมิโนลิวซีนด้วยวิธี TNBS	123
ง.15	กราฟมาตรฐานของปริมาณกรดอะมิโนไทโรซีน	124
ง.16	กราฟมาตรฐานของปริมาณ K_2HPO_4	126
ง.17	กราฟมาตรฐานของปริมาณ <i>p</i> -nitrophenol	127

ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

°C	=	Degree Celsius
g	=	Gram
g/kg	=	Gram/kilogram
mg/ml	=	Milligram/milliliter
mg/g	=	Milligram/gram
min	=	Minute
hr	=	Hour
mg	=	Milligram
M	=	Molar
nm	=	Nanometer
μg/ml	=	Microgram/milliliter
TIU	=	Trypsin inhibitor unit
HU	=	Hemagglutinating unit
GI	=	Germination index
SGR	=	Seedling growth rate
%RE	=	Radicle emergence percentage
%G	=	Germination percentage