

การพัฒนากลไกการคัดแยกถั่วลิสงเพื่อลดปริมาณอะฟลาทอกซินในงาเมล็ด
ความหนาแน่นของเมล็ด

DEVELOPMENT OF PEANUT SEPARATION DEVICE FOR
AFLOATOXIN REDUCTION BY DENSITY OF KERNEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-AI-M 03-106

การพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกถั่วลิสงเพื่อลดปริมาณอะฟลาทอกซินด้วยสมบัติ

ความหนาแน่นของเมล็ด

DEVELOPMENT OF PEANUT SEPARATION DEVICE FOR
AFLATOXIN REDUCTION BY DENSITY OF KERNEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

KMITL-2014-AI-M-053-196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF PEANUT SEPARATION DEVICE FOR
AFLATOXIN REDUCTION BY DENSITY OF KERNEL**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
AGRO-INDUSTRY**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **KMITL-2014-AI-M-053-196** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกถั่วลิสงเพื่อลดปริมาณอะฟลาทอกซินด้วยสมบัติความหนาแน่นของเมล็ด
นักศึกษา	นาย พิสิษฐ์ศักดิ์ วิเศษสกุล
รหัสประจำตัว	52680322
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณอะฟลาทอกซิน ในเมล็ดถั่วลิสงดิบกะเทาะเปลือกขนาดกลาง โดยคัดแยกด้วยคุณสมบัติการลอยตัวในสารละลายเกลือซึ่งมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจาก 0 ถึง 12% (w/v) มีความหนาแน่น 1.000 ถึง 1.075 g/cm³ สามารถจำแนกถั่วลิสงตามสมบัติความหนาแน่นและความเสี่ยงต่ออะฟลาทอกซินได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 มีอะฟลาทอกซินสูงเกินกฎหมายกำหนด (>20 พีพีบี) ความหนาแน่น <1.000 g/cm³ กลุ่มที่ 2 มีอะฟลาทอกซินปนเปื้อนในระดับเสี่ยง (10-20 พีพีบี) ความหนาแน่นระหว่าง 1.000 ≤ ρ < 1.025 g/cm³ และกลุ่มที่ 3 คุณภาพดี อะฟลาทอกซินอยู่ในระดับปลอดภัย ความหนาแน่น ≥ 1.025 g/cm³ มี (<10 พีพีบี)

เมื่อนำผลการทดลองนี้มาประยุกต์ใช้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่น พบว่าเครื่องสามารถแยกเมล็ดถั่วลิสงทั้ง 3 กลุ่ม ได้อย่างถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 84.02

Thesis Title	DEVELOPMENT OF PEANUT SEPARATION DEVICE FOR FLATOXIN REDUCTION BY DENSITY OF KERNEL
Student	Mr. Phisitsak Wisatsukon
Student ID	52680322
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2014
Thesis Advisor	Dr. Kittichai Banjong

Abstract

It was found in this study that peanut kernel can be sorted into 3 groups according to the aflatoxin levels by using buoyancy property of the kernel in salt solution . The concentration of salt solution was ranging between 0 to 12% (w/v) which yielded the solution density from 1.000 to 1.075 g/cm³ . The first group of kernel was an unacceptably high aflatoxin level (>20 ppb) which kernel density was less than 1.000 g/cm³ . The second group was risk level of aflatoxin (10-20 ppb) which kernel density was between $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ and the last group was safe aflatoxin level (<10 ppb) which kernel density was higher than 1.025 g/cm³ .

Furthermore, the result was used as a basis for the designing of peanut kernel sorting device . When the device was used to sort 3 groups of peanut kernel, it was successfully sorted out the sample with 84.02%

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กิตติชัย บรรจง ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจน ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ด้วยความเอาใจใส่ และกรุณาอย่างสม่ำเสมอตลอดมา

ขอขอบพระคุณสำนักบริหาร โครงการวิจัยในอุดมศึกษา และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย และขอขอบคุณกรมส่งเสริมการเกษตร โดยเฉพาะ ดร.อมรา ชินภูติ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องที่ได้อำนวยความสะดวก และช่วยเหลือในการทำวิจัย

ตลอดระยะเวลาในการทำงาน ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความรัก ความเมตตา ความห่วงใย และเป็นกำลังใจให้กับผู้จัดทำโครงการจนสำเร็จ และขอขอบพระคุณ พี่ๆ น้องๆ รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอย่างสูงยิ่ง ความดีของโครงการครั้งนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาบิดา มารดา และบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้า กระทั่งสามารถทำโครงการเล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

พิศิษฐ์ศักดิ์ วิเศษสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ถั่วลิสง.....	3
2.2 สารพิษอะฟลาทอกซิน.....	9
2.3 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางวิศวกรรม และการคัดแยกผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร.....	19
2.4 รายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	25
3.1 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์.....	25
3.3 สารเคมี.....	26
3.4 สถานที่ดำเนินการทดลอง.....	26
3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	32
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ด.....	32
4.2 การออกแบบและพัฒนาวิธีการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยคุณสมบัติความหนาแน่น.....	39
4.3 การคัดแยกถั่วลิสงตามสมบัติความหนาแน่นด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสง.....	50
5.2 การออกแบบและพัฒนาวิธีการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยคุณสมบัติความหนาแน่น.....	51
5.3 การคัดแยกถั่วลิสงตามสมบัติความหนาแน่นด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น.....	51
ข้อเสนอแนะ.....	52
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	58
ก. การพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นเบื้องต้น.....	59
ข. การเตรียมสารละลายเกลือความหนาแน่นต่างๆ.....	61
ค. วิธีเคลือบแลคเกอร์และแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่น.....	62
ง. การตรวจอะฟลาทอกซินด้วยวิธี DOA-ELISA Test Kit.....	63
ประวัติผู้เขียน.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดและจำนวนเชื้อราที่พบในถั่วลิสงในเวลาต่างๆกัน ตั้งแต่เมื่อเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษา.....	7
ตารางที่ 2.2 ปริมาณเชื้อราที่ตรวจจากเมล็ดถั่วที่กะเทาะเปลือกในลักษณะต่าง ๆ.....	8
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอะฟลาทอกซิน.....	12
ตารางที่ 2.4 ปริมาณอะฟลาทอกซินที่รับเข้าไปทางอาหาร และอัตราการเกิดมะเร็งในตับของคนไทย.....	15
ตารางที่ 2.5 ประสิทธิภาพการจัดการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซิน ในถั่วลิสงหลังการเก็บเกี่ยวที่ระดับขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการผลิต.....	16
ตารางที่ 2.6 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในอาหาร เมื่อใช้กรรมวิธีการปรุงอาหารต่างๆ กัน.....	1
ตารางที่ 2.7 การทำลายสารพิษอะฟลาทอกซินโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลตและแสงแดด.....	18
ตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนโดยน้ำหนักของถั่วที่แยกได้ในแต่ละกลุ่มคิดเป็นร้อยละ.....	34
ตารางที่ 4.2 ปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงแยกตามความหนาแน่น.....	38
ตารางที่ 4.3 ผลการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดตามความหนาแน่น.....	45
ตารางที่ 4.4 สัดส่วนโดยน้ำหนักของถั่วแยกตามกลุ่มความหนาแน่นคิดเป็นร้อยละ จากการคัดแยกด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น.....	49
ตารางที่ 4.5 ปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงหลังการคัดแยกด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น.....	49
ตารางที่ ก.1 ผลทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยน้ำรูปแบบต่างๆ.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ภาพที่	หน้าที่
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วลิสง.....	4
2.2 สูตรโมเลกุลของอะฟลาทอกซิน.....	11
2.3 แสดงเบดขณะเกิดฟลูอิดไดเซชัน.....	22
3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน.....	27
3.2 พังการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น กับปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสง.....	29
3.3 พังการทดลองคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยอุปกรณ์คัดแยกตามความหนาแน่น.....	31
4.1 กราฟแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของเมล็ดถั่วลิสงแยกตามความหนาแน่น.....	33
4.2 แสดงลักษณะภายนอกและภายในของเมล็ดถั่วลิสง ที่มีลักษณะการจมน้ำแบบต่างๆ.....	35
4.3 อุปกรณ์และส่วนประกอบของอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยน้ำ (ด้านหน้า).....	40
4.4 อุปกรณ์และส่วนประกอบของอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยน้ำ (ด้านหลัง).....	41
4.5 ภาพไตอะแกรมแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสง.....	41
4.6 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องคัดแยกที่ 1 และ 2.....	42
4.7 การเคลื่อนที่ของเมล็ดถั่วลิสงระหว่างคัดแยก.....	44
4.8 ลักษณะของฟองอากาศจับกับเมล็ดถั่วลิสง.....	44
ข1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะของน้ำ 100 มิลลิลิตร เมื่อผสมกับเกลือแอมโมเนียม.....	61
ค1 เมล็ดถั่วลิสงหลังการเคลือบแลกเกอร์.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วลิสงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคเหนือและภาคอีสานของประเทศไทย จัดเป็นธัญพืชที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น โปรตีนสูงประมาณ 30% ซึ่งสูงกว่าข้าวประมาณ 3 เท่า มีคุณภาพเทียบเท่าเนื้อสัตว์ และยังเป็นโปรตีนที่ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้ถึง 90% นอกจากนี้ ยังประกอบไปด้วยกรดอะมิโนและแร่ธาตุอื่นๆ อีกกว่า 20 ชนิด ถั่วลิสงสามารถนำบริโภคได้หลายรูปแบบ ทั้งสำหรับเป็นอาหารมนุษย์หรือสัตว์ มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 201,122 ไร่ ส่วนใหญ่ปลูกทางภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ผลผลิตรวมประมาณ 53,675 ตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550) แต่เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งเอื้อต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะ *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus parasiticus* ซึ่งเป็นเชื้อราที่สร้างสารพิษอะฟลาทอกซินที่เป็นสารพิษรุนแรงก่อให้เกิดอันตรายต่อคนและสัตว์ ทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ทางกระทรวงสาธารณสุขจึงได้กำหนดให้มีปริมาณอะฟลาทอกซินปนเปื้อนในอาหารได้ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2529) ในปัจจุบัน คณะกรรมการโครงการอาหารและเกษตรของสหประชาชาติ (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) หรือที่เรียกกันว่าคณะกรรมการโครงการมาตรฐานอาหาร โคลเด็กซ์ (CODEX) ได้กำหนดให้อะฟลาทอกซินเป็นสารปนเปื้อนในอาหาร (CODEX STAN 193-1995) และได้กำหนดให้มีปริมาณอะฟลาทอกซินรวม ปนเปื้อนสูงสุดในถั่วลิสงไม่เกิน 15 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

ด้วยเหตุนี้ การลดอะฟลาทอกซินในเมล็ดธัญพืชก่อนนำไปแปรรูปจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง และได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางโดย Hulf (1980) ได้พยายามทดลองลดอะฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวโพด โดยวิธีการลอยน้ำ พบว่าเมล็ดที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจะมีอัตราการลอยน้ำ 60% และเมื่อคัดแยกโดยสารละลาย Sucrose 40% สามารถลดอะฟลาทอกซินได้ 90% แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้สูญเสียเมล็ดข้าวโพด 53% ในปี 2551 วณิชดา ยุธญาดี ได้ทำการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงโดยวิธีการลอยน้ำ พบว่าเมล็ดที่เสียจะลอยส่วนเมล็ดที่จมน้ำไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน และเมื่อนำเมล็ดทั้งสองกลุ่มไปแปรรูปเป็นถั่วลิสงป่นและคั่วแล้วเก็บไว้เป็นเวลา 28 วันพบว่าผลิตภัณฑ์จากเมล็ดที่ลอยมีปริมาณอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้น 18 เท่า ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากเมล็ดที่จมน้ำมีปริมาณอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า จากปริมาณอะฟลาทอกซินก่อนการแปรรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ศึกษา วิธีการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงดิบที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินออกจากเมล็ด ที่มีคุณภาพดี โดยอาศัยคุณสมบัติความหนาแน่น (bulk density) เป็นดัชนี และนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนา เป็นวิธีการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสง เพื่อยังประโยชน์ผู้ผลิตในระดับกลางและระดับครัวเรือนสามารถ นำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตและแปรรูปถั่วลิสงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติความหนาแน่นกับปริมาณสารอะฟลาทอกซิน ในถั่วลิสง

1.2.2 เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบคัดแยกถั่วลิสงโดยอาศัยคุณสมบัติความหนาแน่น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความหนาแน่น รวมทั้งลักษณะการลอยของถั่วลิสงในน้ำ กับระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสง และนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาวิธีการคัด แยกเมล็ดถั่วลิสงออกตามความหนาแน่น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติความหนาแน่นของเมล็ดถั่วลิสง กับระดับการปนเปื้อน สารอะฟลาทอกซิน สามารถพัฒนาวิธีการและอุปกรณ์ในการคัดเลือกถั่วลิสงด้วยวิธีที่ง่าย และมี ประสิทธิภาพ ราคาถูก สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงในภาคครัวเรือน และ อุตสาหกรรมขนาดเล็ก

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วลิสง (อานนท์ และคณะ, 2532)

ความหมาย ถั่วลิสงเป็นพืชตระกูลฟาบาซี (Fabaceae) หรือเลกิวมิโนเซ (Leguminosae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อะราคิสไฮโปเจีย (Arachis hypogaea L.) มีชื่อภาษาอังกฤษว่า กราวนด์นัต (Groundnut) หรือ พีนัต (Peanut) และมีชื่อในภาษาไทย เช่น ถั่วดิน ถั่วยี่สง ถั่วใต้ดิน หรือ ถั่วคุด ถั่วลิสงเป็นพืชล้มลุกพวกไม้เนื้ออ่อน มีแหล่งกำเนิดในบริเวณประเทศโบลิเวีย แต่สามารถเจริญได้ดีในดินเกือบทุกชนิด ต้องการความชื้นปานกลาง ชอบแสงแดดจัด จึงสามารถปลูกโดยทั่วไปในเขตร้อน ประเทศผู้ผลิตที่สำคัญได้แก่ จีน อินเดีย พม่า และไนจีเรีย สำหรับในประเทศไทยถั่วลิสงจัดเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่มีพื้นที่ปลูกในภาคเหนือ และ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วลิสง

ราก ถั่วลิสงมีระบบรากแก้ว มีรากแขนงแตกออกจากรากแก้วเป็นบริเวณกว้าง รากแก้วและรากแขนงจะมีปม ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียพวกไรโซเบียมเข้าไปอาศัยอยู่เพื่อตรึงไนโตรเจนจากอากาศ

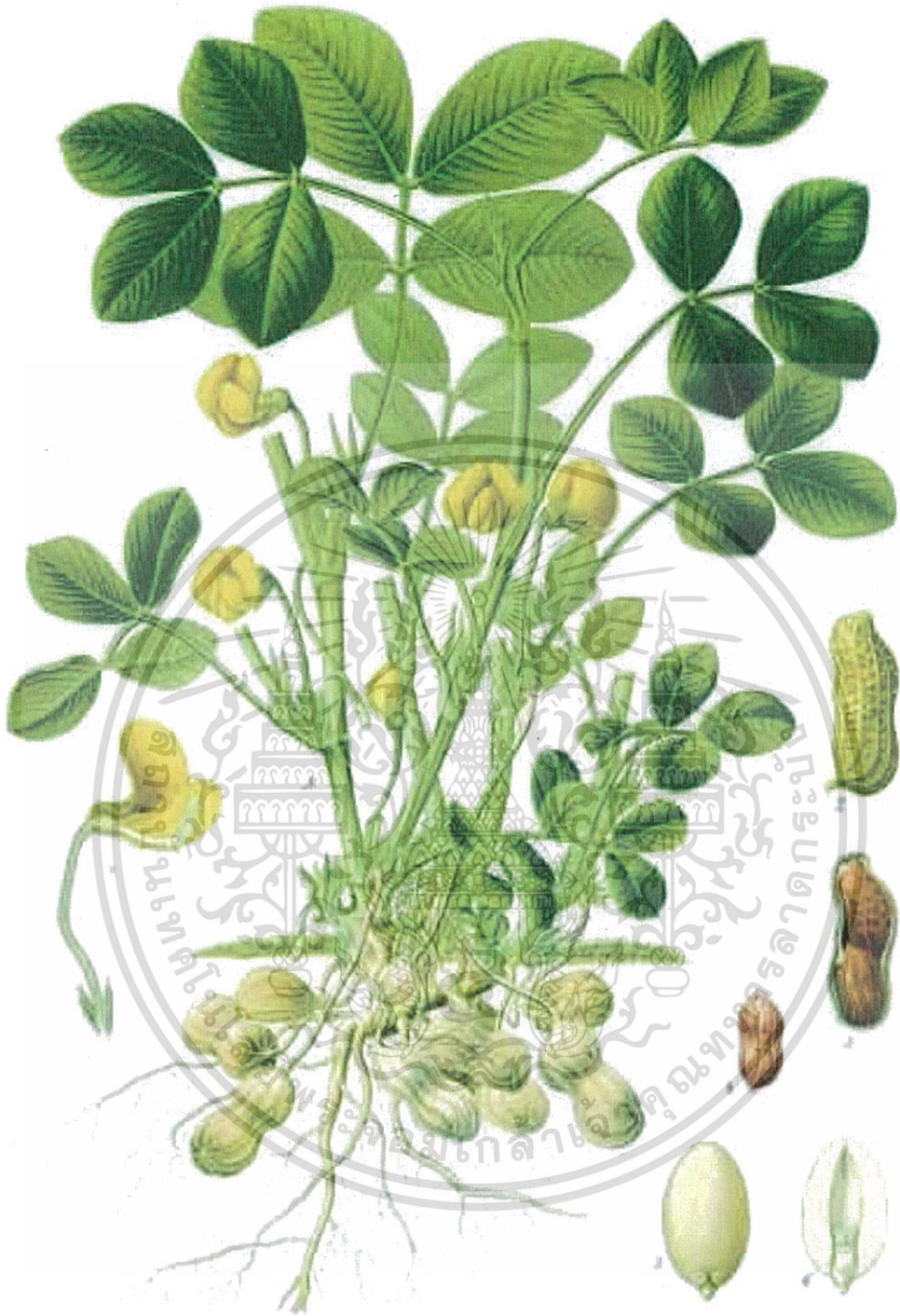
ลำต้น ถั่วลิสงเป็นพืชล้มลุกพวกไม้เนื้ออ่อน ลำต้นมีความสูงประมาณ 15-70 เซนติเมตร มีลักษณะกลม ส่วนใหญ่มีสีเขียว บางพันธุ์มีสีม่วง

ใบ ใบของถั่วลิสงจะเกิดสลับกันบนข้อของลำต้น ใบมีสีเขียวจัด ขอบใบเรียบ ปลายใบมนหรือค่อนข้างแหลม ก้านใบมีสีเขียวหรือมีสีม่วงในบางพันธุ์

ดอก ดอกมีสีเหลือง อาจเกิดเดี่ยว ๆ หรือเกิดเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2-5 ดอก เกิดตามบริเวณมุมใบตรงส่วนโคนของลำต้น

ฝัก ถั่วลิสงเกิดมาจากการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ ภายหลังจากที่เอ็มบริโอเจริญอยู่ใต้ผิวดิน ก็จะเริ่มเปลี่ยนสีและมีขนอ่อน ๆ เกิดขึ้นรอบ ๆ เพื่อทำหน้าที่ดูดอาหารนำไปสร้างเมล็ด

เมล็ด เมล็ดมีรูปร่างทรงกระบอก ขนาดค่อนข้างใหญ่ มีเยื่อหุ้มผิวหลายสี ตั้งแต่สีชมพูซีด แดง ม่วง ม่วงแดง ม่วงเข้ม และน้ำตาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ถัดจากเยื่อหุ้มผิวจะมีใบเลี้ยงที่มีลักษณะหนา 2 อันประกบติดกัน ซึ่งเป็นที่สะสมอาหารพวกไขมัน โปรตีน ฯลฯ (ภูวนาท, 2531)



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วลิสง

ที่มา : Franz Eugen Köhler, Köhler's Medizinal-Pflanzen. Gera-Untermhaus, 1897

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 พันธุ์ถั่วลิสงของไทย (ทักษิณา, 2540)

สายพันธุ์ของถั่วลิสงสามารถแบ่งได้ตามเกณฑ์การนำไปใช้ โดยแบ่งได้เป็น

2.1.2.1 พันธุ์ถั่วลิสงสำหรับกะเทาะเมล็ด

2.1.2.1.1 พันธุ์ไทนาน 9 ลักษณะต้นเป็นพุ่มทรงตั้ง อายุถึงวันออกดอก 27-30 วัน ฝักส่วนใหญ่มี 2 เมล็ด ลายบนฝักค่อนข้างเรียบ เยื่อหุ้มเมล็ดสีชมพู น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดหนักประมาณ 42 กรัม ผลผลิตที่ได้จากการกะเทาะ 71% ผลผลิตประมาณไร่ละ 236 กิโลกรัม

2.1.2.1.1 พันธุ์ขอนแก่น 60-1 ลักษณะเป็นพุ่มตั้ง อายุถึงวันออกดอก 27-30 วัน ฝักส่วนใหญ่มี 2 เมล็ด ลายบนฝักเห็นชัดเจน เยื่อหุ้มเมล็ดสีชมพู ขนาดเมล็ดโตกว่าพันธุ์ไทนาน 9 น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดประมาณ 47 กรัม ผลผลิตประมาณไร่ละ 250 กิโลกรัม

2.1.2.2 พันธุ์ถั่วลิสงสำหรับฝักต้ม

2.1.2.2.1 พันธุ์ขอนแก่น 60-2 ลักษณะต้นเป็นพุ่มตั้ง สีของต้นและใบค่อนข้างซีดกว่าพันธุ์ไทนาน 9 และขอนแก่น 60-1 อายุถึงวันออกดอก 27-30 วัน ขนาดของฝักยาวและโต ฝักค่อนข้างตรง ส่วนใหญ่มี 3 เมล็ดต่อฝัก ลายบนฝักชัดเจน เยื่อหุ้มเมล็ดสีชมพู น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 41 กรัม อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 90-100 วัน ผลผลิตไร่ละ 266 กิโลกรัม

2.1.2.2.2 พันธุ์ขอนแก่น 60-3 หรือพันธุ์เมล็ดโต เป็นถั่วที่มีขนาดฝักและเมล็ดโต ทรงต้นค่อนข้างแผ่กว่าพันธุ์อื่น ใบค่อนข้างเล็กและเขียวเข้มกว่าพันธุ์อื่นๆ อายุถึงวันออกดอกประมาณ 35 วัน มี 2 เมล็ดต่อฝัก ลายบนฝักค่อนข้างเรียบ เมล็ดมีขนาดโต น้ำหนัก 100 กรัมจะมีเมล็ดประมาณ 76 กรัม เยื่อหุ้มเมล็ดสีชมพู อายุถึงวันเก็บเกี่ยว 110-120 วัน ผลผลิตประมาณ 378 กิโลกรัม ต่อไร่

2.1.2.2.3 กภาพสินธุ์ 1 เส้นลายบนฝักค่อนข้างเรียบ มี 2-4 เมล็ดต่อฝัก เยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 460 กิโลกรัมต่อไร่ เหมาะสำหรับปลูกในภาคกลางที่เป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย

2.1.2.2.4 สข.38 เส้นลายบนฝัก และงอเห็นชัดเจน มี 2-4 เมล็ดต่อฝัก เยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงอายุเก็บเกี่ยว 85-90 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 490 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกได้ทุกภาคของประเทศ ที่เป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย

2.1.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเพาะปลูก (ทักษิณา, 2540)

ถั่วลิสง สามารถปลูกได้ดีในดินทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ ก็คือ ดินร่วนหรือ ดินร่วนทรายมีปูนสูงและมีอินทรีย์วัตถุมากพอ ต้องการฝน หรือความชุ่มชื้นในดินพอสมควร และต้องการแดดจัด

2.1.4 การเก็บเกี่ยว (ทักษิณา, 2540)

ตามปกติถั่วลิสงสามารถเจริญเติบโตไปเรื่อยๆ ผลผลิตรวมของฝักของถั่วลิสงก็จะเพิ่มตราบเท่าที่ยังมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ แต่ผลผลิตเก็บเกี่ยวจะไม่เพิ่มไปตามผลผลิตรวม (รวมฝักที่สุกแล้วในดินและบนดิน) เนื่องจากเกิดความสูญเสียจากการทำลายของโรคและแมลง และไม่อาจรู้ได้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ดังนั้นการที่จะกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการขุดถั่วลิสง จึงมีความสำคัญมากต่อผลผลิต วิธีการที่ใช้ในทางปฏิบัติเพื่อกำหนดอายุเก็บเกี่ยวอาจทำได้โดย

2.1.4.1 การนับอายุ วิธีการนี้จะทำภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยทั่วไป ถั่วลิสงที่ปลูกในประเทศไทยจะมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100-120 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ฤดูปลูกและสถานที่ปลูก การปลูกในฤดูแล้งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำทำให้อายุเก็บเกี่ยวยาวนานขึ้น

2.1.4.2 การสังเกตของฝักด้านใน สีฝักด้านในของพันธุ์ถั่วลิสงส่วนใหญ่จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลอ่อน เปลือกหุ้มเมล็ดก็จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีชมพู แสดงว่าแก่พอดี และหากมีเปอร์เซ็นต์ฝักที่เปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอ่อน 60-80 % แสดงว่าถึงอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เพราะถ้าปล่อยให้ฝักเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจัดแสดงว่าแก่เกินไปนอกจากนี้เส้นลายของฝักภายนอกเมื่อแก่จัดจะมีรอยลึกมากขึ้น

2.1.5 การเก็บรักษา (จินตนา และคณะ, 2534)

ภายหลังจากการปลิดถั่วลิสงเกษตรกรจะตากถั่วประมาณ 3-4 แดด การตากแห้งที่ไม่มีประสิทธิภาพจะทำให้ความชื้นไม่ลด โดยเฉพาะการปลูกในหน้าฝน อันเป็นโอกาสให้เกิดเชื้อราชื่อ *Aspergillus flavus* เจริญเติบโตได้ หลังจากตากจะเก็บรักษาเมล็ดไว้ในกระสอบ หรือยุ้งฉาง หรือกองไว้บนบ้าน ใต้ถุนบ้าน ซึ่งหากเมล็ดถั่วลิสงไม่แห้งสนิทเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน ๆ อาจทำให้เมล็ดเสื่อมคุณภาพเร็ว และเกิดเชื้อราสร้างสารพิษได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ชนิดและจำนวนเชื้อราที่พบในถั่วลิสงในเวลาต่าง มีความแตกต่างกันตั้งแต่เมื่อเก็บเกี่ยวถึงระหว่างเก็บรักษา ดังนั้นหลังการปลิดฝักแล้ว ควรตากเพื่อลดความชื้นให้เร็วที่สุดและมากที่สุด (การตากแดด 5-7 แดด อาจลดความชื้นลงมาได้ 4-5 %) โดยปกติแล้วความชื้นในเมล็ดที่เหมาะสมแก่การเก็บรักษาควรต่ำกว่า 7% และ เก็บรักษาควรจะใช้ภาชนะที่ต้องควบคุมอากาศและความชื้นได้ สำหรับเมล็ดถั่วลิสงที่จะนำไปทำเมล็ดพันธุ์จะยังคงรักษาระดับความงอกไว้ได้นานสูงถึง 8 เดือน จากการทดลองเก็บรักษาในสภาพของเกษตรกร พบว่า ถั่วลิสงที่ตากแห้งความชื้น 6-6.5 % เก็บไว้ในถุงพลาสติก 2 ชั้น จะให้ผลดีที่สุด โดยที่เปอร์เซ็นต์การงอกยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ (พวงทอง และลำดวน , 2527) แต่ถ้าเป็นเมล็ดถั่วลิสงดิบ และ ผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงนิยมใช้ถุงอลูมิเนียมฟอยด์เคลือบพลาสติก

ตารางที่ 2.1 ชนิดและจำนวนเชื้อราที่พบในถั่วลิสงในเวลาต่าง ๆ กัน ตั้งแต่เมื่อเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษา

ชนิดเชื้อรา	เชื้อรา (%)			
	เมื่อเก็บเกี่ยว	1เดือน	2เดือน	3เดือน
<i>Aspergillus flavus</i>	0.3	17.3	25.0	27.0
<i>A.niger</i>	1.7	21.2	22.5	37.0
<i>A.glaucus</i>	-	-	4.3	5.2
<i>Rhizopus sp.</i>	-	17.1	20.3	26.5
<i>Fusarium sp.</i>	0.3	8.6	5.9	6.5
<i>Penicillium sp.</i>	-	0.7	3.5	8.5

ที่มา : อรุณศรี และคณะ (2537)

2.1.6 การคัดคุณภาพของเมล็ดถั่วลิสง

การจำแนกคุณภาพเมล็ดมีความสำคัญอย่างมาก เพราะคุณภาพของเมล็ดถั่วลิสงที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกมักไม่สม่ำเสมอ จึงต้องอาศัยวิธีการคัดแยกเมล็ดที่เสียออกก่อนจึงคัดขนาดพิเศษ และขนาดปกติออกจากกัน โดยใช้ตะแกรงร่อนเพื่อคัดขนาด และคัดเอาเมล็ดลีบเน่าเสียออกด้วยมือ เมล็ดเสียหายหมายถึง เมล็ดถั่วลิสงที่มีเชื้อรา เมล็ดถั่วลิสงที่มีร่องรอยถูกทำลายจากศัตรูพืช เมล็ดถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติไปจากธรรมชาติ และเมล็ดถั่วลิสงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอะฟลาทอกซิน อรุณศรี (2537) ได้ศึกษาถึงปริมาณเชื้อราที่ตรวจจากเมล็ดถั่วที่กะเทาะเปลือกในลักษณะต่างๆ คือเมล็ดเต็ม เมล็ดซีก และเมล็ดเน่า (ตารางที่ 2.2) พบว่าในเมล็ดเต็มจะมีเชื้อราน้อยกว่าในเมล็ดซีกและเมล็ดเน่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าพ่อค้ามักนำส่วนของเมล็ดที่คุณภาพต่ำแทนที่จะทำลายทิ้ง กลับนำส่วนหนึ่งไปขายให้กับชาวบ้านในราคาถูกเพื่อนำไปทำถั่วป่น และอีกส่วนหนึ่งนำไปขายให้กับโรงงานน้ำมันเอาไปบีบน้ำมัน ถ้าโรงงานน้ำมันสามารถทำการผลิตถึงขั้น refine ได้ก็จะสามารถทำลายสารอะฟลาทอกซินได้ มิฉะนั้นน้ำมันถั่วลิสงดิบบางส่วนจะถูกนำมาใช้ทาเส้นก๋วยเตี๋ยวในกระบวนการผลิตก็จะเป็นการถ่ายทอดสารพิษอะฟลาทอกซินเข้าสู่ระบบการบริโภคได้อีกทางหนึ่ง

ตารางที่ 2.2 ปริมาณเชื้อราที่ตรวจจากเมล็ดถั่วที่กะเพาะเปลือกในลักษณะต่าง ๆ

ชนิดเชื้อรา	เชื้อรา (%)		
	เมล็ดเต็ม	เมล็ดซีก	เมล็ดเน่า
<i>A.spergillus flavus</i>	21.5	54.5	87.5
<i>A.niger</i>	34.5	80.5	91.5
<i>A.glaucus</i>	3.5	23.0	36.5
<i>Rhizopus sp.</i>	21.0	57.0	80.5
<i>Penicilium sp.</i>	5.0	10.3	21.5

ที่มา : อรุณศรี และคณะ (2537)

2.1.7 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด

ถั่วลิสง เป็นพืชที่มี คุณค่าทางอาหารสูงให้ พลังงาน 530 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม มีโปรตีนร้อยละ 26-29 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 19.5 ไขมัน ร้อยละ 47-50 ในถั่วลิสง 100 กรัม จะมีแคลเซียม 68.2 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 397.1 มิลลิกรัม เหล็ก 4.1 มิลลิกรัม วิตามินบี1 0.59 มิลลิกรัม วิตามินบี2 0.15 มิลลิกรัม วิตามินซี 2.5 มิลลิกรัม (อมร, 2521) และมีกรดอะมิโนที่จะเป็นต่อร่างกายอย่างครบถ้วน มีปริมาณน้ำมันประมาณ 46-54 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ด นับว่าสูงมากเมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วย กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) สูงกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) ชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย คือกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งประกอบด้วย Oleic และ linoleic ในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ (Woodroof, 1983)

2.1.8 ถั่วลิสงสำหรับการบริโภคในประเทศไทย (จินตนา, 2526)

การแปรรูปขึ้นอยู่กับขนาดและราคาของเมล็ดถั่วลิสงที่นำมาแปรรูป ถั่วลิสงคัดขนาดใหญ่พิเศษมีราคาสูงนิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงคั่วบด หรืออบจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เมื่อดูจากขนาดเมล็ดถั่วลิสงขนาดกลางนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ถั่วลิสงเคลือบ กะทิ เคลือบกาแฟ เคลือบน้ำตาล และพวกถั่วลิสงทอดแผ่นแป้งต่าง ๆ ส่วนถั่วลิสงขนาดเล็กมักนิยมนำไปทำถั่วลิสงป่น

ประเภทของผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.1.8.1 ถั่วลิสงทั้งเปลือกสดและแห้ง

2.1.8.1.1 ถั่วลิสงคั่ว ทำมาจากถั่วลิสงทั้งเปลือกสดจากไร่ ไม่มีการตากแห้งมาก่อนเพื่อให้คงความหวานตามธรรมชาติ ถั่วลิสงคั่วทั้งเปลือกอบแห้งทำมาจากถั่วลิสงทั้งเปลือก ที่ผ่านการตากแดดก่อนนำมาคั่วจะมีการล้างน้ำ และแช่น้ำเกลือเมื่อคั่วแล้วจะนำถั่วลิสงทั้งเปลือกมาอบด้วยความร้อน 50-60 องศาเซลเซียส นาน 3-4 วัน

2.1.8.2 ถั่วลิสงกะเทาะเปลือก

2.1.8.2.1 ถั่วลิสงคั่วและทอด ผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงคั่วมันเป็นการผลิตระดับครัวเรือน ทำการคั่วในกระทะที่ไม่มีน้ำมันใช้ได้ทั้งเตาแก๊สและเตาถ่าน หลังจากสุกแล้วจึงนำเมล็ดออกเยื่อหุ้มเมล็ดออก ส่วนถั่วลิสงทอด การผลิตในปัจจุบันส่วนใหญ่ มักจะเป็นการผลิตระดับโรงงานระดับใหญ่ ถึงระดับกลาง จึงมีการคัดคุณภาพตั้งแต่วัตถุดิบ กระบวนการทอด จนถึงกระบวนการบรรจุ และการเก็บรักษา

2.1.8.2.2 ถั่วตัด ถั่วกระจก ถั่วต้บตีบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมถั่วคั่ว งาคั่ว กับ น้ำตาล และ แป้งแซ มีปริมาณของถั่วลิสงเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 50 ปัจจุบันการผลิตส่วนใหญ่เป็นในลักษณะครัวเรือน หรือโรงงานระดับล่างหรือระดับกลาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคั่ว และบดให้ละเอียดมีเนื้อเนียน เหมือนเนยเมื่จะผลิตจากโรงงานขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ซึ่งมีการคัดคุณภาพตั้งแต่วัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึงกระบวนการบรรจุ และการเก็บรักษา แต่ก็ยังมีโอกาสตรวจพบการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินได้

2.1.8.3 ผลิตภัณฑ์จากแป้งถั่วลิสง ได้จากกากถั่วลิสงที่บีบน้ำมันออกแล้ว นำไปคั่ว ตาก หรืออบ ตามการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ แล้วนำไปบดเป็นผงละเอียด

2.1.8.3.1 อาหารเสริมเด็กอ่อน ใช้ถั่วลิสง 28 % ผสม ข้าว งา พักทอง และ น้ำตาล นำไปทำให้แห้งจะมีคุณค่าทางอาหารสูง ราคาถูก สะดวกต่อการใช้เพียงแค่นำมาเติมน้ำ

2.1.8.3.2 โพรตีนเกษตร ใช้แป้งถั่วลิสงมาผสมน้ำแล้วขึ้นรูป และนำไปตากแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง

2.2 สารพิษอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin)

2.2.1 ประวัติของอะฟลาทอกซิน

อะฟลาทอกซินเป็นสารในกลุ่มของสารเคมีพวกไดฟีราโนคมาริน (Difulano coumarin) พบครั้งแรกกับเชื้อรา *Aspergillus flavus* ดังนั้นชื่อว่า Aflatoxin จึงได้มาจากการรวมคำ 3 คำเข้าด้วยกัน คือ *Aspergillus*, *flavus* และ *toxin* จัดเป็นสารเคมีอินทรีย์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล หรือ การเมตาบอลิซึม (metabolism) ชนิดทุติยภูมิของเชื้อรา มีคุณสมบัติทางชีวภาพเป็นพิษต่อคน สัตว์ และ พืช ซึ่งมีการบันทึกอย่างเป็นทางการครั้งแรกโดย Blount (1961) ซึ่งได้ทำการสรุปรายงานการเกิดโรคระบาดชนิดหนึ่งในไถ่่งวง ในประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1960 โดยที่ไม่สามารถหาสาเหตุของโรคระบาดดังกล่าวได้ ว่าเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดใด จึงเรียกว่า Turkey X disease ต่อมาไม่นาน Sargeant และคณะ (1961) สามารถแยกสารพิษออกจากกากถั่วลิสงจากประเทศบราซิล ซึ่งพบว่าถูกสร้างโดยเชื้อรา *Aspergillus flavus* อะฟลาทอกซินพบได้ทั่วไปในเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อการวิจัยเท่านั้น และอยู่ใต้เงื่อนไขของข้อกำหนดการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธัญพืช และพืชน้ำมันชนิดต่างๆ เช่นข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี ข้าว ข้าวบาร์เลย์ ถั่วลิสง พริก มะพร้าว เครื่องเทศ สมุนไพร กาแฟ และ น้ำมันพืช นอกจากนั้นยังมักพบในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น กุ้งแห้ง นม เนย ไข่ ขนมที่ทำจากถั่วลิสงชนิดต่างๆ เบียร์ และอาหารแปรรูปทุกชนิดที่ใช้วัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ที่มีเชื้อราชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่ก่อนการแปรรูป โดยเฉพาะในถั่วลิสงปน

2.2.2 การจำแนกสารพิษอะฟลาทอกซิน (อนงค์, 2546)

สารพิษจากเชื้อราอะฟลาทอกซินสามารถ จัดแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

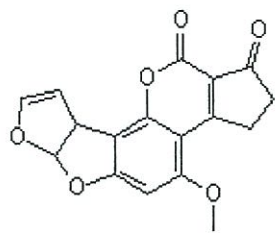
2.2.2.1 จำแนกตามสายพันธุ์ของเชื้อ เชื้อราแต่ละชนิดสามารถผลิตอะฟลาทอกซินได้แตกต่าง *Aspergillus flavus* และ *A. parasiticus* สามารถผลิตอะฟลาทอกซิน B1, B2, G1 และ G2 ส่วน *Aspergillus flavus var. columnaris* สร้างได้เฉพาะ อะฟลาทอกซิน B2 เท่านั้น อะฟลาทอกซินที่สร้างจากเชื้อราต่างๆ มีปริมาณ และชนิดแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อรา แต่ทั้งนี้พบว่า *A. flavus* และ *A. parasiticus* สามารถผลิตอะฟลาทอกซินได้มากกว่าเชื้อราชนิดอื่น

2.2.2.2 จำแนกตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารตัวกลาง สารตัวกลางทำหน้าที่เป็นสารที่นำไปสู่การสังเคราะห์สารพิษทางชีวภาพ อะฟลาทอกซินได้จากการสังเคราะห์ทางชีวภาพของสารพิษกลุ่มคีไคด์ ซึ่งจัดเป็นสารตัวกลาง สารตั้งต้นคือเกลือแอสิตเตต และเกลือมาโลเนต ถูกกระตุ้นด้วยโคเอนไซม์เอ ได้เป็นแอสิติลโคเอ และมาโลนิลโคเอ หลังจากนั้นสารทั้งสองจะรวมกันเป็นสารโมเลกุลใหม่ของไดลิไคด์ หรือ แอสีโทแอสิติลโคเอ พร้อมกับปล่อยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกิริยาทุกครั้ง หมู่แอสิติลจะถูกเติมลงไปในสารตัวกลางคีไคด์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นเคอะคีไคด์ และจะมีปฏิกิริยาผ่านตัวกลางอีกหลายชนิด ซึ่งสารตัวกลาง เหล่านี้จะถูกดีคาร์บอกซิเลต ถูกออกซิไดส์ และด้วยปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ จนเกิดเป็นวงแหวนกลายเป็นสารพิษอะฟลาทอกซิน

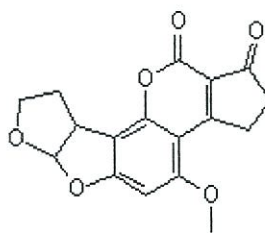
2.2.3 สูตรโมเลกุลของอะฟลาทอกซิน

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าโครงสร้าง อะฟลาทอกซิน B1 และ B2 มี แตกต่างกันโดยที่ Double bond ใน ring ที่ 1 ของอะฟลาทอกซิน B1 ส่วน B1 และ G1 ต่างกันตรงที่ B1 ไม่มี Lactone group ใน ring ที่ 5 ความแตกต่างกันในด้านสูตรโครงสร้างของอะฟลาทอกซินทำให้ความรุนแรงในการเกิดการเป็นพิษต่างกันด้วย กล่าว คืออะฟลาทอกซินที่มี Double bond ในวงที่ 1 และไม่มี lactone group ใน ring ที่ 5 ทำให้เกิดการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน และมีผลทำให้เกิดมะเร็งตับเพิ่มสูงขึ้น การมี Lactone group และ Hydroxyl group ในโครงสร้าง จะทำให้อะฟลาทอกซิน มีพิษลดลงตามลำดับ ความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินเรียงตามความรุนแรงได้ ดังนี้ B1, G1, B2 และ G2 ตามลำดับ Ceigler และคณะ (1971) รายงานว่า สูตรโครงสร้างของอะฟลาทอกซินเป็นไดฟิวราโนคอมาริน (Difuranocomarin) ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ชนิด ตามการเรืองแสงภายใต้แสงอุลตราไวโอเลต คือ B1, B2, G1 และ G2 อะฟลาทอกซิน M1, M2 เป็น metabolite ของอะฟลาทอกซิน B1 และ B2 ตามลำดับ

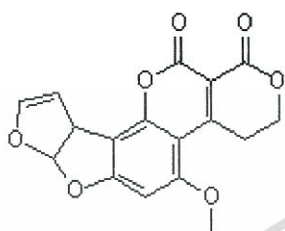
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



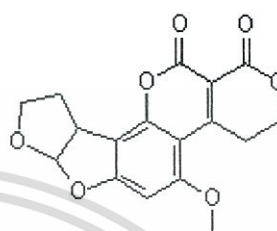
(a) อะฟลาท็อกซินบี 1



(b) อะฟลาท็อกซินบี 2



(c) อะฟลาท็อกซินจี 1



(d) อะฟลาท็อกซินจี 2

รูปที่ 2.2 สูตร โมเลกุลของอะฟลาทอกซิน
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Harley และคณะ (1963)

2.2.4 คุณสมบัติของอะฟลาทอกซิน

อะฟลาทอกซิน มีคุณสมบัติละลายได้เล็กน้อยในน้ำและตัวทำละลายพวกมีขี้ผึ้ง ละลายได้ดีในตัวทำละลายเคมีอินทรีย์ เช่น Chlorofom, Benzene, Acetone, Ethanol และ Methanol ไม่ละลายใน Hexane , Ether และ Petroleum ether มีความทนทานต่อความร้อนสูงถึง 250 องศาเซลเซียส ดังนั้นความร้อนจากกระบวนการหุงต้มต่างๆ ไป เช่น ต้ม อบ หรือนึ่ง จึงไม่สามารถทำลายพิษของอะฟลาทอกซินได้ (อนงค์, 2546) ในปี ค.ศ. 1996 Wogan ได้รายงานถึงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอะฟลาทอกซิน ชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า อะฟลาทอกซินนั้นเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ส่งผลให้มีอุณหภูมิหลอมตัวสูง ทำให้สามารถที่จะทนทานต่อความร้อนได้สูง เช่นเดียวกันกับรายงานของ มาลินี (2520) ที่ได้พบว่าอะฟลาทอกซินจะคงตัวอยู่นานและจะไม่ถูกทำลาย หรือเสื่อมคุณภาพไปที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ แม้การใช้ความร้อนระหว่างการเตรียมอาหารจะทำให้อะฟลาทอกซินลดลงไปได้บางส่วน แต่การใช้ความร้อนในรูปของการต้ม คั่ว และนึ่งโดยใช้ความดันไม่มีผลต่อ การทำลายอะฟลาทอกซิน B1 เท่าที่ควร อะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารจะคงสภาพเดิมอยู่จนกระทั่งใกล้จุดหลอมตัวที่อุณหภูมิ 250° องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอะฟลาทอกซิน

ชนิดของอะฟลาทอกซิน	น้ำหนักโมเลกุล	อุณหภูมิหลอมตัว (°C)	Rf
B ₁	312	268 - 269	0.56
B ₂	314	286 - 289	0.53
G ₁	328	244 - 246	0.48
G ₂	330	237 - 240	0.46
M ₁	328	299	0.34
M ₂	330	293	0.23
B _{2a}	330	240	0.13
G _{2a}	346	190	0.10

ที่มา : Wogan (1966)

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการสร้างอะฟลาทอกซินของเชื้อรา

การเจริญและการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อราขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

2.2.5.1 ชนิดของเชื้อรา เชื้อราแต่ละชนิดมีความสามารถในการสร้างอะฟลาทอกซินต่างกัน เชื้อราที่สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ได้แก่ *A. flavus*, *A. parasiticus* และ *A. nomius* (Dorner and Cloe, 2002) มีความสามารถในการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้แตกต่างกัน และบางสายพันธุ์ก็ไม่สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ซึ่งจากการศึกษาการสร้างสารพิษของเชื้อรา *A. flavus* มากกว่า 500 ตัวอย่าง พบว่า *A. flavus* สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ประมาณ 40% ของตัวอย่าง และมีความสามารถในการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินในระดับแตกต่างกัน ดังนั้นการพบหรือไม่พบเชื้อรา *A. flavus* เจริญอยู่บนเมล็ดพืช จึงไม่อาจสรุปได้ว่าอาหารนั้นปลอดภัยจากสารพิษอะฟลาทอกซิน

2.2.5.2 แหล่งอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อรา

ธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญและสร้างสารพิษของเชื้อรา ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไนโตรเจน และธาตุอาหารเสริมที่สำคัญเช่น เหล็ก สังกะสี เป็นต้น หากแหล่งอาหารไม่มีธาตุอาหารที่จำเป็นเหล่านี้ การสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินก็จะไม่เกิดขึ้น เช่น อนุมูลของ สังกะสี และแคลเซียม มีผลกระตุ้นการสร้างอะฟลาทอกซิน แต่ถ้าเกลือแร่ที่เสริมสร้างการสร้างสารพิษมีปริมาณน้อยลง ปริมาณการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินก็จะน้อยลงไปด้วย เช่น ถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไฟติก (Phytic acid) สูงซึ่งจะจับกับสังกะสีได้มาก ส่งผลให้ปริมาณสังกะสีลดน้อยลง

จึงมักพบอะฟลาทอกซินในถั่วเหลืองน้อยกว่าถั่วชนิดอื่น และจากการศึกษาเปรียบเทียบการสร้าง

สารพิษอะฟลาทอกซินในอาหารมีส่วนประกอบ ของน้ำตาลชนิดต่างๆ พบว่าซูโครสช่วยให้เชื้อราผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินได้ดีที่สุด

2.2.5.3 ปฏิกริยาระหว่างเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดที่ขึ้นปะปนกัน มีผลกระทบต่ออาการเจริญและการสร้างสารพิษ เนื่องจากการแย่งสารอาหารและการเจริญ ทำให้เชื้อราที่สร้างอะฟลาทอกซินเจริญได้ไม่เต็มที่ ตัวอย่าง เช่น ในข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวขณะที่มีความชื้นสูงมีเชื้อรา *Fusarium sp.* และ *A. flavus* เจริญอยู่ร่วมกันเป็นจำนวนมาก แต่กลับไม่พบการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน

2.2.5.4 วิธีการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา

วิธีการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษามีผลต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา ซึ่งเชื้อราสามารถเข้าทำลายผลิตผลได้ง่ายเมื่อเมล็ดมีแผล ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเก็บเกี่ยว ขนย้าย ขนส่ง และการเก็บรักษา ในการวิจัยของ จวงจันท์ และคณะ (2543) ได้ค้นพบว่าการเก็บรักษาถั่วลิสงไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะทำให้เมล็ดถั่วลิสงมีความชื้นสูงกว่า การเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ แต่ก็พบว่าสภาพแวดล้อมในการปลูก การจัดการในแปลง การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่าปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม และระยะเวลาในการเก็บรักษา

2.2.5.5 ความชื้น

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต และสร้างสารพิษของเชื้อราอยู่ในช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85% หรือ Aw ประมาณ 0.70–0.99 อีกทั้งการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* ยังขึ้นอยู่กับความชื้นในเมล็ดพืชด้วย โดยความชื้นในเมล็ดพืชที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* คือ 18% ดังนั้น ผลิตผลต่างๆ จึงมีการกำหนดปริมาณความชื้นที่ปลอดภัยจากเชื้อราแตกต่างกัน เช่น เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง เท่ากับหรือต่ำกว่า 13% ถั่วเหลือง 8% เมล็ดฝ้าย 10% และ ถั่วลิสง 7% เป็นต้น ในการศึกษาของ วุฒิสักดิ์ และคณะ (2540) ที่ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* และการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินบนถั่วลิสง พบว่าในสภาพธรรมชาติที่ระดับความชื้น 28.0–46.7% และความชื้นต่ำกว่า 8.3% ไม่พบการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน แต่ที่ระดับความชื้น 14.7–25.4% พบสารพิษ 0.83–8.33 พีพีบี ดังนั้นการเก็บถั่วลิสงเพื่อให้ปลอดภัยจากการติดเชื้อรา *A. flavus* ควรจะตากให้ฝักถั่วลิสงมีความชื้นต่ำกว่า 7% หรือประมาณ 7-8 แดก

2.2.5.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา และการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินคือช่วงอุณหภูมิ 25-35 °C ณ อุณหภูมินี้ เชื้อราสามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ใน 48 ชั่วโมง ดังนั้นอุณหภูมิในระหว่างการปลูกจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลสูงต่อการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินในเมล็ดธัญพืช โดยจากกล่าวได้ว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญกว่าความชื้น

2.2.5.7 แสง

แสงมีอิทธิพลต่อการงอก การเจริญของเส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อรา สำหรับการผลิตอะฟลาทอกซิน มีการค้นพบว่าการผลิตอะฟลาทอกซิน B1 เกิดขึ้นได้ดีในสภาพมืด และพบว่าแสงจากดวงอาทิตย์สามารถยับยั้งการสังเคราะห์อะฟลาทอกซินได้

2.2.5.8 ปริมาณของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อ การงอกของสปอร์ การเจริญ การสร้างสปอร์ และการผลิตสารพิษของเชื้อรา โดยเมื่อปริมาณออกซิเจนลดลงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จะทำให้การผลิตอะฟลาทอกซินลดลง หากมีคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 20% ของบรรยากาศ มีผลให้ *A. flavus* เจริญลดลงมากกว่า 80% และหากควบคุมออกซิเจนที่ระดับ 1% หรือน้อยกว่าจะสามารถยับยั้งการเจริญและการสร้างสารพิษได้อย่างสมบูรณ์

2.2.5.9 การเข้าทำลายของแมลง

การเข้าทำลายของแมลงจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน เนื่องจาก การเข้าทำลายของแมลงจะทำให้พืชอ่อนแอ เชื้อราเข้าทำลายได้ง่ายมากขึ้น อีกทั้งแมลงยังเปิดทางให้เชื้อราเข้าสู่พืชได้ง่าย ซึ่งการเข้าทำลายของแมลงจะเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยวจนกระทั่งเมื่อเก็บรักษา นอกจากนี้การเข้าทำลายของแมลงยังทำให้ความชื้นในเมล็ดสูงขึ้นด้วย

2.2.6 ผลของอะฟลาทอกซินต่อมนุษย์และสัตว์

การปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในแหล่งอาหารต่าง ๆ มีผลทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์และมนุษย์ โดยก่อให้เกิดมะเร็งในตับ หรือในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงแทบทุกชนิด โดยเฉพาะ กับสัตว์ที่มีอายุน้อย ผลของความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของสารพิษอะฟลาทอกซินต่อสัตว์ต่างๆ โดยพบปริมาณที่มีผลเกิดการตาย 50 % ในสัตว์ต่างๆ อยู่ในช่วง 0.3-17.9 มก./กก. น้ำหนักตัว ปริมาณที่มีผลต่อเปิดและไถ่อยู่ในช่วง 1-10 มก./กก. น้ำหนักตัว หมูอยู่ในช่วง 2-4 มก./กก. น้ำหนักตัว ลูกวัวอายุ 14 วัน 0.5 มก./กก. น้ำหนักตัว และก่อให้เกิดมะเร็งในหนูตั้งแต่ 5.5 มก./กก. น้ำหนักตัว สัตว์ที่มีความต้านทานต่ออะฟลาทอกซินน้อยที่สุดคือ ลูกเป็ด รองลงมาได้แก่ ปลาเรนโบว์เทราท์ หนูตะเภา และ ไก่กวาง นอกจากนี้ยังพบว่า สัตว์ที่มีอายุน้อย หรือสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโต จะเกิดอาการได้มากกว่า สัตว์ที่มีอายุมากหรือสัตว์ที่เจริญเต็มที่แล้ว

สำหรับมนุษย์ อาการแบบเฉียบพลันจะเกิดขึ้นในกรณีที่ได้รับสารพิษนี้ในปริมาณสูง และมักเกิดกับเด็ก ส่วนอาการแบบเรื้อรังจะทำให้เกิดมะเร็งในตับจะเกิดขึ้นในกรณีที่ได้รับสารพิษนี้ในปริมาณน้อยๆ แต่เป็นเวลานาน (อาร์นิต, 2528) นอกจากการเกิดมะเร็งในตับแล้วอะฟลาทอกซินยังอาจทำให้เกิดมะเร็งปอด โดยเฉพาะในคนงานที่มีอาชีพในการโม่ถั่วลิสงที่อาจได้รับฝุ่นที่มีสารพิษ หรือเชื้อราปนเปื้อนเข้าไปทางลมหายใจ (ไมตรี, 2531) อัตราการเกิดมะเร็งของตับในคนไทย ได้มีการศึกษาในพื้นที่ 3 จังหวัด คือ สิงห์บุรี ราชบุรี และ (ธีระยุทธ และ ชัยวัฒน์, 2524) ใน

ประเทศออสเตรเลีย และ 5 ตัวอย่างจากประเทศไทยมีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน M_1 ในปริมาณ 0.071 และ 0.664 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณการปนเปื้อน อะฟลาทอกซิน M_1 ที่พบ ในประเทศไทยมีปริมาณค่อนข้างสูง บ่งบอกว่ามารดาที่มีการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อน อะฟลาทอกซิน B_1 ในระดับสูง

ตารางที่ 2.4 ปริมาณอะฟลาทอกซินที่ได้รับเข้าไปทางอาหารและอัตราการเกิดมะเร็งในตับของคนไทย

พื้นที่	ปริมาณอะฟลาทอกซินที่ได้รับ (นาโนกรัม/น.ต้ว 1 กก.)		อัตราการเกิดมะเร็งตับ (ราย/100,000คน/ปี)
	B_1	ทั้งหมด	
สิงห์บุรี	51 -55	73 - 81	13,082
ราชบุรี	31 -48	45 - 77	3,224
สงขลา	5 - 6	5 - 8	1,072

ที่มา : ธีระยุทธ และชัยวัฒน์ (2524)

2.2.7 การกำหนดปริมาณอะฟลาทอกซิน (อนงค์, 2546)

จากข้อมูลงานวิจัยถึงอันตรายต่างๆ ของอะฟลาทอกซิน ซึ่งไม่สามารถลดหรือทำลายให้หมดสมบูรณ์ได้ ฉะนั้นการป้องกันและการควบคุม จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง จึงได้มีการกำหนดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่อนุญาตให้มีปนเปื้อนสูงสุดในอาหาร แตกต่างตามแต่ละพื้นฐานทางสังคม และเศรษฐกิจของแต่ละประเทศ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อการคุ้มครองสุขภาพอนามัย และความปลอดภัยของผู้บริโภค รวมถึงเพื่อความเป็นธรรมทางการค้าระหว่างประเทศ ภายใต้ความตกลงขององค์การการค้าโลก (WTO) ซึ่งมีคณะกรรมการมาตรฐานอาหารขององค์การอาหารและเกษตรของสหประชาชาติ (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) หรือที่เรียกกันว่า คณะกรรมการมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (CODEX) ได้ร่วมกันพิจารณาและกำหนดให้อะฟลาทอกซินเป็นสารปนเปื้อนในอาหาร (CODEX STAN 193-1995) และได้กำหนดให้ปริมาณอะฟลาทอกซินรวม คือ B_1 , B_2 , G_1 และ G_2 ปนเปื้อนในอาหารได้ไม่เกินกว่า 15 พีพีบี (CODEXSTAN 209-1999) ส่วนในประเทศไทยมีประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) กำหนดให้มีสารอะฟลาทอกซินในอาหารได้ไม่เกิน 20 พีพีบี (20 ไมโครกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม)

2.2.8 การลดและการทำลายอะฟลาทอกซิน

วิธีที่กำจัดสารพิษอะฟลาทอกซินที่ดีต้องเป็นวิธีที่สามารถทำลายสารพิษได้ ไม่ทิ้งสารพิษอย่างอื่นไว้ โดยที่คุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้นยังคงอยู่ ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเปลี่ยนแปลงไป และควรจะทำลายสปอร์ของเชื้อราด้วย (Park, 2002) ซึ่งโดยทั่วไปการลดปริมาณสารพิษจากเชื้อราสามารถปฏิบัติได้ 3 วิธี ดังนี้

2.2.8.1 วิธีกล (Physical methods)

2.2.8.1.1 การทำความสะอาดและการคัดเลือก เป็นวิธีการคัดเลือกและกำจัดผลผลิตที่ปนเปื้อนออก อาทิเช่น นำเสีย มีเชื้อราขึ้นออก ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของผู้ประกอบการควรทำเพราะสามารถลดการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินได้เป็นอย่างมาก วิธีการคัดเลือกนี้อาจทำได้โดยการทำมาสะอาด การแบ่งประเภท หรือการใช้มือในการเก็บแยก ใน ค.ศ.2002 Galvez และคณะ ได้ทำการศึกษาการควบคุมการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบด้วยการใช้มือในการเก็บแยก และได้ค้นพบว่าการคัดเลือกถั่วลิสงลอกด้วยมือนั้นสามารถ ลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้วิธีการหลายวิธีร่วมกัน เพื่อลดโอกาสของการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งแต่ละวิธีให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันดังแสดงใน ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ประสิทธิภาพการจัดการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซิน ในถั่วลิสงหลังการเก็บ เกี่ยวที่ระดับขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการผลิต

เทคโนโลยี	ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน (ppb)	ระดับการลด (ร้อยละ)	ระดับการลดสะสม (ร้อยละ)
การเก็บของเกษตรกร	217.9	-	-
สายพานแยก	140.0	36	35.0
โรงงานกะเทาะเปลือก	100.0	29	64.0
การคัดเลือกด้วยสี	30.0	70	86.0
แยกความถ่วงจำเพาะ	25.0	16	88.0
การลวก	2.2	91	99.0
การคัดเลือกด้วยสี	1.6	27	99.3

หมายเหตุ ผลจากการคัดแยกถั่วลิสง 40,000 กิโลกรัม

ที่มา : ดัดแปลงจาก Park (2002)

2.2.8.1.2 การใช้ความร้อน (อมรา, 2547) สารพิษอะฟลาทอกซินเสถียรเมื่ออยู่ใต้ความร้อนและไม่สามารถถูกทำลายได้อย่างสมบูรณ์ในน้ำเดือด จากการศึกษาพบว่า การอบเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการลดระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การทอดและอบถั่วลิสงให้แห้ง การอบถั่วลิสงในเครื่องไมโครเวฟ การคั่วหรือทอดถั่วลิสงที่อุณหภูมิ 150-200°C นาน 30 นาที จะสามารถลดปริมาณอะฟลาทอกซิน B₁ ได้ 40-80% การศึกษาของ Hwang และ Lee (2005) เรื่องผลของการปรุงอาหารด้วยวิธีต่างๆ เพื่อลดสารพิษอะฟลาทอกซิน พบว่าสามารถลดอะฟลาทอกซินในข้าวสาลีแห้งได้ร้อยละ 50 และ 90 เมื่อใช้ความร้อน 150 และ 200°C ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในอาหาร เมื่อใช้กรรมวิธี
การปรุงอาหารต่างๆ กัน

กรรมวิธีการปรุงอาหาร	การลดลงของสารพิษอะฟลาทอกซิน (%)
การหุงข้าวแบบธรรมดา	49
การทำอาหารที่ใช้ความดัน ที่อุณหภูมิ 120°C	73
การทำอาหารที่ใช้ความดัน และมีน้ำเกินกำหนด	82
การใช้หม้อนึ่งความดันที่ 120 °C เป็นเวลา 30 นาที สำหรับผลไม้และเครื่องเทศ	9-39
การปิ้งที่ 145 - 165°C เช่น ข้าวโพด	40-81
การใช้ไมโครเวฟกับถั่วลิสง	
1.6 kw 16 นาที	95
0.7 kw 8.5 นาที	48-64
การต้มในน้ำเดือด 100 °C นาน 15 นาที	71
การนึ่งด้วยอุณหภูมิ 100 °C นาน 15 นาที	43
การอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 150°C	50
การอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 200 °C	90

ที่มา : Hwang and Lee (2005)

2.2.8.1.3 การฉายรังสี (อมรา, 2547)

การฉายรังสีและการใช้แสง การฉายรังสีแกมมา (2.5 Mrad) สามารถลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในอาหารจากถั่วลิสงลงได้ แต่เนื่องด้วยเป็นวิธีการที่มีการใช้ต้นทุนที่สูงและผู้บริโภคยังไม่ยอมรับวิธีการฉายรังสี ดังนั้นวิธีการฉายรังสีจึงไม่ใช่วิธีที่ใช้อย่างแพร่หลาย

2.2.8.1.4 การใช้รังสี UV (Samarajeeva และคณะ, 1990)

ในส่วนของการใช้แสง สารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ จะไปทำปฏิกิริยากับ furanring ของโมเลกุลอะฟลาทอกซิน จึงเป็นการกำจัดพันธะที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ ซึ่งการใช้แสงหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นแสงแดด หรือ แสงจากหลอดไฟ ก็มีผลในการทำลายความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินได้ แต่การใช้รังสี UV มีข้อจำกัดอยู่ในหลายด้านเช่น มีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ มีความยาวคลื่นที่แคบ (362 นาโนเมตร)

ตารางที่ 2.7 การทำลายสารพิษอะฟลาทอกซิน โดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตและแสงแดด

กรรมวิธีที่ใช้	% การทำลาย	แหล่งอาหาร
UV 8 ชม.	0	กากถั่วลิสงน้ำมันถั่วลิสง
UV 2 ชม.	40-45	น้ำมันถั่วเหลือง
หลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 ชม	บางส่วน	น้ำมันมะพร้าว
หลอดไฟที่มีขดลวดอยู่ภายใน 1 ชม	สูงถึง 45	เครื่องเทศ ผลไม้แห้ง
หลอด Mercury tungsten	63-93	ข้าว
แสงแดด 15 นาที	100	น้ำมันถั่วลิสง
แสงแดด 30 นาที	>75	น้ำมันมะพร้าว
แสงแดด 40 นาที	95	น้ำมันมะกอก
แสงแดด 6 ชม	83	เคซีน
แสงแดด 6 ชม.	50	ก้อนถั่วลิสง
แสงแดด	บางส่วน	ผงไม้เขตร้อน

ที่มา : Smarajewa และคณะ (1990)

2.2.8.2 วิธีทางเคมี (Chemical methods) (อมรา, 2547: Park, 2002)

การลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินด้วยวิธีทางเคมี ที่นิยมใช้คือสารเคมีวิธีที่นิยมที่สุดคือ การรมด้วยแอมโมเนีย ซึ่งการรมขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้ ช่วงระยะเวลาในการรม ขนาดของเมล็ดธัญพืช และระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จะใช้ การรมด้วยแอมโมเนียความเข้มข้น 0.5–2.0% ภายใต้สภาวะความดันสูง อุณหภูมิสูง และที่ความชื้น 12-16% ความดัน 45-55 psi และที่อุณหภูมิ 80-100°C เป็นเวลา 20-60 นาที จะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด การใช้กรดจะเป็นการทำลายกิจกรรมทางชีวภาพของอะฟลาทอกซิน B1 และ G1 แต่วิธีทางเคมีนี้จะทำให้ค่า PER (Protein efficiency ratio) ของอาหารต่ำลงและจะมีการตกค้างของสารเคมีในอาหารนั้นด้วย

2.2.8.3 ชีววิธี (Biological methods) (อมรา, 2547 : Park, 2002)

จุลินทรีย์ที่ใช้เพื่อลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้แก่ ยีสต์ เชื้อรา สาหร่าย และแบคทีเรียแอคติไมซีสต์ มีการค้นพบว่า *Flavobacterium Aurantiacum* NRRL B-184 สามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 ในน้ำมัน น้ำมันข้าวโพด เนยถั่วลิสง ข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วลิสงได้ ซึ่งถ้าบ่มสารพิษไว้กับเซลล์ของแบคทีเรียนาน 68 ชั่วโมงจะสามารถยับยั้งการผลิตอะฟลาทอกซินได้ถึง 74% และสาร Aflastatin A ซึ่งสร้างโดย *Streptomyces sp.* สามารถลดอัตราการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินของ *A.paraciticus* ได้ นอกจากนี้ขบวนการหมักธัญพืชที่มีการปนเปื้อน ก็สามารถลดปริมาณสารพิษได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมบัติทางกายภาพ และการคัดแยกผลิตผลทางการเกษตร

การผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพและได้มาตรฐาน นอกจากจะใช้วิธีการแปรรูปที่ดีแล้ว ยังจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้เครื่องมือในการแปรรูปที่เหมาะสม นอกจากนี้คุณภาพของวัตถุดิบที่เข้ามาแปรรูปก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้น สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางวิศวกรรมของอาหารจึงมีความสำคัญในการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ ตลอดจนเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขหรือจุดสำคัญของการแปรรูปและการเก็บรักษาด้วยความรู้และความเข้าใจ เกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางวิศวกรรมของอาหารมีความสำคัญต่อการออกแบบเครื่องจักร การขนถ่ายวัสดุ การแปรรูป ตลอดจนการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร การพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย สมบัติเหล่านี้นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรรมอาหารแล้วยังเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต นักวิทยาศาสตร์อาหาร นักปรับปรุงพันธุ์ และนักวิทยาศาสตร์สาขาที่เกี่ยวข้อง (อัมพวัน, 2551)

2.3.1 สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ (อัมพวัน, 2551)

สมบัติทางกายภาพ (Physical characteristics) ที่นิยมใช้บ่งชี้คุณสมบัติของผลิตผลทางการเกษตร ได้แก่ ขนาด (Size) รูปร่าง (shape) พื้นที่ผิว (Surface area) มวลและปริมาตร (Mass and Volume) ความหนาแน่น (Density) ความถ่วงจำเพาะ ความพรุน (Porosity) พื้นที่ผิวจำเพาะ และลักษณะปรากฏ (Appearance) เป็นต้น ซึ่งสมบัติดังกล่าวเกี่ยวข้องกับเกือบทุกขั้นตอนของกระบวนการแปรรูปอาหาร ตั้งแต่การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาการแปรรูป การบรรจุ และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (ปานมนัส, 2538) เช่น ขนาดและรูปร่างของผงกาแฟ มีผลต่อการผลิตกาแฟสำเร็จรูป เนื่องจากผลกาแฟขนาดเล็ก จะ ไปอุดตันคอลัมน์ที่ใช้ในการสกัด ทำให้กระบวนการสกัดชะงักหรือช้าลง การแปรรูปโดยใช้ความร้อนหรือการทำให้เย็น มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการแปรรูป

2.3.2 สมบัติเชิงเรขาคณิตของอาหารและวัสดุเกษตร

2.3.2.1 รูปร่างและขนาด (Shape and size) รูปร่างและขนาดของชีววัสดุ มักจะเป็นสมบัติที่แยกกัน ไม่ออก หากจะอธิบายสมบัติของวัสดุก็ต้องอธิบายว่ามีรูปร่างเป็นอย่างไร มีขนาดอย่างไร ด้วยเสมอ ทั้งรูปร่างและขนาดของวัสดุเป็นสมบัติที่มีผลกระทบต่อกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการแปรรูปกระบวนการลำเลียง กระบวนการแยกทำความสะอาด กระบวนการบรรจุ เป็นต้น

2.3.2.2 เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric meandiameter) ที่วัสดุมีรูปร่างเป็นทรงกลมสามารถกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางได้ แต่หากมีรูปร่างคล้ายทรงกลม หรือไม่ทรงกลม สามารถกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตซึ่งพิจารณาได้ จากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด (a) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a (b) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a และ b (c) นั่นคือ a b และ c การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

ทำได้โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์หรือไมโครมิเตอร์

2.3.2.3 รูปร่างของเมล็ด (Eccentricity)

การตรวจสอบค่า (Eccentricity) ทำได้โดยนำมาเมล็ดมาวัด ความกว้าง ความ ยาว และ ความหนา ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ แล้วคำนวณหาค่า Eccentricity โดยค่า Eccentricity เป็นค่าที่บอกรูปร่าง หรือความกลมของเมล็ด ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ค่าที่ใกล้ 0 แสดงว่า เมล็ดเข้าใกล้ทรงกลม ส่วนค่าที่ใกล้ 1 แสดงว่าเมล็ดยาวรี

2.3.2.4 พื้นที่ภาพฉาย (Projected area)

พื้นที่ภาพฉาย หรือรูปทรงต่าง ๆ สามารถหาได้ง่าย ๆ โดยการใช้อุปกรณ์ฉายภาพข้ามศีรษะ (Overhead projector) หลักการก็คือเมื่อนำวัสดุวางบนเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะจะปรากฏเงา ซึ่งเป็นภาพฉายวัสดุนั้น จึงสามารถวัดหาพื้นที่ภาพฉายได้โดยใช้ตารางกราฟ หรือเครื่องวัดพื้นที่ (Planimeter) แล้วคำนวณเป็นค่าจริงจากอัตราส่วนขยาย

2.3.2.5 ความหนาแน่นจริง (True density)

เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นถึงความหนาแน่นของเนื้อวัสดุเอง หากนำค่าความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางของโลกมาคูณ ค่าความหนาแน่นจริงจะเปลี่ยนค่าเป็นน้ำหนักจำเพาะของวัสดุ (Specific weight) ซึ่งมีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร หากวัสดุมีเนื้อเป็นรูพรุน นอกจากจะมีความหนาแน่นจริง (True density) แล้วยังมีความหนาแน่นที่รวมปริมาตรรูพรุนวัสดุด้วยเรียกว่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) ความหนาแน่นปรากฏคำนวณจาก น้ำหนักของวัสดุหารด้วยปริมาตรของของแข็งรวมทั้งช่องว่างระหว่างของแข็งนั้น ดังนั้นจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามปริมาตร เช่น เมล็ดถั่ว เมื่อแช่น้ำระยะหนึ่ง จะมีความหนาแน่นปรากฏเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่ในช่องว่าง การแยกเมล็ดออกจากเนื้อในเมล็ดด้วยการใส่ลงไปน้ำ ถ้าเมล็ดมีความหนาแน่นปรากฏน้อยกว่าน้ำ เมล็ดจะลอยขึ้น ส่วนเมล็ดที่มีเนื้อในเมล็ดมีความหนาแน่นปรากฏมากกว่าน้ำ เมล็ดจะจมลง กรณีเช่นนี้ต้องแยกในเวลารวดเร็ว เพราะถ้าหากเมล็ดดูดซับน้ำเข้าไปเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นปรากฏสูงกว่าน้ำหรือเท่ากับน้ำก็ทำให้แยกไม่ได้เช่นกัน (Teotia และ Ramakishna, 1989)

2.3.2.6 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ความหนาแน่นของวัสดุปริมาณมวล ซึ่งคำนวณจากมวลของวัสดุหารด้วยปริมาตรรวมของวัสดุ ซึ่งปริมาตรรวมนั้นรวมปริมาตรของช่องว่างวัสดุเอง และลักษณะที่บรรจุด้วยค่าความหนาแน่นรวมของวัสดุขึ้นกับปัจจัยหลาย ๆ เช่น ความหนาแน่นจริง รูปร่าง ขนาดลักษณะผิว ความชื้น สิ่งปะปน วิธีการบรรจุ และ วิธีการวัด หน่วยของความหนาแน่นรวมเหมือนกับความหนาแน่นจริง การเตรียมตัวอย่างสำหรับหาความหนาแน่นรวมแบบหลวมนั้น ทำโดยบรรจุวัสดุ ปริมาณมวลลงภาชนะบรรจุตัวอย่าง โดยมีระยะความสูงในการเทเท่ากับศูนย์ส่วนแบบอัดแน่นนั้น ให้เทลงภาชนะโดยผ่านตะแกรงร่อนขนาดที่เหมาะสมที่ระยะสูงใดๆ ซึ่งวัสดุจะตกลงในภาชนะคล้ายกับฝนตก และความหนาแน่นก็เปลี่ยนไปตามระยะความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.7 ความพรุน (Porosity)

ความพรุนเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณช่องว่างที่มีอยู่ในวัสดุ ปริมาณมวล เช่น ข้าวเปลือก หญ้าอาหารสัตว์ แป้ง ความพรุนมีค่าเท่ากับสัดส่วนของปริมาตรอากาศต่อปริมาตรรวม ความพรุนเปลี่ยนแปลงตามรูปร่าง ขนาด และลักษณะผิวของวัสดุ ความสัมพันธ์ระหว่าง ความพรุน ความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นจริง

2.3.2.8 สมบัติทางอากาศพลศาสตร์ (Aero- Hydrodynamic property)

เป็นสมบัติทางกลที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของวัสดุภายใต้แรงที่มากกระทำ ได้แก่ สัมประสิทธิ์ของแรงต้าน (Drag coefficient) ความเร็วปลาย (Terminal Velocity) ซึ่งมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ทางการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ได้แก่ การเป่าอากาศผ่านเมล็ดพืชที่อยู่หนึ่งหรือกำลังเคลื่อนที่ผ่านการอบแห้งแบบ Fluidized หรือแบบอากาศผ่าน (Through draught drying) การแช่เยือกแข็งด้วยวิธี Fluidized การคัดแยกแบบการเหวี่ยง การกรอง การแยกแบบไซโคลน การลำเลียงด้วยลม การลำเลียงด้วยน้ำ การทำให้เย็นโดยใช้กระแสลมหรือลมเป็นตัวการ เป็นต้น

2.3.2.9 ความเร็วปลาย (Terminal velocity)

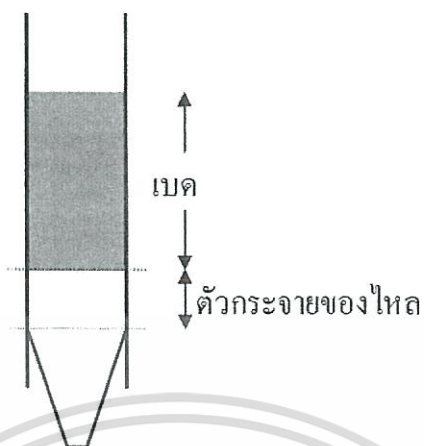
ความเร็วปลายหรือความเร็ววิกฤติ (Critical velocity) ในการตกอย่างอิสระวัตถุจะมีความเร็วสุดท้าย (v) ทั้งที่โดยแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (F_g , Gravitation accelerating force) เท่ากับแรงต้านทานจากของไหล (F) ซึ่งมีทิศสวนกันมาภายใต้สภาวะคงที่ (Steady state) ซึ่งความเร็ววัตถุเท่ากับความเร็วสุดท้าย ถ้าความหนาแน่นของวัตถุมากกว่าความหนาแน่นของของไหลวัตถุจะเคลื่อนที่ลง ถ้าวัตถุมีความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นของของไหลวัตถุจะเคลื่อนที่ขึ้น เช่น เมื่อใช้กระแสอากาศแยกวัสดุออกจากกัน เช่น เมล็ดธัญพืชออกจากเศษสิ่งเจือปนทั้งหลาย เช่น ฟาง ค่าความเร็วสุดท้ายของวัตถุทั้งหมด ที่เกี่ยวข้องช่วยกำหนดความเร็วของอากาศที่ช่วยให้การแยกเศษสิ่งเจือปนได้ (ปานมนัส, 2538)

2.3.3 ทฤษฎีฟลูอิดิเซชัน (Fluidization) (สมศักดิ์, 2528)

ฟลูอิดิเซชันคือ กระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็งซึ่งมีรูปร่างลักษณะ เป็นเม็ดหรือชิ้นสัมผัสกับของไหลแล้วอนุภาคของแข็งเหล่านี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล โดยที่ของไหลที่ใช้จะถูกปล่อยให้ผ่านมาทางด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็ง ของแข็งจะไหลผ่านออกทางส่วนบนของหอคอลอน ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Column) เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดจะเห็นเม็ดของแข็ง เริ่มเคลื่อนที่ และลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ซึ่งของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล

เบด หมายถึง อาณาเขตของอนุภาคของแข็งในหอคอลอนทั้งหมดตั้งแต่ตัวกระจายของไหล (Distributor) จนถึงระดับสูงสุดคือผิวหน้าของเม็ดของแข็ง ไม่ว่าเม็ดของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลดัง รูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงานเวสสำหรับารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงเบดขณะเกิดฟลูอิดไดเซชัน

ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันเบดเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด ลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เมื่อความเร็วของของไหล เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันลดในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยสามารถลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อค่อยๆ เพิ่มความเร็วของของไหลสรุปได้ ดังนี้

2.3.3.1 เมื่อป้อนของไหลด้วยความเร็วต่ำๆ ของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งไป โดยไม่ทำให้อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ เบดลักษณะดังนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (Fix bed)

2.3.3.2 เมื่อความเร็วของของไหลสูงขึ้นอนุภาคของแข็ง จะเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เบดขยาย (Expanded bed)

2.3.3.3 เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุดหนึ่งๆ ซึ่งแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหลสมดุลกับน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง และแรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็งในแนวตั้งหายไป อนุภาคของแข็งที่ประกอบกันเป็นเบดจะลอยตัวเป็นอิสระ แรงกระทำเนื่องจากความดันลดในเบดหน้าตัดใดๆ ของเบดจะเท่ากับน้ำหนักของของไหล และอนุภาคของแข็งระหว่างหน้าตัดนั้นๆ เบดในสภาพเช่นนี้เป็น เบดที่เริ่มฟลูอิดไดซ์ เรียกเบดในลักษณะนี้ว่า อินซิเพียนฟลูอิดไดซ์เบด (Incipiently fluidized bed) หรือเบดที่มีสภาพฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด (Minimum fluidization)

2.3.3.4 เมื่อของไหลมีความเร็วมากกว่าความเร็วที่กล่าวในข้อ 2.3.3.3 อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่ที่ตัวห่างออกจากกันมากขึ้นตามความเร็วของของไหล อนุภาคของแข็ง เริ่มไหลเร็วขึ้นและรุนแรงขึ้น เบดในลักษณะนี้เรียกว่า บับบลิ้งฟลูอิดไดซ์เบด (Bubbling fluidized bed)

2.4 รายงานการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Uraih และ Chipley (1976) ได้ศึกษาผลของเกลือและกรดชนิดต่างๆ ได้แก่ sodium chloride, sodium acetate, benzoic acid, sodium benzoate, malonic acid และ sodium malonate ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ต่อการเจริญและการสร้างอะฟลาทอกซินของ *Aspergillus flavus* จากผลพบว่า sodium chloride ความเข้มข้นเทียบเท่าหรือมากกว่า 12 g/100 ml มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตอะฟลาทอกซิน ในขณะที่ sodium acetate จะมีผลยับยั้งที่ความเข้มข้น 4g/100 ml กรด malonic ความเข้มข้น 10, 20, 40, และ 50 mM มีฤทธิ์ลดการเจริญเติบโตและการผลิต อะฟลาทอกซินลดลง (กว่า 50%) ในขณะที่ sodium benzoate (pH 5.0) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิต อะฟลาทอกซินที่ 0.4 g/100 ml

Hulf และคณะ (1980) พบว่าเมล็ดข้าวโพดที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจะมีอัตราการลอยน้ำ 60% จึงได้พัฒนาวิธีการลดอะฟลาทอกซินโดยการลอยเมล็ดข้าวโพดด้วยสารละลาย Sucrose 40% ซึ่งสามารถลดการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินซึ่งทำให้ลดการปนเปื้อนได้ 90% แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้สูญเสียเมล็ดข้าวโพดไป 53%

Kirskey และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอะฟลาทอกซินและความหนาแน่นของเมล็ดถั่วลิสง โดยการนำเมล็ดถั่วลิสง 500 กรัม หย่อนลงในน้ำ 2,000 มิลลิตร พบว่ามีจำนวนเมล็ดถั่วลิสงที่ลอยน้ำ 13-30 % ซึ่งในจำนวนนี้เป็นเมล็ดที่พบการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซิน 97% โดยสามารถลดปริมาณสารอะฟลาทอกซินทั้งหมดจาก 301 ppb เหลือเป็น 20 ppb หรือคิดเป็นร้อยละ 88 นอกจากนั้น ยังพบว่าเมล็ดที่ลอยมีช่องว่างในเมล็ดสูงกว่าเมล็ดที่จม และช่องว่างนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่เอื้อต่อไปสู่การเจริญของเชื้อราในเมล็ดและการสร้างสปอร์และสารอะฟลาทอกซินในที่สุด

วนิดา ยุธยาติ (2551) โดยได้ทำการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงโดยวิธีการแช่น้ำ พบว่าเมล็ดที่เสียหายลอยบนผิวน้ำ ส่วนเมล็ดที่จมน้ำไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินที่สูงเกิน 20 พีพีบี และเมื่อนำเมล็ดทั้งสองกลุ่มไปแปรรูปเป็นถั่วลิสงป่น และคั่วแล้วเก็บไว้เป็นเวลา 28 วันพบว่าผลิตภัณฑ์จากเมล็ดที่ลอยมีปริมาณอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้น 18 เท่า ส่วนผลิตภัณฑ์จากเมล็ดที่จมน้ำมีปริมาณอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า นอกจากนั้นยังพบว่าพบว่า ถั่วที่มีปริมาณอะฟลาทอกซินสูงจะมีคุณภาพต่ำและเสื่อมเสียได้เร็วกว่าถั่วลิสงปกติทั้งในด้านคุณลักษณะและรสชาติ

สุคาทิพย์ แซ่ตัน และคณะ (2554) เสนอวิธีการพัฒนาวิธีการคัดคุณภาพเมล็ดถั่วลิสงเพื่อลดปริมาณสารอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง โดยพิจารณาจากลักษณะปรากฏ มีวิธีการที่ประกอบด้วย การเทถั่วลิสงบนพื้นสีฟ้าอ่อน คัดสิ่งแปลกปลอมและเลือกถั่วลิสงที่มีตำหนิออก โดยถั่วลิสงที่มีตำหนิได้แก่ ถั่วลิสงที่มีเมล็ดเหี่ยว เมล็ดที่มีตำหนิจากแมลงหรือเครื่องจักร เมล็ดที่มีเชื้อหุ้มเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ มีสีผิดปกติ รูปร่างผิดปกติ มีการงอก มีการเจริญของเชื้อรา และสุดท้ายจะได้เมล็ดถั่วลิสงที่มีลักษณะดีเหมาะสำหรับการบริโภคต่อไป โดยวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถลดความน่าจะเป็นในการพบการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินที่มากกว่า 20 ppb จาก 64.10% เหลือเป็น 36.57%

ถักษิภา และคณะ (2554) ได้ศึกษาและทดลองแยกถั่วลิสงโดยใช้คุณสมบัติความหนาแน่น และความเร็วปลายในน้ำ สามารถแยกถั่วออกได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ถั่วที่จมเร็ว จมช้า และลอยเมื่อนำถั่วทั้ง 3 ระดับมาตรวจหาปริมาณอะฟลาทอกซิน พบว่า ถั่วที่ลอยมีปริมาณอะฟลาทอกซินสูงที่สุด รองลงมาคือถั่วจมช้า และจมเร็วตามลำดับ (2.50, 6.16 และ 14.33 ppb ตามลำดับ)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์

ตัวอย่างเมล็ดถั่วลิสงดิบขนาดกลางจำนวน 5 ลีต สุ่มเก็บจากตลาดที่แตกต่างกัน ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล 5 แห่ง จากการส่งวิเคราะห์หีอะฟลาทอกซินที่กรมวิชาการเกษตร ซึ่งมีระดับการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ กลุ่มมีการปนเปื้อนต่ำ 3 ตัวอย่าง ได้แก่ 2.40, 3.10 และ 3.55 พีพีบี กลุ่มมีการปนเปื้อนปานกลางมีการปนเปื้อน 22.62 พีพีบี และกลุ่มมีการปนเปื้อนสูง 131.45 พีพีบี ตัวอย่างละ 10 กิโลกรัม เก็บไว้ในกระสอบพลาสติก ภายใต้ห้องเย็น ที่มีอากาศถ่ายเท ณ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เทอร์โมมิเตอร์ (Brannan ช่วงอุณหภูมิ -10-110 องศาเซลเซียส)

3.2.2 ตู้อบลมร้อน (Path OV663)

3.2.3 โทคูตความชื้น

3.2.4 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Denver instrument รุ่น si 234)

3.2.5 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BSA3202S-CW)

3.2.6 เครื่องปั่น (Panasonic รุ่น MX-795N)

3.2.7 Cylinder 100 ml

3.2.8 Erlenmeyer flask 250 ml

3.2.9 ซ้อนตักสาร

3.2.10 Microsyring 100 และ 1,000 μ l (BOECO)

3.2.11 Beaker 1,000 ml

3.2.12 ตะแกรง

3.2.13 Hydrometer

3.2.14 Moisture can

3.2.15 ถุงฟลอยด์

3.2.16 กล้องจุลทรรศน์ ดิจิตอล (Dino-Lite รุ่น AM-413T pro)

3.2.17 Round bottom flask

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมี

3.3.1 เกลือแกง (NaCl)

3.3.2 น้ำกลั่น

3.3.3 ชุดทดสอบ Elisatest Kit

3.3.3.1 เอทานอล 70%

3.3.3.2 สาร AFB1 มาตรฐานที่ความเข้มข้น 0 , 0.2 , 0.5 , 1 , 2 และ 5 ng/ml (ppb)

3.3.3.3 AFB1 HRP conjugate จำนวน 6 หลอด (100 μ l / vial)

3.3.3.4 substrate A และ B อย่างละ 6 ml

3.3.3.5 conjugate buffer ปริมาณ 8 ml

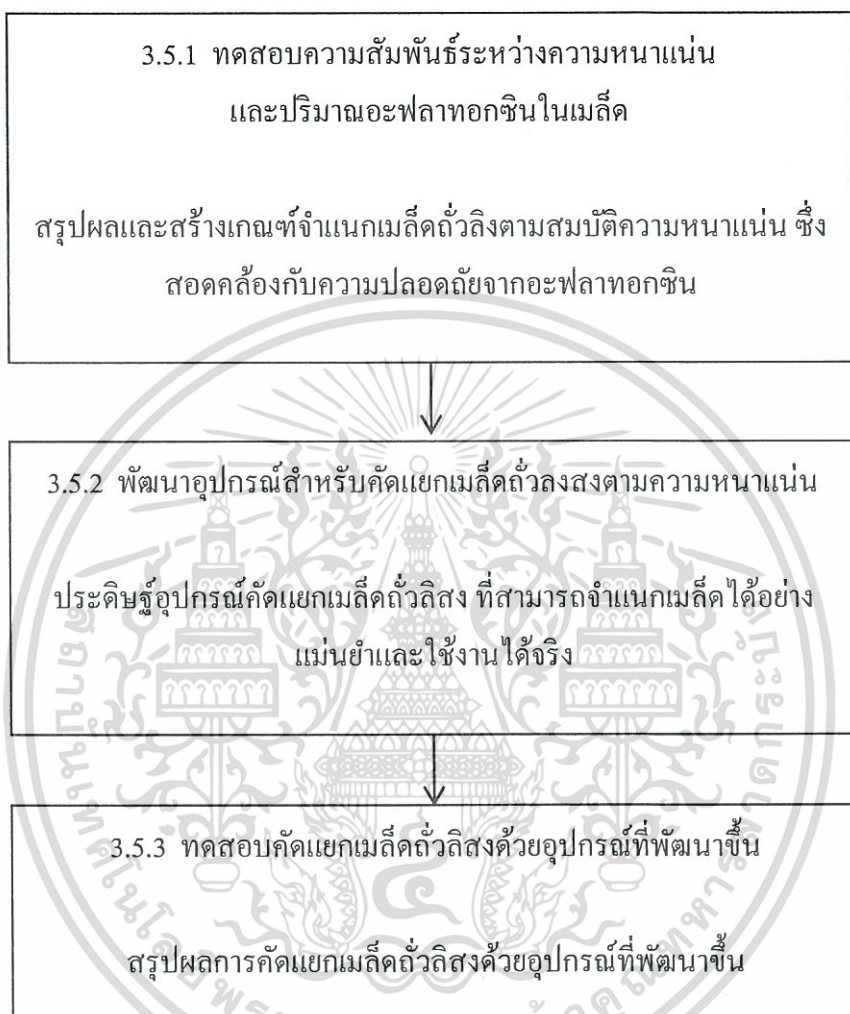
3.3.3.6 washing buffer 100 ml (10 x 0.01 PBS + 0.05 tween 20)

3.4 สถานที่ดำเนินการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินการ ในงานวิจัยชิ้นนี้ แยกออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 3.5.1 ทำการศึกษาผลของความหนาแน่นในเมล็ดต่อปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสง เพื่อสร้างเกณฑ์สำหรับจำแนกคุณภาพเมล็ดถั่วลิสงตามสมบัติความหนาแน่น จากนั้นดำเนินการ 3.5.2 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสง โดยนำข้อสรุปจาก 3.5.1 มาใช้ในการพัฒนา และในขั้นตอนสุดท้าย 3.5.3 เป็นการทดลองคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงโดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน

3.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ด

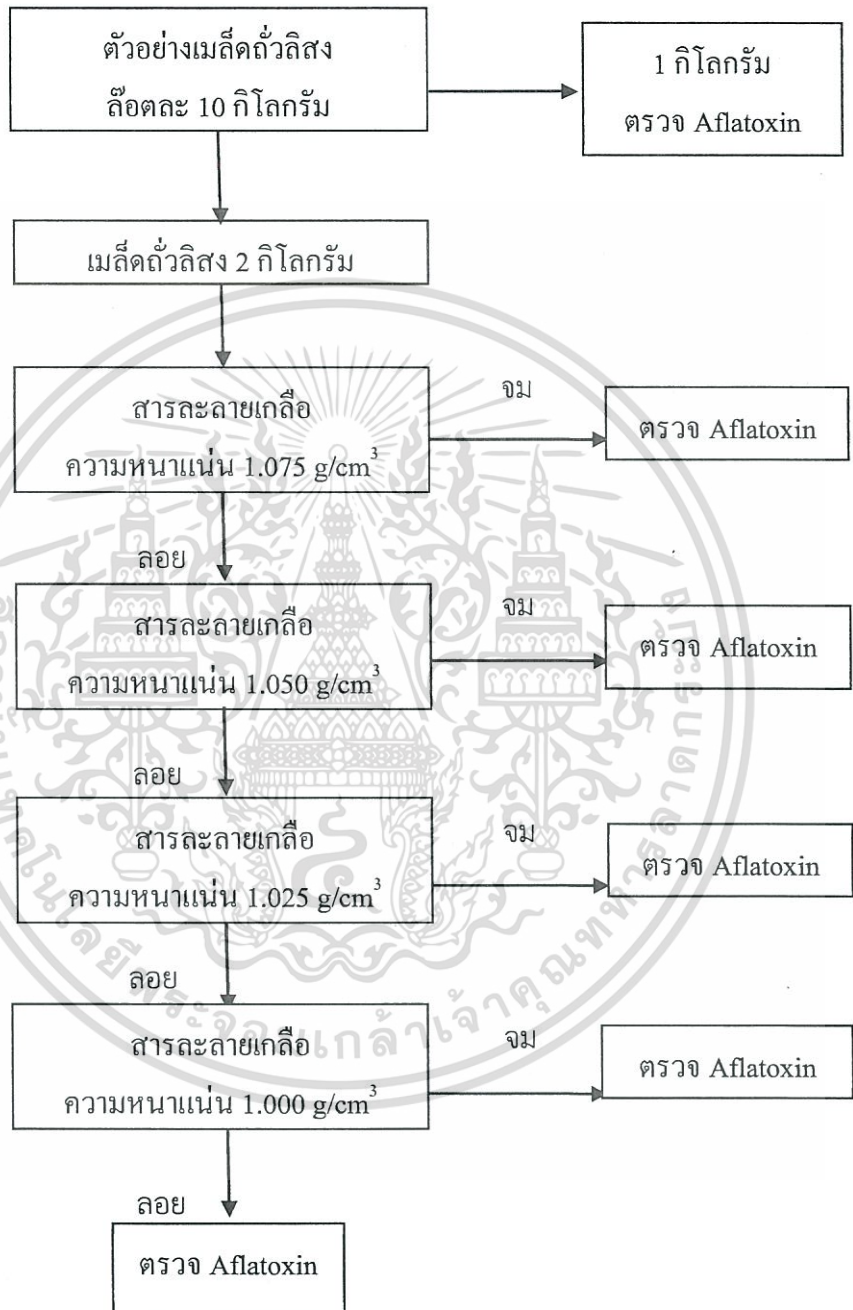
3.5.1.1 คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงออกตามความหนาแน่น

3.5.1.1.1 เตรียมสารละลายน้ำเกลือ โดยนำเกลือแกงเม็ด มาละลายในน้ำกลั่น อัตราส่วนร้อยละ 0, 4, 8 และ 12 w/v ได้สารละลายความหนาแน่น 1.000, 1.025, 1.050 และ 1.075 g/cm³ ตามลำดับ

3.5.1.1.2 นำตัวอย่างถั่วลิสง 5 ลีต ซึ่งมีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินแตกต่างกันได้แก่ 2.40, 3.10, 3.55, 22.62 และ 131.45 พีพีบี ตัวอย่างละ 2 กิโลกรัม ทะยอยหย่อนลงบนสารละลายเกลือความเข้มข้นต่างๆ โดยเรียงลำดับจากสารละลายที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด ไปจนถึงสารละลายความเข้มข้นต่ำที่สุด ทำการคนและปล่อยให้เมล็ดลอยเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นใช้ตะแกรงตัก เฉพาะเมล็ดที่จมแยกออกมา ส่วนเมล็ดที่ลอยนำไปทดลองซ้ำ กับสารละลายเกลือที่มีความหนาแน่นรองลงมา ทำเช่นนี้จนกระทั่งได้เมล็ดที่ลอยบนสารละลายเกลือ 0 % (น้ำเปล่า) ดังแสดงขั้นตอนวิธีการปฏิบัติในรูปที่ 3.1 ด้วยวิธีนี้จะสามารถจำแนกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นได้ 5 ระดับคือ $p < 1.000$, $1.000 \leq p < 1.025$, $1.025 \leq p < 1.050$, $1.050 \leq p < 1.075$ และ $p \geq 0.75$ g/cm³ หลังจากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านการคัดแยกมาผึ่งให้แห้ง บันทึกน้ำหนัก บรรจุในถุงพอลิเอทิลีน นำไปเก็บในห้องเย็น อนุกรมภูมิ 5 องศาเซลเซียส

3.5.1.2 นำเมล็ดถั่วลิสงที่ผ่านการคัดแยก ในข้อ 3.5.1.1 ไปตรวจปริมาณอะฟลาทอกซินที่กรมวิชาการเกษตร ซึ่งทดสอบด้วย ด้วยวิธี DOA-ELISA Test Kit (อมรา, 2547) ทำทั้งหมด 2 ซ้ำ

3.5.1.3 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณอะฟลาทอกซิน ความหนาแน่น และปริมาณอะฟลาทอกซินรวมตั้งต้น โดยเป็นแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสถิติสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.2 ผังการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสง

3.5.2.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่น

ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามคุณสมบัติความหนาแน่น โดยอ้างอิงข้อสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณอะพลาทอกซินในเมล็ด ในข้อ

3.5.1 เป็นเกณฑ์ในการจำแนก

3.5.2.2 ทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์คัดแยก

3.5.2.2.1 เตรียมเมล็ดถั่วลิสงเคลือบแลคเกอร์ ซึ่งผ่านการวัดความหนาแน่นด้วยวิธีลอยบนสารละลาย 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ($\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$) กลุ่มเมล็ดที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย ($1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$) และ กลุ่มเมล็ดที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ($\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$) (ภาคผนวก ค)

3.5.2.2.2 นำเมล็ดถั่วลิสง จาก 3.5.2.1 กลุ่มละ 1 กิโลกรัม ทอยวางเมล็ดถั่วลิสงลงในช่องป้อนเมล็ดในอัตรา 100 กรัมต่อนาที ปล่อยให้ อุปกรณ์ทำงานคัดแยกเมล็ดจนครบ 1 กิโลกรัม จากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านการคัดแยกไปผึ่งลมให้แห้ง และจัดบันทึกน้ำหนัก ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.5.2.2.3 กำหนดประสิทธิภาพความแม่นยำในการคัดแยกของอุปกรณ์ โดยกำหนดผลการคัดแยกที่ต้องการคือ เมล็ดความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ($\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$) ถูกคัดแยกออกทางช่องที่ 1 ส่วนเมล็ดที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย ($1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$) ถูกคัดแยกออกทางช่องที่ 2 และเมล็ดความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ($\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$) ถูกคัดแยกออกทางช่องที่ 3 ใช้วิธีคำนวณความแม่นยำของการคัดแยกดังสมการ

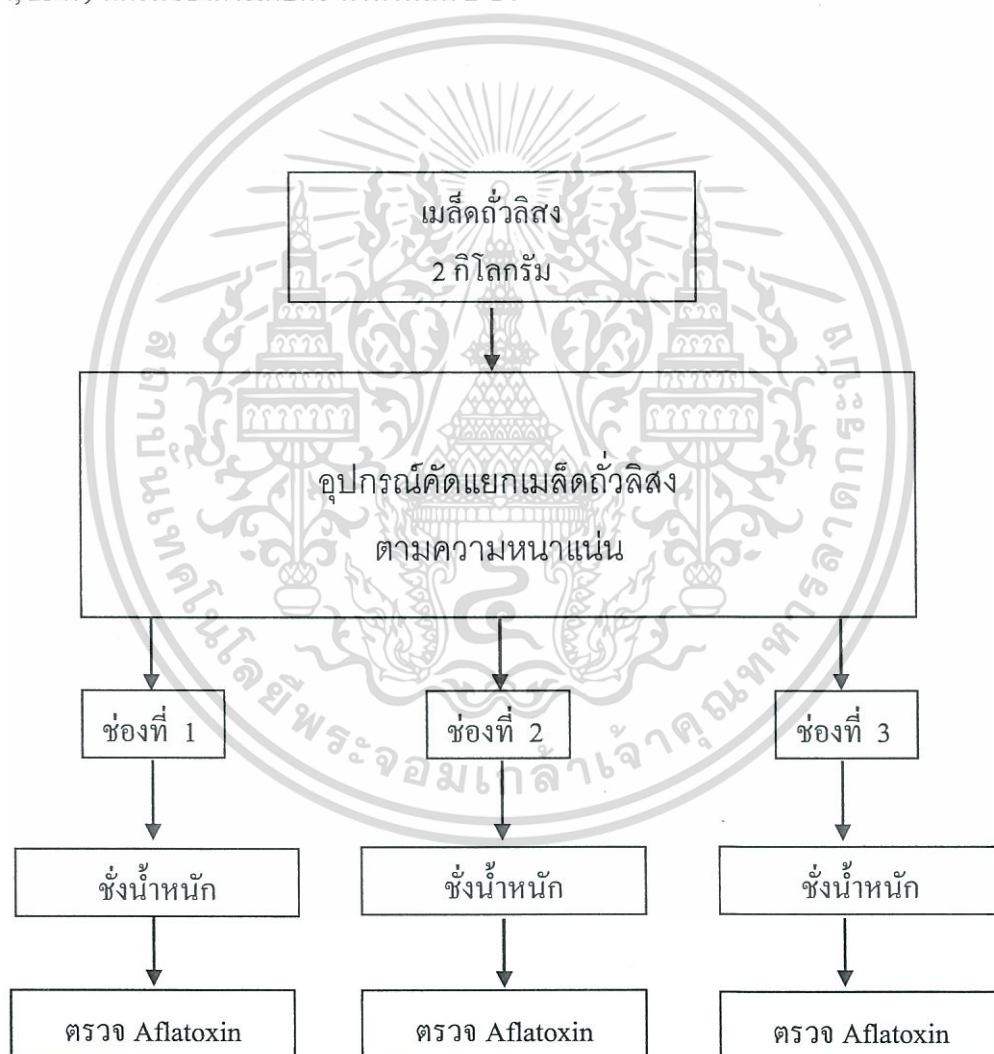
$$\text{ร้อยละความแม่นยำ} = \left(\frac{\text{จำนวนถั่วที่ตกถูกช่อง} / \text{จำนวนถั่วทั้งหมด}}{\text{จำนวนถั่วที่ตกถูกช่อง}} \right) \times 100$$

3.5.3 การคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามคุณสมบัติความหนาแน่นที่พัฒนาขึ้น (รูปที่ 3.3)

3.5.3.1 ตัวอย่างถั่วลิสง 5 ลีต ซึ่งมีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินแตกต่างกัน ได้แก่ 2.4, 3.10, 3.55, 22.65 และ 131.45 พีพีบี ลีตละ 2 กิโลกรัม

3.5.3.2 ทำการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงทั้ง 5 ลีต ด้วยอุปกรณ์และวิธีการคัดแยก ตามข้อ 3.5.2

3.5.3.3 นำเมล็ดถั่วลิสงที่ผ่านการคัดแยก มาผึ่งให้แห้ง จากนั้นบรรจุในถุงพอลิเอทิลีน ปิดผนึก และเก็บไว้ในห้องเย็น ก่อนนำไปตรวจสอบปริมาณอะฟลาทอกซิน ด้วยวิธี DOA-ELISA Test Kit (อมรา, 2547) ที่กรมวิชาการเกษตร ทำทั้งหมด 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 ฟังการทดลองคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยอุปกรณ์คัดแยกตามความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

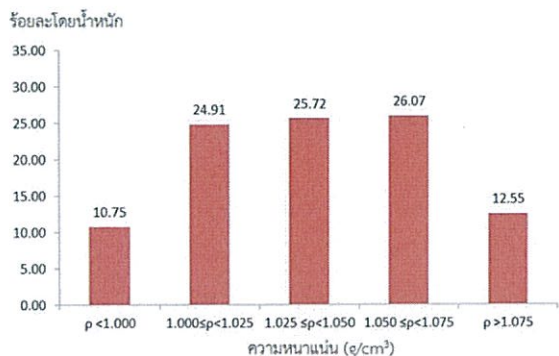
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ด

4.1.1 สัดส่วนโดยน้ำหนักของถั่วแยกตามกลุ่มความหนาแน่นจากวิธีลอยบนสารละลาย

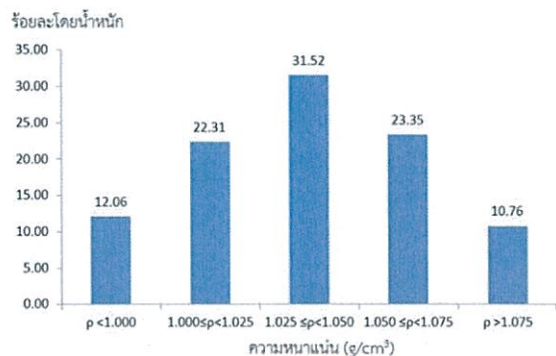
จากการทดลองคัดแยกตัวอย่างถั่วลิสงแต่ละล็อต ออกตามความหนาแน่นเป็น 5 ระดับ ได้แก่ $p < 1.000$, $1.000 \leq p < 1.025$, $1.025 \leq p < 1.050$, $1.050 \leq p < 1.075$ และ $p > 1.075$ g/cm³ โดยทดสอบ กับถั่วลิสง 5 ล็อต ที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน ตั้งแต่ 2.40-131.45 พีพีบี แสดงให้เห็นว่าถั่วลิสงแต่ละล็อต มีรูปแบบการกระจายสัดส่วนของเมล็ดความหนาแน่นต่างๆ ไม่เหมือนกัน (รูปที่ 4.1) โดยในล็อตที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินสูงมีสัดส่วนของเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำ ($p < 1.000$ g/cm³) อยู่มากกว่าในล็อตอื่นซึ่งมีการปนเปื้อนต่ำกว่า ดังในรูปที่ 4.1 (a)-(d) โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างล็อตที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินใกล้เคียงกัน (2.40, 3.11 และ 3.55 พีพีบี) จะพบว่าเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำ ($p < 1.000$ g/cm³) ใกล้เคียงกัน ดังปรากฏในรูปที่ 4.1 (a), (b) และ (c) มีสัดส่วนเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำ ($p < 1.000$ g/cm³) อยู่ในช่วงร้อยละ 10.07-11.45 โดยค่าสัดส่วนร้อยละของเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำ ($p < 1.000$ g/cm³) นี้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างล็อตที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินน้อย (2.40, 3.11 และ 3.55 พีพีบี) กับล็อตที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินปานกลาง (22.62 พีพีบี) และล็อตที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินมาก (131.45 พีพีบี) ซึ่งมีค่าสัดส่วนเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำ ($p < 1.000$ g/cm³) สูงถึงร้อยละ 17.79 และ 21.79 ตามลำดับ ดังแสดงในคอลัมน์แรกของตารางที่ 4.1 จากข้อสังเกตที่เมล็ดถั่วลิสงมีรูปแบบการกระจายตัวของความหนาแน่นแตกต่างกันนี้ ทำให้มีความเป็นไปได้ที่การคัดแยกถั่วลิสงตามระดับความหนาแน่น จะสามารถลดการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินเฉลี่ยของถั่วลิสงต่อล๊อตลงได้ ซึ่งสาเหตุที่รูปแบบการกระจายมีความแตกต่างกันอาจเป็นเพราะเมล็ดแต่ละเมล็ดในล็อตหรือถั่วเดียวกัน มิได้เหมือนกันหมดทุกเมล็ด แต่อาจมีความแตกต่างกันได้ในหลายประการ ทั้งคุณภาพทางเคมี และกายภาพ (รูปที่ 4.2) เกิดได้จากหลายปัจจัย อาทิเช่น การได้รับแรงกดทับหรือแรงกระแทก ความชื้น ความร้อน แมลงกัดกิน หรือเชื้อราเข้าทำลาย สิ่งเหล่านี้มิได้เกิดเท่ากันทุกเมล็ด แต่อาจเกิดขึ้นมากบ้างน้อยบ้าง จึงทำให้เมล็ดแต่ละเมล็ดมีคุณภาพแตกต่างกัน (ประนอม, 2547) สำหรับเมล็ดที่เก็บไว้นาน โอกาสที่เมล็ดจะมีความหนาแน่นต่ำลงได้ เนื่องจากเมล็ดยังคงเป็นเซลล์ที่ยังมีชีวิต มีกระบวนการเมตาบอลิซึม ตลอดเวลา มีการใช้สารอาหาร และน้ำในการหายใจ ทำให้มวลของเมล็ดน้อยลงเรื่อยๆ ส่งผลให้เมล็ดมีความหนาแน่นต่ำลง ในขณะที่เดียวกันเชื้อราก็มีการเจริญและสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินสะสมเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



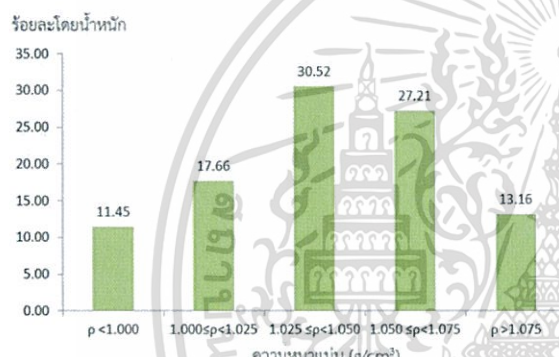
ถั่วลิสงลี้ยงที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน 3.10 ฟีซีพี

(a)



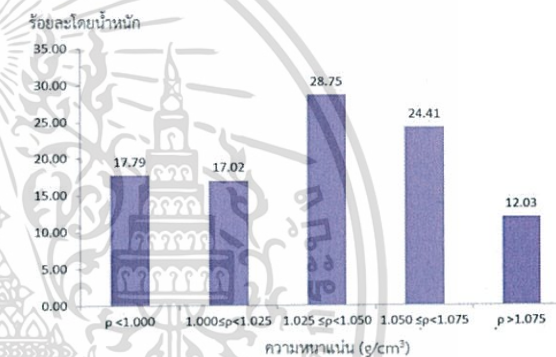
ถั่วลิสงลี้ยงที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน 2.4 ฟีซีพี

(b)



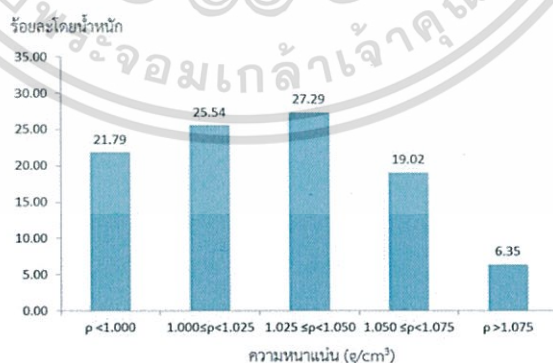
ถั่วลิสงลี้ยงที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน 3.55 ฟีซีพี

(c)



ถั่วลิสงลี้ยงที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน 22.62 ฟีซีพี

(d)



ถั่วลิสงลี้ยงที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน 131.45 ฟีซีพี

(e)

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของเมล็ดถั่วลิสงแยกตามความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนโดยน้ำหนักของถั่วที่แยกได้ในแต่ละกลุ่มความหนาแน่นคิดเป็นร้อยละ จากการคัดแยกด้วยวิธีลอยบนสารละลายเกลือ

ตัวอย่าง/ลือต อะฟลาทอกซิน (พีพีบี)	สัดส่วนร้อยละแยกตามระดับความหนาแน่น (g/cm ³)					รวม
	$\rho < 1.000$	$1.000 \leq \rho < 1.025$	$1.025 \leq \rho < 1.050$	$1.050 \leq \rho < 1.075$	$\rho \geq 1.075$	
2.40	^A 12.06±0.4 ^a	^B 22.31±0.26 ^b	^C 31.52±0.76 ^c	^B 23.35±1.86 ^b	^B 10.76±0.45 ^a	100
3.10	^A 10.75±0.88 ^a	^C 24.91±2.20 ^b	^A 25.72±0.22 ^b	^B 26.07±1.55 ^b	^C 12.55±1.75 ^a	100
3.55	^A 11.45±3.12 ^a	^A 17.66±0.53 ^b	^C 30.52±1.27 ^c	^B 27.21±4.3 ^c	^C 13.16±0.62 ^{ab}	100
22.62	^B 17.79±0.66 ^b	^A 17.02±0.54 ^b	^B 28.75±0.94 ^d	^B 24.41±0.23 ^c	^{BC} 12.03±0.49 ^a	100
131.45	^C 21.79±0.90 ^c	^C 25.54±0.58 ^d	^B 27.29±0.74 ^c	^A 19.02±1.21 ^b	^A 6.35±0.64 ^a	100

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน อักษร A,B หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในแนวตั้ง
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน อักษร a,b หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในแนวนอน

ลักษณะ	จมนเร็ว		จมนช้า		ลอย	
	ภาพภายนอกเมล็ด	ภาพเมล็ดผ่าครึ่ง	ภาพภายนอกเมล็ด	ภาพเมล็ดผ่าครึ่ง	ภาพภายนอกเมล็ด	ภาพเมล็ดผ่าครึ่ง
สมบูรณ์						
ลีบผ่อ						
สีผิดปกติ						
เสียหาย						
ขึ้นรา						

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะภายนอกและภายในของเมล็ดถั่วลิสง ที่มีลักษณะการจมน้ำแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณอะฟลาทอกซิน

จากผลทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น และปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ด พบว่า ความหนาแน่น และปริมาณอะฟลาทอกซินสะสมทั้งลีด ที่แตกต่างกัน มีอิทธิพลต่อปริมาณ อะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเมล็ดที่มีความ หนาแน่นต่ำจะมีอะฟลาทอกซินปนเปื้อนมากกว่าในเมล็ดที่มีความหนาแน่นสูง และระหว่างเมล็ดที่ มีความหนาแน่นเท่ากัน เมล็ดถั่วลิสงจากลีดที่มีอะฟลาทอกซินสูง จะมีอะฟลาทอกซินปนเปื้อน มากกว่าเมล็ดจากลีดที่มีอะฟลาทอกซินสะสมต่ำ จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ถั่วลิสงลีดที่มี อะฟลาทอกซินต่ำ (2.40, 3.11 และ 3.55 พีพีบี) มีค่าการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเมล็ดต่ำและมี ค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 5 ระดับความหนาแน่น โดยมีค่าการปนเปื้อนอยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ (ND) ถึง 3.95 พีพีบี (แถวที่ 1-3 ของตารางที่ 4.2) ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัย ตามที่กฎหมายกำหนดที่ 20 พีพีบี ก่อนข้างมาก ในถั่วลิสงลีดที่มีอะฟลาทอกซินปานกลาง (22.62 พีพีบี) พบว่าเมล็ดถั่วลิสงทั้ง 5 ระดับความหนาแน่นมีค่าการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเมล็ดที่มีอะฟลา ทอกซินสูงที่สุด คือเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ (154.50 พีพีบี) รองลงมาคือ เมล็ดความหนาแน่นในช่วงถัดไป $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ (76.85 พีพีบี), $\rho \geq 1.075 \text{ g/cm}^3$ (21.85 พีพีบี), $1.050 \leq \rho < 1.075 \text{ g/cm}^3$ (7.50 พีพีบี) และ $1.025 \leq \rho < 1.050 \text{ g/cm}^3$ (4.50 พีพีบี) ตามลำดับ ส่วนถั่วลิสงลีดที่มีอะฟลาทอกซินสูง (131.45 พีพีบี) มีลักษณะการกระจายของระดับการปนเปื้อน ในลักษณะเดียวกันกับถั่วลิสงลีดที่มีอะฟลาทอกซินปานกลาง (22.62 พีพีบี) แต่มีระดับการ ปนเปื้อนสูงกว่าในทุกระดับความหนาแน่น (แถวที่ 4 และ 5 ของตารางที่ 4.2) โดยเมล็ดที่มีอะฟลา ทอกซินสูงที่สุดคือเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำ $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ (154.50 พีพีบี) รองลงมาคือเมล็ดความ หนาแน่นในช่วงถัดไปคือ $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ (76.85 พีพีบี), $\rho \geq 1.075 \text{ g/cm}^3$ (21.85 พีพีบี), $1.050 \leq \rho < 1.075 \text{ g/cm}^3$ (7.50 พีพีบี) และ $1.025 \leq \rho < 1.050 \text{ g/cm}^3$ (4.50 พีพีบี) ตามลำดับ

การที่พบว่าเมล็ดความหนาแน่นต่ำ มีปริมาณอะฟลาทอกซินสูง ในการทดลองนี้ สอดคล้อง กับรายงานของ วนิตา (2551) ซึ่งอธิบายว่า ถั่วลิสงที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำและลอยบนผิวน้ำ เป็นถั่วที่มีลักษณะเน่าเสีย หรือลึบฟ่อ มีช่องว่างภายในเมล็ดมากกว่าเมล็ดสมบูรณ์ที่จมน้ำ เชื้อรา เจริญและสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน ส่วนเมล็ดจมน้ำส่วนใหญ่เป็นเมล็ดสมบูรณ์ เมล็ดเต็ม จึง มีอะฟลาทอกซินต่ำกว่า ส่วนผลที่ปรากฏในตัวอย่างลีดที่มีอะฟลาทอกซินสูง (154.50 และ 21.85 พีพีบี) ที่พบว่าเมล็ดกลุ่มความหนาแน่น $\rho \geq 1.075 \text{ g/cm}^3$ มีอะฟลาทอกซินปนเปื้อนสูงกว่า เมล็ด กลุ่ม $1.050 \leq \rho < 1.075 \text{ g/cm}^3$ และ $1.025 \leq \rho < 1.050 \text{ g/cm}^3$ นั้นเป็นเพราะเมล็ดที่จมน้ำบางส่วนเป็น เมล็ดที่มีลักษณะไม่สมบูรณ์ เช่น แตกหัก แผลงกัตะ เชื้อหุ้มเมล็ดหลุดออกไป (ภาพ 4.2) โดย ลักษณะเหล่านี้ทำให้น้ำสามารถซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดได้ง่าย ส่งผลให้เมล็ดสามารถจมลงในสารละลาย

ความเข้มข้นสูงได้ และเมล็ดลักษณะผิดปกตินี้มักมีอะฟลาทอกซินเป็นปนเปื้อนจำนวนมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(สุคาทิตย ๕๕๕๕ และคณะ, 2554) จึงทำให้ปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วกลุ่มนี้สูงขึ้น แต่ด้วยจำนวนเมล็ดที่มีปริมาณไม่มาก จึงส่งผลต่อปริมาณอะฟลาทอกซินสะสมรวมทั้งถั่วไม่มากนัก

จากผลผลการศึกษา สักส่วนโดยน้ำหนักของถั่วที่แยกได้ในแต่ละกลุ่มความหนาแน่นคิดเป็นร้อยละใน (ตารางที่ 4.1) และ ปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงแยกตามความหนาแน่น จึงได้จำแนกคุณภาพเมล็ด (ตารางที่ 4.2) ถั่วลิสงโดยใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์ ได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่

กลุ่มที่ 1 เมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ($\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$) เมล็ดส่วนใหญ่เป็นเมล็ดที่มีลักษณะเน่าเสีย มีอะฟลาทอกซินปนเปื้อนมากที่สุด อยู่ในช่วง 2.85-454.65 พีพีบี แต่เป็นกลุ่มที่มีจำนวนน้อยที่สุด ร้อยละ 12.06-21.79 ของจำนวนเมล็ดทั้งหมด

กลุ่มที่ 2 เมล็ดมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย ($1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$) เป็นเมล็ดที่มีลักษณะเสียและดีปนกัน มีอะฟลาทอกซินปนเปื้อน อยู่ในช่วง 1.60-89.60 และมีจำนวนร้อยละ 22.31-25.54 ของจำนวนเมล็ดทั้งหมด

กลุ่มที่ 3 มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ($\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$) ส่วนใหญ่เป็นเมล็ดเต็มสมบูรณ์ พบเมล็ดลักษณะผิดปกติปนเปื้อนเล็กน้อย มีอะฟลาทอกซินปนเปื้อน อยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ-18.58 พีพีบี และกลุ่มเมล็ดที่มีจำนวนมากที่สุด ร้อยละ 52.66 - 70.89

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงแยกตามความหนาแน่น

ตัวอย่าง/ล็อต	อะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่มีระดับความหนาแน่น (g/cm ³)				
	$p < 1.000$	$1.000 \leq p < 1.025$	$1.025 \leq p < 1.050$	$1.050 \leq p < 1.075$	$p \geq 1.075$
2.40	2.85±0.35 ^a	1.60±0.57 ^a	ND	ND	ND
3.10	3.80±0.14 ^a	2.55±0.35 ^a	ND	ND	1.4±0.00 ^a
3.55	3.95±0.07 ^a	1.00±1.41 ^a	0.09±0.13 ^a	ND	0.50±0.71 ^a
22.62	154.50±43.70 ^d	76.85±4.45 ^{bc}	7.50±2.55 ^a	4.50±0.71 ^a	21.85±0.07 ^{ab}
131.45	454.65±89.73 ^e	89.60±2.40 ^b	16.45±2.05 ^a	9.05±0.07 ^a	56.25±0.92 ^{abc}

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ND=ตรวจไม่พบอะฟลาทอกซิน

4.2 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่น

4.2.1 หลักการทำงานของอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นด้วยน้ำ

วิธีคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นนี้ใช้หลักการฟลูอิดไดซ์เบด โดยอาศัยคุณสมบัติความหนาแน่น (ความถ่วงจำเพาะ) ของเมล็ดและความเร็วปลายในการออกแบบ โดยมีหลักการทำงานดังนี้

เมื่อเปิดปั้มน้ำกระแสน้ำจะไหลไปใน 2 ทิศทาง ได้แก่

1) ที่ชุดหัวจ่ายน้ำซึ่งมีทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งทำหน้าที่สร้างแรงดันน้ำในระนาบเดียวกัน พัดให้เมล็ดถั่วลิสงเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายของถัง โดยเมล็ดที่มีความหนาแน่นสูงจะเคลื่อนที่ได้ไม่ไกล เพราะมีแรงเคลื่อนที่ในแนวตั้งสูงกว่าเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งจะเคลื่อนที่ออกไปได้ไกลกว่า ส่วนเมล็ดที่ไม่จมน้ำก็จะถูกพัดลอยไปที่ช่องคัดแยกที่ 3

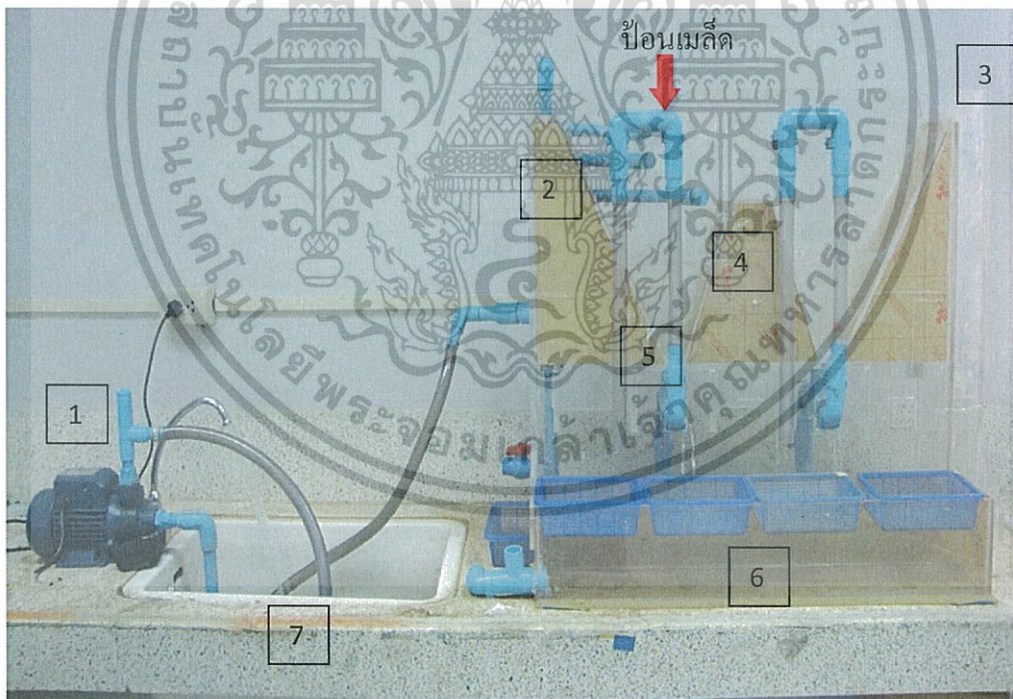
2) ที่ได้ช่องคัดแยกที่ 1 น้ำจะไหลจากด้านบนของถังขึ้นมาในด้วยหลักการฟลูอิดไดซ์เบด (รูปที่ 4.6) โดยมีจุดประสงค์เพื่อคัดกรอง ให้มีเฉพาะเมล็ดที่มีความถ่วงจำเพาะสูงเท่านั้นที่จะสามารถจมลงสู่ก้นถังในส่วนนี้ได้ ส่วนเมล็ดที่เบากว่าจะถูกแรงดันน้ำพัดกลับไป ซึ่งความแรงของแรงดันน้ำทั้งสองส่วนสามารถปรับได้โดยหมุนวาล์ว

เมล็ดที่ตกในช่องคัดแยกที่ 1 และ 2 จะตกลงไปในท่อลำเลียง และได้รับแรงดันน้ำจากภายใต้กันดั้มซึ่งสูงกว่าแรงดันน้ำด้านบน เมล็ดถั่วลิสงจะไหลไปตามกระแสน้ำและออกทางปลายท่อ ซึ่งมีตะแกรงรองรับ (รูปที่ 4.6) ส่วนเมล็ดที่ไม่จมน้ำจะไหลไปบอทางช่องที่ 3 ซึ่งมีตะแกรงรองรับเช่นกัน โดยอุปกรณ์ที่ได้รับการออกแบบนี้ มีความสามารถในการคัดแยก ในอัตรา 12 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยเมล็ดที่ถูกป้อนเข้าสู่เมล็ดจะถูกคัดแยกออกทางช่องต่างๆ เป็นเวลาประมาณ 2 นาที

4.2.2 ส่วนประกอบของอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นด้วยน้ำ

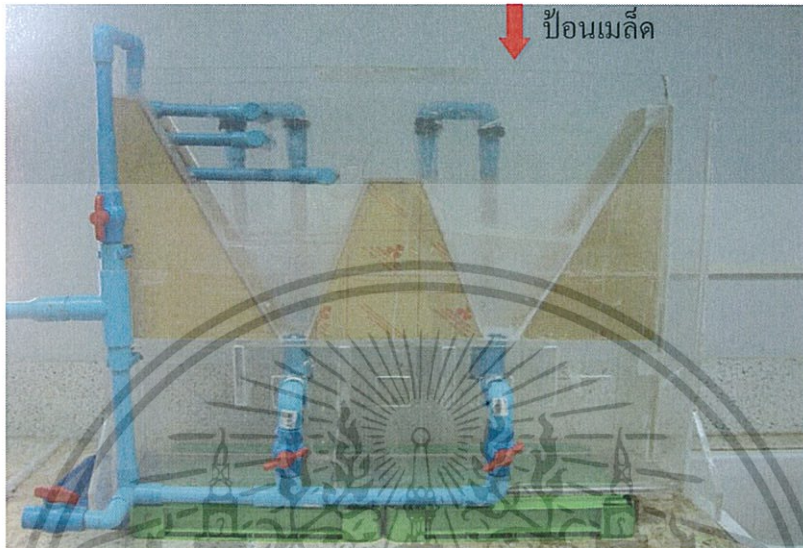
อุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่น ถูกออกแบบให้มีตัวถังขนาดขนาด 120 x 80 เซนติเมตร ส่วนประกอบหลักของอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นด้วยน้ำ ประกอบด้วย

- 1) ปั๊มน้ำขนาด 50 L/min
- 2) หัวจ่ายน้ำ 3 หัว
- 3) ตัวถัง
- 4) แผงกั้นเมล็ด
- 5) ชุดท่อลำเลียงเมล็ด
- 6) ตะแกรงรองรับเมล็ดถั่วลิสง
- 7) อ่างพักน้ำ

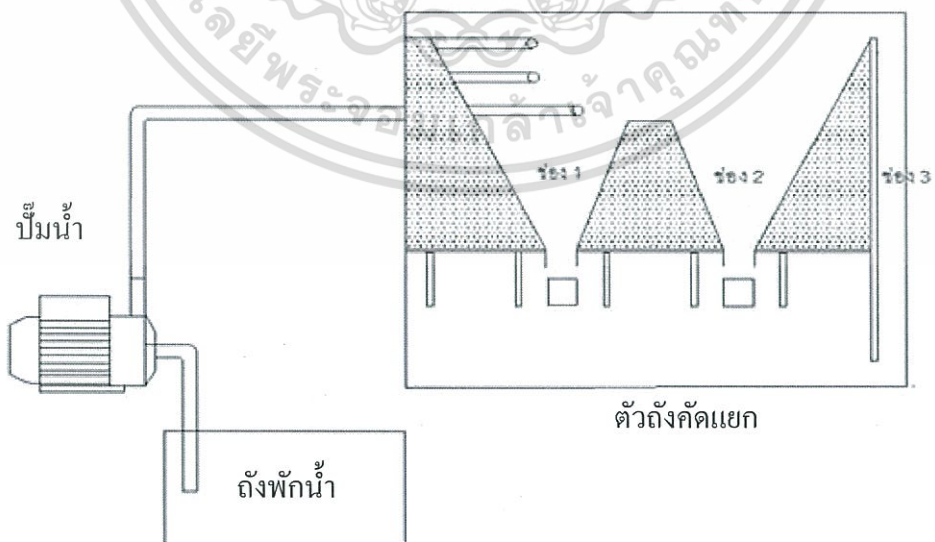


รูปที่ 4.3 อุปกรณ์และส่วนประกอบของอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยน้ำ (ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

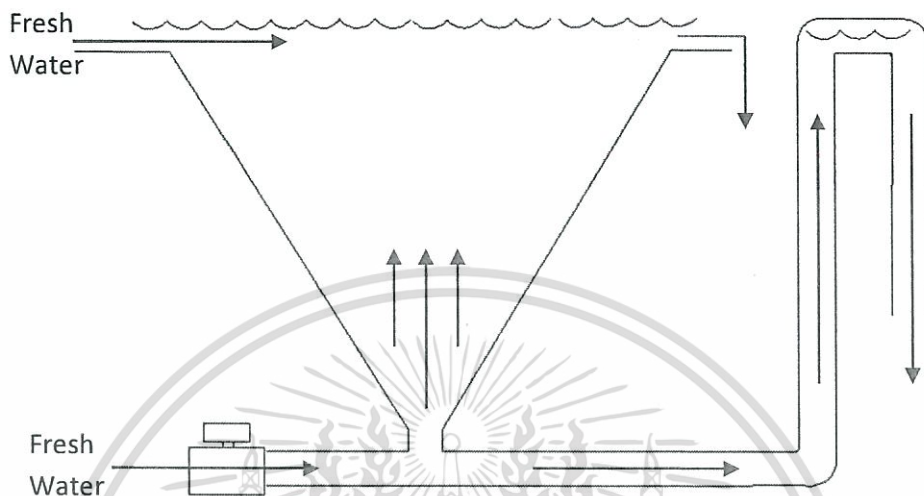


รูปที่ 4.4 อุปกรณ์และส่วนประกอบของอุปกรณ์ตัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยน้ำ (ด้านหลัง)



รูปที่ 4.5 ภาพไดอะแกรมแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ตัดแยกเมล็ดถั่วลิสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องคัดแยกที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพวิธีการคัดแยก

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงโดยใช้เมล็ดถั่วลิสงที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน 3 ระดับคือ $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$, $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ และ $\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$ พบว่าอุปกรณ์คัดแยกที่พัฒนาขึ้นนี้ ให้ผลความความแม่นยำในการคัดเมล็ดถั่วลิสงออกตามกลุ่มความหนาแน่นเฉลี่ยร้อยละ 84.02 โดยมีประสิทธิภาพการคัดแยก เมล็ดความหนาแน่นต่างๆ ดังนี้ เมล็ดกลุ่ม $\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$ ตกในช่องที่ 1 ร้อยละ 90.24 ส่วนเมล็ดกลุ่ม $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ ตกในช่องที่ 2 ร้อยละ 67.15 และ เมล็ดกลุ่ม $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ ตกในช่องที่ 3 ร้อยละ 94.67 (ตารางที่ 4.3)

การที่เมล็ดความหนาแน่นสูง ($\rho \geq 1.025$ และ $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$) จมลงและตกในช่องที่ 1 และ 2 เป็นลำดับ เพราะเมล็ดมีค่าความความหนาแน่นสูง และมีความเร็วปลายในน้ำสูงทำให้มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเร็วพอที่จะจมลงก่อนถูกแรงดันน้ำจากหัวจ่ายน้ำพัดไปยังช่องที่ 2 ส่วนเมล็ด $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยบนผิวน้ำและถูกพัดลอยไปออกในช่องคัดแยกที่ 3 แต่การที่มีเมล็ด $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ บางส่วนจมและตกในช่องที่ 2 และ 3 นั้นอาจเป็นผลเนื่องจากเมล็ดเหล่านั้นมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นของน้ำมาก เมื่อได้รับแรงปั่นป่วนของกระแสภายในตัวถัง พัดพาเมล็ดให้จมลงใต้ผิวน้ำ เมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นของน้ำมากส่วนใหญ่จะลอยกลับขึ้นไปบนผิวน้ำ แต่เมล็ดบางส่วนมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นของน้ำมาก เมื่อได้รับแรงดันน้ำด้านบนกดเมล็ดให้จมลงอย่างช้าๆ ส่วนสาเหตุที่เมล็ดความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ แต่กลับลอยไปตกในช่องที่ 3 นั้นอาจเป็นผลเนื่องจากการที่หัวจ่ายกระแสน้ำ มีฟองอากาศออกมาพร้อมกับการไหลของน้ำ ฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้เมื่อไปจับกับเมล็ดถั่ว โดยเฉพาะเมล็ดที่มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำ จะส่งผลทำให้เมล็ดมีแรงลอยตัวสูงขึ้นและลอยในน้ำได้นานขึ้น (รูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.7 การเคลื่อนที่ของเมล็ดถั่วลิสงระหว่างคัดแยก



รูปที่ 4.8 ลักษณะของฟองอากาศจับกับเมล็ดถั่วลิสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดตามความหนาแน่น
(อัตราการไหลของน้ำ 16 ลิตร/นาที และ แฉกกันเมล็ดสูง 25 ซม.)

ความหนาแน่น ของเมล็ดถั่วลิสง	ร้อยละการตกของเมล็ดถั่วลิสงในช่องต่าง			รวม
	ช่อง 1	ช่อง 2	ช่อง 3	
$\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$	90.24±3.05	7.14±3.71	2.62±0.66	100
$1.000 \geq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$	14.80±1.56	67.15±0.13	18.05±1.69	100
$\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$	1.33±0.58	4.00±1.00	94.67±0.58	100

หมายเหตุ ช่องสี่ที่บหมายถึงตำแหน่งที่คาดหมายให้เมล็ดความหนาแน่นต่างๆตกในช่องนี้นั้นๆ

4.3 การคัดแยกถั่วลิสงตามสมบัติความหนาแน่นด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

4.3.1 สัดส่วนโดยน้ำหนักของถั่วแยกตามกลุ่มความหนาแน่น เมื่อคัดแยกด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

จากการทดลองคัดแยกเมล็ดถั่วลิสง ทั้ง 5 ถี้อต ที่มีการปนเปื้อนอะพลาทอกซิน ตั้งแต่ 2.40-131.45 พีพีบี ด้วยอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นที่พัฒนาขึ้น ซึ่งออกแบบให้มีช่องสำหรับให้เมล็ดถูกลำเลียงออกมา 3 จุด โดยคาดหวังให้เมล็ดความหนาแน่นสูง ($\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$) ตกในช่องที่ 1 เมล็ดกลุ่มความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย ($1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$) ตกในช่องที่ 2 และเมล็ดกลุ่มความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ($\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$) ลอยออกมาทางช่องที่ 3 หลังจากการทดลอง เมื่อเมล็ดที่คัดแยกได้มาทำการชั่งน้ำหนัก และคำนวณสัดส่วนคิดเป็นร้อยละของเมล็ดที่ตกในช่องทั้ง 3 ของอุปกรณ์คัดแยก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 และเมื่อนำผลที่ปรากฏไปเปรียบเทียบกับ ผลสัดส่วน โดยน้ำหนักของเมล็ดถั่วลิสงแยกตามความหนาแน่นจากวิธีลอยบนสารละลายเกลือ (ตารางที่ 4.1) พบว่าวิธีการทั้งสองมีสัดส่วนของเมล็ดทั้ง 3 กลุ่ม ที่ใกล้เคียงกัน โดยเมล็ดกลุ่มความหนาแน่นสูง มีสัดส่วนพบในถั่วลิสงถี้อตปนเปื้อนอะพลาทอกซิน 2.40, 3.10, 3.55, 22.62 และ 131.45 พีพีบี จากวิธีคัดแยกด้วยสารละลายเกลือ ($\rho \geq 1.050 \text{ g/cm}^3$) และจากวิธีคัดด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น (ตกช่องที่ 1) เป็น 65.63% และ 68.28%, 64.34% และ 69.10%, 70.89% และ 71.86%, 65.19% และ 65.02%, 52.67% และ 60.10% ตามลำดับ เมล็ดกลุ่มความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย มีสัดส่วนพบในถั่วลิสงถี้อตปนเปื้อนอะพลาทอกซิน 2.40, 3.10, 3.55, 22.62 และ 131.45 พีพีบี จากวิธีคัดแยกด้วยสารละลายเกลือ ($1.000 \leq \rho < 1.025$) และจากวิธีคัดด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น (ตกช่องที่ 2) เป็น 22.31% และ 17.94%, 24.91% และ 16.12%, 17.66% และ 12.24%, 17.02% และ 15.83%, 25.54% และ 17.26% ตามลำดับ ส่วนเมล็ดกลุ่มความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ มีสัดส่วนพบในถั่วลิสงถี้อตปนเปื้อนอะพลาทอกซิน 2.40, 3.10, 3.55, 22.62 และ 131.45 พีพีบี จากวิธีคัดแยกด้วยสารละลายเกลือ ($\rho < 1.000$) และจากวิธีคัดด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น (ตกช่องที่ 3) เป็น 12.06% และ 13.78%, 10.75% และ 14.78%, 11.45% และ 15.90%, 17.79% และ 19.15%, 21.79% และ 22.65% ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นที่พัฒนาขึ้นสามารถคัดแยกเมล็ดได้ใกล้เคียงกับ วิธีการคัดแยกด้วยการลอยบนสารละลายเกลือ โดยเฉพาะถั่วลิสงในกลุ่มที่ความหนาแน่นสูงและกลุ่มความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดทั้ง 2 กลุ่มมีสมบัติความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างชัดเจน การพัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถแยกเมล็ดทั้งสองกลุ่มจึงสามารถทำได้ง่าย ส่วนถั่วลิสงกลุ่มความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย วิธีทั้งสองมีผลแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยการคัดแยกด้วยอุปกรณ์คัดแยก มีปริมาณเมล็ดในกลุ่มนี้น้อยกว่าการคัดแยกด้วยการลอยบนสารละลายเกลือในทุกตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดกลุ่มนี้มีสมบัติความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับทั้งกลุ่มความหนาแน่นสูง และกลุ่มความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ การออกแบบอุปกรณ์ให้

สามารถคัดเมล็ดกลุ่มนี้ออกมาได้จึงทำได้ลำบาก สอดคล้องกับผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง ใน ตารางที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการคัดแยกเมล็ดด้วยอุปกรณ์คัดแยกที่พัฒนาขึ้นนี้ นอกจากจะเกิดจากลักษณะการทำงานของอุปกรณ์แล้ว ยังอาจเกิดจาก การเปลี่ยนแปลงความ ถ่วงจำเพาะของเมล็ด ซึ่งเป็นผลมาจากการซึมของน้ำเข้าไปในเมล็ด โดยเมล็ดถั่วเมื่อแช่น้ำระยะ หนึ่ง จะมีความหนาแน่นปรากฏเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่ในช่องว่าง ผ่านทางรอยแตกหรือ แผลบนผิว ทำให้เมล็ดมีความถ่วงจำเพาะสูงเทียบเท่าหรือสูงกว่าน้ำ ส่งผลให้เมล็ดจมเร็วขึ้น (Teotia และ Ramakishna, 1989)

4.3.2 ปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงหลังการคัดแยกด้วยอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดตาม ความหนาแน่น

ในการทดลองคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงที่มีปริมาณอะฟลาทอกซินสะสมเริ่มต้น แตกต่างกัน 5 ลีต (2.4, 3.10, 3.55, 22.65 และ 131.45 พีพีบี) ด้วยวิธีแยกตามคุณสมบัติความหนาแน่นที่ พัฒนาขึ้น ซึ่งอุปกรณ์จะแยกเมล็ดออกเป็น 3 กลุ่มตามความหนาแน่นคือ $\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$ ตกใน ช่องที่ 1 กลุ่ม $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ ตกในช่องที่ 2 และ กลุ่ม $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ ลอยไปตกช่องที่ 3 หลังการทดลองพบว่าเมล็ดที่ถูกคัดแยกออกมาจากช่องต่างๆ มีปริมาณอะฟลาทอกซินแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสำหรับถั่วลิสงลีตที่มีอะฟลาทอกซินปนเปื้อนต่ำ (2.40, 3.11 และ 3.55 พีพีบี) เมล็ดที่ถูกคัดแยกออกมาจากช่องคัดแยกต่างๆ มีค่าอะฟลาทอกซินต่ำ ใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ (ND) - 4.35 พีพีบี ในขณะที่ถั่วลิสงลีตที่มีอะฟลาทอกซิน ปานกลาง 22.62 พีพีบี เมล็ดที่ตกในช่องที่ 1 ไม่พบการปนเปื้อน (ND) เมล็ดในจากช่องที่ 2 มีอะฟลาทอกซินในปริมาณต่ำ 5.90 พีพีบี ส่วนเมล็ดลอยพบอะฟลาทอกซินสูง 181.55 พีพีบี ส่วนเมื่อ ทดลองกับถั่วลิสงลีตที่มีอะฟลาทอกซินสะสม 131.45 พีพีบี ที่พบว่าเมล็ดที่ตกในแต่ละช่องมีอะฟลาทอกซิน แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเมล็ดที่ตกในช่องที่ 1 ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน เมล็ดที่ตกในช่องที่ 2 พบการปนเปื้อน 16.85 พีพีบี ส่วนเมล็ดที่ลอยออกจากช่องที่ 3 พบการ ปนเปื้อนในระดับสูง คือ 288.60 พีพีบี

จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า วิธีการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถใช้ จำแนกเมล็ดถั่วลิสงออกตามความหนาแน่น และลดอะฟลาทอกซินลงได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ สอดคล้องกับ ผลการศึกษาหัวข้อ 4.1.2 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณอะฟลาทอกซิน คือเมล็ดถั่วลิสงที่ตกในช่องคัดแยกที่ 1 ได้เมล็ดถั่วลิสงที่มีความหนาแน่นสูง และมีค่า การปนเปื้อนต่ำ ส่วน เมล็ดที่ตกในช่องคัดแยกที่ 2 เป็นเมล็ดถั่วลิสงที่มีความหนาแน่นปานกลาง มีอะฟลาทอกซินอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ส่วนเมล็ดที่ลอยออกจากช่องคัดแยกที่ 3 เป็นเมล็ด ความหนาแน่นต่ำ มีอะฟลาทอกซินในระดับสูง นอกจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะฟลาทอกซินหลังการคัดแยกด้วย ระหว่างวิธีใช้สารละลายเกลือและอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น (ตารางที่ 4.2 และ ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4) พบว่าการใช้อุปกรณ์คัดแยกที่พัฒนาขึ้นมีผลลดอะฟลาทอกซินได้สูงกว่าวิธีใช้สารละลายเกลือ เหตุที่การใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น มีผลลดอะฟลาทอกซินได้มากกว่า นั้นเนื่องจากมีระบบการชะล้างของกระแสน้ำ ส่งผลให้สิ่งตกค้าง รวมทั้งอะฟลาทอกซินที่ติดอยู่กับเมล็ดถั่วหลุดออกไป (รูปที่ 4.7)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สกัดส่วนโดยน้ำหนักของถั่วแยกตามกลุ่มความหนาแน่นคิดเป็นร้อยละ จากการคัดแยกด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

ตัวอย่าง/ลีด	ช่องคัดแยกที่			รวม
	1	2	3	
อะฟลาทอกซิน (พีพีบี)				
2.40	68.28±1.70	17.94±0.74	13.78±0.95	100
3.80	69.10±0.33	16.12±1.11	14.78±0.78	100
3.95	71.86±1.58	12.24±0.78	15.90±0.79	100
22.65	65.02±0.30	15.83±0.84	19.15±1.14	100
131.45	60.10±0.96	17.26±1.48	22.65±0.52	100

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.5 ปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงหลังการคัดแยกด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น

ตัวอย่าง/ลีด	อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง(พีพีบี) จากอุปกรณ์คัดแยก		
	ช่อง1	ช่อง2	ช่อง3
อะฟลาทอกซิน(พีพีบี)			
2.40	ND	ND	ND
3.10	ND	0.55±0.78	3.60±2.26
3.55	ND	1.60±0.00	4.35±0.07
22.65	ND	5.90±3.57	98.45±5.73
131.45	ND	16.85±7.71	288.60±3.8

ND=ตรวจไม่พบอะฟลาทอกซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสง

จากการทดลองจำแนกเมล็ดถั่วลิสงออกตามความหนาแน่นเป็น 5 ระดับ ได้แก่ $\rho < 1.000$, $1.000 \leq \rho < 1.025$, $1.025 \leq \rho < 1.050$, $1.050 \leq \rho < 1.075$ และ $\rho > 1.075 \text{ g/cm}^3$ โดยทดสอบกับถั่วลิสง 5 ลีต ที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน ตั้งแต่ 2.40-131.45 พีพีบี พบว่าความหนาแน่นมีอิทธิพลต่อปริมาณอะฟลาทอกซินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำมีแนวโน้มพบอะฟลาทอกซินปนเปื้อนได้มากกว่าเมล็ดที่มีความหนาแน่นสูง และหากถั่วลิสง ถูกเก็บไว้เป็นเวลานาน มีลักษณะไม่สมบูรณ์ เน่าเสีย ก็เป็นอีกปัจจัยส่งเสริมให้เมล็ดมีอะฟลาทอกซินเพิ่มมากขึ้น และจากผลการศึกษา จึงสามารถจำแนก คุณภาพเมล็ดถั่วลิสงโดยใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์ ได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่

1. กลุ่มอันตราย เมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ($\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$) สามารถคัดออกได้โดยการลอยบนน้ำเปล่า ส่วนใหญ่เป็นเมล็ดที่มีลักษณะเน่าเสีย ภายในถั่วลิสงหนึ่งลีตจะพบเมล็ดกลุ่มนี้น้อยที่สุด ในถั่วลิสงหนึ่งลีตจะพบเมล็ดกลุ่มนี้อยู่ร้อยละ 12.06-21.79 แต่เป็นกลุ่มเมล็ดที่มีจำนวนอะฟลาทอกซินสะสมมากที่สุด

2. กลุ่มเสี่ยง เมล็ดมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย ($1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$) หากลอยบนน้ำเปล่าจะจมลงอย่างช้าๆ ประกอบไปด้วยเมล็ดเสียและเมล็ดดีปนกัน ในถั่วลิสงหนึ่งลีตจะพบเมล็ดกลุ่มนี้อยู่ร้อยละ 22.31-25.54 ปริมาณอะฟลาทอกซินของเมล็ดกลุ่มนี้ มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการปนเปื้อนของลีต ดังนั้นสำหรับถั่วลิสงลีตที่มีการปนเปื้อนสูงกว่า 20 พีพีบี หรือ มีลักษณะเน่าเสียอย่างชัดเจน ควรหลีกเลี่ยงในการนำมาบริโภคในระดับครัวเรือน แต่อาจสามารถนำไปสกัดเป็นน้ำมันสำหรับบริโภคได้โดยต้องมีกระบวนการ Refine น้ำมันให้บริสุทธิ์

3. กลุ่มปลอดภัย มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ($\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$) หากปล่อยลงบนน้ำเปล่าจะจมลงอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่เมล็ดมีลักษณะ ดี เต็ม และ สมบูรณ์ พบเมล็ดลักษณะผิดปกติบ้างเล็กน้อย เป็นกลุ่มเมล็ดที่มีมากที่สุดลีต คือคิดเป็นร้อยละ 52.66 - 70.89 แต่มีปริมาณอะฟลาทอกซินต่ำที่สุด มีปริมาณอะฟลาทอกซินอยู่ในช่วง ตรวจไม่พบ-18.58 พีพีบี สามารถนำไปประกอบอาหารได้อย่างปลอดภัย

สำหรับการคัดเมล็ดถั่วลิสงในภาคครัวเรือน เมล็ดถั่วลิสงลีตที่มีลักษณะใหม่สมบูรณ์ มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินต่ำ เมล็ดทุกกลุ่มมีอะฟลาทอกซินปนเปื้อนในระดับต่ำใกล้เคียงกัน สามารถนำไปบริโภคได้อย่างปลอดภัย แต่สำหรับถั่วลิสงที่มีลักษณะผิดปกติ เช่น สีคล้ำ เชื้อหุ้ม

บนสารละลายความหนาแน่น 1.025 g/cm^3 หรือ สารละลายเกลือเข้มข้น 4% (เกลือแกง $2 \frac{2}{3}$ ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 1 ลิตร) จะสามารถดอะฟลาทอกซินลงได้ถึงระดับปลอดภัย

5.2 การพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่น

จากการนำข้อมูล เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ด (ข้อ 4.1) มาออกแบบอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสง ได้ผลเป็นอุปกรณ์ที่สามารถคัดแยกเมล็ดถั่วลิสง อัตรา 10 กิโลกรัม/ชั่วโมง และมีค่าความสำเร็จในการแยกเมล็ดถั่วลิสง ทั้ง 3 กลุ่ม คือ $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ (กลุ่มอันตราย) $1.000 \geq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ (กลุ่มเสี่ยง) และ $\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$ (กลุ่มปลอดภัย) เป็น 94.67% , 67.15% และ 90.24% ตามลำดับ

5.3 การคัดแยกถั่วลิสงตามสมบัติความหนาแน่นด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

การคัดแยกถั่วลิสงตามสมบัติความหนาแน่นด้วยให้ผลดอะฟลาทอกซิน ได้สูงกว่าวิธีการลอยบนสารละลายเกลือ เนื่องมีระบบการไหลของน้ำช่วยในขจัดสิ่งสกปรกออกไป จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ในขั้นตอนก่อนการทำความสะอาดและการคัดแยก ก่อนการแปรรูปถั่วลิสง เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ฟีนทาบัตเตอร์ ซอสจากถั่วลิสง โปรตีนจากถั่วลิสง เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการให้ความรู้แก่ประชาชนโดยทั่วไปให้ตระหนักถึง ผลร้ายของอะฟลาทอกซิน เพื่อประโยชน์แก่ผู้บริโภคในการหลีกเลี่ยงภาวะอันเกิดจากอาหาร โดยให้ความรู้ประชาชนในวิธีคัดเลือกถั่วลิสงสำหรับบริโภค โดยการกำจัดเมล็ดที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะฟลาทอกซิน โดยอาศัยหลักการคัดแยกอย่างง่าย เช่นการเลือกถั่วที่ลอยน้ำเกลือออกทิ้ง โดยอาจมีการจัดทำคู่มือวิชาการและอบรมผู้ผลิต เรื่องการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซิน และการคัดเลือกวัตถุดิบ การเก็บรักษา วิธีการคัดแยก นอกจากนี้อาจมีการศึกษาการนำถั่วลิสงหลังการคัดแยก ที่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในปริมาณสูง ไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นที่ไม่ใช่การนำมาบริโภค เช่น การนำไปใช้ผลิตน้ำมัน ไบโอดีเซล หรือการแปรรูปอื่น ๆ โดยไม่นำมาใช้เป็นอาหาร

วิธีการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสง โดยใช้คุณสมบัติความหนาแน่น ที่ถูกพัฒนาขึ้นในการทดลองครั้งนี้ นอกจากใช้คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงแล้วยังสามารถประยุกต์ใช้กับผลิตผลทางการเกษตร อื่นๆได้ เช่น พริกแห้ง ถั่วลิสงเตา และ เมล็ดข้าวโพด เป็นต้น โดยการปรับแรงดันและอัตราการไหลของน้ำ ให้มีความเหมาะสม นอกจากนี้ยังอาจปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพได้มากขึ้น หากเพิ่มขนาดความยาว และขนาดของตัวถังเพื่อช่วยให้เมล็ดมีพื้นที่ในการถูกคัดแยก และลดปัญหาการไหลของน้ำแบบหมุนวน (turbulence) หรือหากต้องการจำแนกเมล็ดมากกว่า 3 กลุ่ม ก็ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนช่องคัดแยกตามจำนวนที่ต้องการ

สำหรับประโยชน์ แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นและปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ด ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมกับตัวอย่างจำนวนมากขึ้น เพื่อสามารถใช้ในการอธิบายได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2540. คู่มือวิชาการ อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. กรุงเทพฯ :

มปท. , 247 น

กระทรวงสาธารณสุข. 2529. เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. ประกาศฉบับที่ 98.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา, อมรา ชินภูติ และ นรินทร์ พุ่มศิโย. 2543. “การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่มี

ผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง” ใน

รายงานผลการวิจัยประจำปี : การเก็บรักษาและการใช้ประโยชน์จากถั่วลิสงที่มีการ

ปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินและคุณภาพและการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่ว

ลิสงดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ. กรุงเทพฯ, หน้า 14-20 (49 หน้า)

จินตนา อุปติสสกุล. 2526. “การใช้ประโยชน์ของถั่วลิสง” ในรายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ

งานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 3. ณ วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 21 เมษายน

จินตนา อุปติสสกุล เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และวิชัย หลุทัยธนาสันดี. 2534. “การปรับปรุงกรรมวิธีการ

ผลิตและคุณภาพของถั่วลิสงป่น.” หน้า 357-359. ใน รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ

งานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 10. ณ โรงแรมหินสวบน้ำใส จังหวัดระยอง 16-19 ตุลาคม

ทักษิณา ศันสยะวิชัย. 2540. การเกษตรและการป้องกันกำจัดอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง.

นักวิชาการเกษตร 7 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร, หน้า 91. คู่มือวิชาการ

อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. กรุงเทพฯ . 247 น.

ธรรมศักดิ์ สมมาตร. 2540. โรคถั่วลิสง. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 236 น.

ธีระยุทธ กลิ่นสุคนธ์ และ ชัยวัฒน์ ต่อสกุลแก้ว. 2524. แอฟลาทอกซิน สารพิษจากเชื้อราที่ทำให้

เกิดมะเร็งในตับ. ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

ประนอม ศรียสวัสดิ์. 2547. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ข้าวสารเมล็ดพันธุ์พืช ปีที่ 11

ฉบับที่ 3 ประจำเดือน พฤษภาคม - มิถุนายน 2547. กรุงเทพฯ.

ปานมนัส ศิริสมบุญ. 2538. สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ. มปท. , 271 น

พระราชบัญญัติ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (2529) เรื่องมาตรฐานอาหารมีสาร

ปนเปื้อน. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข

พวงทอง ยินอัสวพรรณ และ ลำดวน สุภา. 2527. การศึกษาอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง ใน

สภาพแวดล้อมของกสิกรใน รายงานความก้าวหน้าวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงคณะ

เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภูวนาด นนทรี. 2531. ถั่วลิสง โครงการหนังสือเกษตรชุมชน เกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ,

- มาลินีลิ้ม โภคา. 2520. สารพิษอฟลาทอกซิน Aflatoxin. พิษวิทยาและการวินิจฉัยโรคทางสัตว์แพทย์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จรัญสนิทวงศ์.
- ไมตรี สุทธจิตต์. 2531. สารพิษรอบตัวเรา. ภาควิชาเคมี คณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รณภพ บรรณเจตเชิดชู, กนิษฐ ชาวนา และ เรวัต เลิศฤทัยโยธิน. 2536. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่างๆ ของถั่วลิสงกับระดับการเกิดเชื้อรา *Aspergillus flavus* และปริมาณสารพิษอฟลาทอกซินในเมล็ด. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ลักขณา วงศ์หาญ, อัจฉรีย์อยู่พัชร และ โอบพงษ์ นิธิวานิชย์. 2544. การคัดแยกถั่วลิสงโดยใช้คุณสมบัติความเร็วปลาย. ปัญหาพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- วนิดายุรญาตี. 2551. อฟลาทอกซินตกค้างในผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงที่ผ่านการคัดแยกถั่วลิสงคิบด้วยน้ำ. วิทยานิพนธ์. สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหารคณะอุตสาหกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- วุฒิสักดิ์ บุตรธนู ทักษิณา คັນสยะวิชัย John I Pitt และ มณเฑียร โสมภีร์. 2540. ศึกษาการติดเชื้อรา *Aspergillus flavus* ในถั่วลิสงอายุต่าง ๆ กัน. รายงานการสัมมนาถั่วลิสงครั้งที่ 12 ณ โรงแรมเจริญไฮเต็ล จังหวัดอุดรธานี. 25-27 ตุลาคม 2537. หน้า 237-240
- สมศักดิ์ ดำรงเลิศ. 2528. ฟลูอิดไดเซชัน. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- สุดาทิพย์ แซ่ตัน. 2554. เสาวณีย์เลิศวรสิริกุล; เพ็ญขวัญ ชมปรีดา; วิชัย หลุทัยธนาสันต์ การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ ครั้งที่ 47 หน้า 719-726.
- อนงค์บัตินทวิหค. 2546. สารพิษจากเชื้อรา อะฟลาทอกซิน. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 327 น.
- อมราชินภูติ. 2547. การวิเคราะห์สารแอฟลาทอกซินโดยวิธี ELISA. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องการตรวจวิเคราะห์สารอฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์เกษตรอย่างรวดเร็วโดยใช้ชุดตรวจสอบสำเร็จรูป DOA- Aflatoxin ELISA Test Kit. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรกรรมวิชาการเกษตร.
- อรุณศรีวงศ์อุไร. 2537. ความสามารถในการสร้างอฟลาทอกซินของ *Aspergillus flavus*. จากดินในไร่ถั่วลิสง. หน้า 223. ในรายงานการสัมมนาเรื่องงานวิจัยถั่วลิสงครั้งที่ 12 จังหวัดอุดรธานี. 25-27 ตุลาคม.
- อัมพวันต้นสกุล. 2551. สมบัติทางวิศวกรรมของอาหารและวัสดุชีวภาพ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรันต์พัฒน์ โนนทัย. 2528. "อฟลาทอกซิน ปัญหาของถั่วลิสง" วารสารแก่นเกษตร. 1(3) : 1-5

อานนท์ วาทยานนท์ สงบภัย นามไพศาลสถิต ศรีประไพ ผาบจันดา บุญเพ็ง แลโสภา และมณฑิเชียร โสมภีร์. 2532. การศึกษาการเกิดเมสลิบลิบในถั่วลิสงที่มีสาเหตุมาจากลักษณะทางพฤกษศาสตร์บางประการของถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 และ C5B1” รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการงานวิจัยถั่วลิสง ณ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 20 มีนาคม

อุตสาหกรรม. 2544. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2070 เล่ม 2544 เรื่องข้อกำหนดวิธีปฏิบัติเพื่อควบคุมการปนเปื้อนของอฟลาทอกซินในถั่วลิสง. กระทรวงอุตสาหกรรม

Alpert, E. and Serck-Hanssen, A. 1970. Aflatoxin-induced hepatic injury in the African monkey. Arch. Environ. Health 20 (6): 723-8.

Aydin, C. 2007. Some engineering properties of peanut and kernel. Journal of food engineering 79 : 810

Benjamin Torun. 1990. Tropical and Geographical Medicine. 2nd ed. New York, McGraw-Hill.

Ceigler, A., S. Kadis and S.J. Ajl. 1971. Microbial Toxins. Vol.6 Fungal Toxins. Academic Press, New York.

Codex Alimentarius Commission. 2009. CODEX GENERAL STANDARD FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOODS (CODEX STAN 193-1995).

Dorner, J.W. and R.J. Cloe. 2002. Effect of application of nontoxigenic strains of *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus* on subsequent aflatoxin contamination of peanuts in storage. Journal of Stored Products Research. 38(4): 329-339.

EI Nezami, H.S., G.E. Nicoletti, D.C. Donohue and J.T. Ahokas 1995. Aflatoxin M1 in Human breast milk sample from Victoria, Australia and Thailand. Food Chem Toxicol.33: 173-179.

Feuell, A.J. 1966. “Aflatoxin in Groundnuts : IX Problems of Detoxication” Tropical Science 8 : 45 Franz Eugen Köhler. 1897. Köhler’s Medizinal-Pflanzen. Gera-Untermhaus.

Galvez, F.C.; Francisco, M.L.D.L.; Lustre, A.O. & Resurrecion, A.V.A. 2002. *Control of Aflatoxin in raw peanuts through proper manual sorting*. United States Agency for International Development, Peanut Collaborative Research Support Program, Project 04 (USA and Philippines), Monograph Series No. 3

Hartley, R. D. ; B. F. Nesbitt and J. O’Kelly. 1963. Toxic metabolite of *Aspergillus flavus*. Nature. No. 7 pp

- Huff., W.E. 1980. A physical method for the segregation of aflatoxincontaminated corn. *Cereal Chemistry*, Vol. , No. , pp
- Hwang Jun-Ho and Lee Kwang-Geun , 2005. Reduction of aflatoxin B1 contamination in wheat by various cooking treatments. *Food Chemistry*. Volume 98, Issue 1, Pages 71–75.
- Kirskey, J.W., Cole, R.J. and Dorner, J.W.1989. Relationship between aflatoxin content and buoyancy in florunnerpeanuts. *Peanut Sci*. 16: 48.
- Maxwell, S.M. and F. Apeageyi. 1989."Aflatoxin in breast milk, neonatal cord blood and sera of pregnant woman" *Toxical. Toxin Rev*.8: 19-29.
- Moss, M.O. 1994. *Mycotoxin Fungi*. In *Microbial Food Poisoning*. Chapman & Hall, London. pp. 73-91.
- Newberne, P.M. and G.N. Wogan. 1968. Srquential morphological changes in aflatoxin B1 carcinogenesis in the rat . *Cancer Res*. 28 : 770-781.
- Oyelemi, O.A.,S.M. Maxwell, A. Aladekomo and K.A. Adelusola. 1995. Two unusual cases of kwashiorkor: can protin deficiency explain the mystery. *Annals Trop . Paediat* 15 : 217-219
- Park, D.L., 2002. Effect of processing on aflatoxin. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 504, 173-179.
- Priyadashini, E. 1978. Relation Between Fungal growth and Aflatoxin Production in Variety of Maize and Groundnut, *J.Agriculture Food chemical*. 26 : 249-252.
- Samarajeewa, U., Sen, A.C., Cohen, M.D. and Wei, C.I. 1990. Detoxification of aflatoxins in foods and feeds by physical and chemical methods. *Journal of Food Protection* 53 : 489
- Sargeant, K., A. Sheridan, J. O'kelly, and R.B.A.Carnaghan. 1961. Toxicity associated with certainsamples of groundnuts. *Nature*, 192:1096-1097.
- Shank, R.C., Gordon, J.E and Wogan, GN. (1972) Dietary aflatoxins and human liver cancer.III. Field survey of rural Thai families for ingested aflatoxins. IV. Incidenceof primary liver cancer in two municipal populations of Thailand. *Food CosmetToxicol* 10:71-84, 171-179.
- Teotia M.S. ,Ramakrishna P. 1989. Densities of melon seeds kernels and hulls. *Journal of food engineering* 9 (2) : 231.

Temcharoen, P and Thilly, W.G. 1982. Removal of aflatoxin B1 toxicity but not

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า mutagenicity by 1 megarad gamma radiation of peanut meal. *Journal Food Safety* 4 : 199.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Uriah, N., Chipley, J. R. 1976. Effects of various acids and salts on growth and aflatoxin production by *Aspergillus flavus*. *Microbios* 17:51.
- Wogan, G.N. 1966. Chemical nature and biological effect of aflatoxins. *Bacteriology review*. Series No. 57, Chapter 14, pp. 195-215.
- Woodroof, J.G. 1983. Peanut, production, processing, product, 3 rd ed. The AVI Publishing Company, Inc., Westpott, Connecticut.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การพัฒนาอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงตามความหนาแน่นเบื้องต้น

เพื่อทดลองออกแบบลักษณะของอุปกรณ์คัดแยกถั่วลิสงตามความหนาแน่น ที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นภายในเมล็ดและปริมาณอะฟลาทอกซินมาใช้เป็นเกณฑ์จำแนกเมล็ด โดยทำการศึกษาปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับผลการคัดแยก 2 ปัจจัย ได้แก่ ความสูงแผงกั้นเมล็ด (20, 25 และ 30 cm) และอัตราการไหลของน้ำ (10, 13 และ 16 l/min) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลาย 2 ความหนาแน่นคือ 1.000 g/cm^3 (น้ำกลั่น) และ 1.025 g/cm^3 (สารละลายเกลือ 4% w/v)
2. เตรียมเมล็ดถั่วลิสงในการทดลอง
 - 2.1 นำเมล็ดถั่วลิสงดิบมาเคลือบด้วยแลคเกอร์สเปรย์ ฝุ่นให้ทั่วทั้งเมล็ด ปั่นให้แห้ง
 - 2.2 นำเมล็ดถั่วลิสงที่ผ่านการเคลือบแลคเกอร์แล้ว มาจำแนกตามความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธีลอยบนสารละลายเกลือ แยกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ กลุ่มที่สอง $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ และ กลุ่มที่สาม $\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$
3. นำเมล็ดถั่วลิสง กลุ่มละ 100 เมล็ด มาคัดแยกโดยกำหนดให้ ถั่วกลุ่มที่หนึ่ง ตกช่องที่ 1 ถั่วกลุ่มที่สอง ตกในช่องที่ 2 ส่วนกลุ่มที่สาม ตกในช่องที่ 3 ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ วัดผลโดยพิจารณาจากความแม่นยำในการคัดแยกดังสมการ

$$\text{ร้อยละความแม่นยำ} = \left(\frac{\text{จำนวนถั่วที่ตกถูกช่อง} / \text{จำนวนถั่วทั้งหมด}}{\text{จำนวนถั่วทั้งหมด}} \right) \times 100$$

ผลการทดสอบ

ตารางที่ ก1 ผลทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดถั่วลิสงด้วยน้ำรูปแบบต่างๆ

แรงดันน้ำ	ความสูงของ แผงกั้น	ร้อยละของเมล็ดที่คัดแยกถูก			
		ถั่วเบา	ถั่วจมช้า	ถั่วจมเร็ว	เฉลี่ย
10 ลิตร/นาที	20 ซม.	95.67±3.40	2.00±2.65	95.00±2.65	64.22
	25 ซม.	95.33±4.73	25.67±0.58	96.33±2.89	72.44
	30 ซม.	93.67±2.31	26.52±0.90	98.00±2.00	72.73
13 ลิตร/นาที	20 ซม.	91.00±3.00	35.00±4.58	76.00±1.73	67.33
	25 ซม.	93.67±5.13	38.00±3.61	89.33±2.89	73.67
	30 ซม.	79.67±1.15	2.67±2.52	98.67±2.31	60.34
16 ลิตร/นาที	20 ซม.	88.33±0.58	52.00±1.00	95.67±4.51	78.67
	25 ซม.	93.33±1.53	64.33±2.52	92.67±6.11	83.44
	30 ซม.	93.33±2.89	41.00±0.00	91.33±.58	83.44

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายเกลือความหนาแน่นต่างๆ

อุปกรณ์และสารเคมี

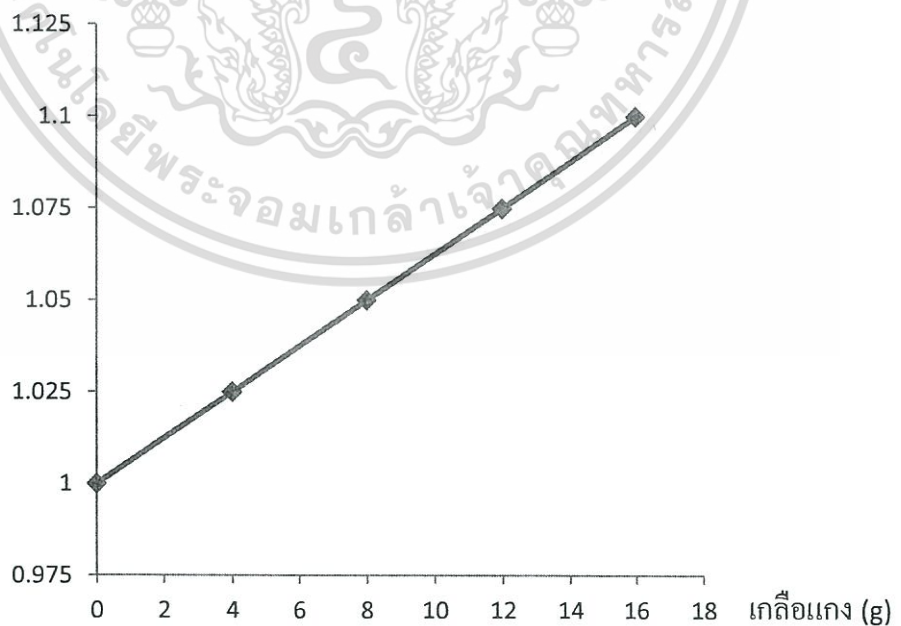
1. เกลือแกงเม็ด
2. น้ำกลั่น
3. บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิตร
4. ช้อนตักสาร
5. Hydrometer ขนาด 25 มิลลิตร

วิธีการ

1. ชั่งเกลือแกงเม็ด ตามความหนาแน่นของสารละลายที่ต้องการ ด้วยอัตราส่วน ตามรูปที่ ข1
2. ผสมเกลือ และน้ำกลั่นใน บีกเกอร์ และตรวจวัดความหนาแน่นของสารละลาย ด้วย

Hydrometer

ความถ่วงจำเพาะของน้ำ (g/cm^3)



รูปที่ ข1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะของน้ำ 100 มิลลิตร เมื่อผสมกับเกลือแกง

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

วิธีเคลือบแลคเกอร์และแยกเม็ดด้วยวิธีตามความหนาแน่น

อุปกรณ์

1. เม็ดดัดผิวสังคิบ
2. สารละลายเกลือความหนาแน่น 1.000 g/cm^3 (น้ำกลั่น) และ 1.025 g/cm^3 (สารละลายเกลือ 4% w/v)
3. แลคเกอร์สเปรย์

วิธีการทดลอง

1. นำเม็ดดัดผิวสังคิบตัวอย่างทั้งหมด มาเคลือบด้วยแลคเกอร์สเปรย์ สีขาว พ่นให้ทั่วทั้งเม็ด ปล่อยให้แห้งไว้ให้แห้ง
2. นำเม็ดดัดผิวสังคิบที่ผ่านการเคลือบแลคเกอร์สีขาวแล้ว มาจำแนกออกตามความถ่วงจำเพาะ ด้วยวิธีลอยบนสารละลายเกลือ ความหนาแน่น 1.000 g/cm^3 (น้ำกลั่น) และ 1.025 g/cm^3 (สารละลายเกลือ 4% w/v) สามารถแยกเม็ดออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง $\rho < 1.000 \text{ g/cm}^3$ กลุ่มที่สอง $1.000 \leq \rho < 1.025 \text{ g/cm}^3$ และ กลุ่มที่สาม $\rho \geq 1.025 \text{ g/cm}^3$
3. สเปรย์แลคเกอร์ สีแตกต่างกันลงบนเม็ดดัดผิวสังคิบ แยกตามกลุ่มความหนาแน่น
4. ตรวจสอบความหนาแน่นของเม็ดอีกครั้ง ตามข้อ 2.
5. ผึ่งให้แห้ง และเก็บไว้ในที่แห้งก่อนการทดลอง



รูปที่ ค1 เม็ดดัดผิวสังคิบหลังการเคลือบแลคเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การตรวจอะฟลาทอกซิน ด้วยวิธี DOA-ELISA Test Kit

หลักการวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป (อมรา, 2547) เป็นวิธีการวิเคราะห์ทาง Immunoassay ในรูปแบบการแข่งขันแบบตรง (Direct competitive Enzyme - Linked Immunosorbent Assay) โดยสารอะฟลาทอกซินจะถูกสกัดออกมาจากตัวอย่างที่บดละเอียด ด้วยสารละลาย เมทานอล แอฟลาทอกซินในสารสกัดที่กรองได้ ซึ่งเรียกว่า สารพิษอิสระ (Free toxin) จะถูกนำไปแข่งขันกับสารอะฟลาทอกซินที่ผูกติดกับเอ็นไซม์ซีบ็อก (labeled toxin) ในการที่จะไปเกาะจับกับแอนติบอดี (Antibody) ที่ถูกเคลือบไว้ที่ก้นหลุมทดสอบ (Microtitration plate) หลังจากบ่มไว้ ประมาณ 30 นาที จึงเทของเหลวในหลุมทิ้ง แล้วล้างส่วนของสารพิษอิสระ และสารพิษที่ผูกติดกับเอ็นไซม์ซีบ็อก ส่วนที่ไม่เกาะจับกับแอนติบอดี ทิ้งไป ส่วนของสารพิษที่ผูกติดกับเอ็นไซม์ซีบ็อก ที่เกาะจับกับแอนติบอดีในหลุมทดสอบ สามารถประเมินได้โดยการเติม substrate ที่จะทำปฏิกิริยาเฉพาะกับเอ็นไซม์ซีบ็อก เกิดเป็นสี ความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจากผลของปฏิกิริยาระหว่างเอ็นไซม์กับ substrate สามารถอ่านได้ด้วยสายตาเปรียบเทียบกับสีที่เกิดขึ้น ในหลุมทดสอบของสารพิษมาตรฐาน ระดับต่าง ๆ (Qualitative result) หลุมทดสอบใดมีปริมาณสารพิษอิสระน้อยจะเกิดสีเข้ม ถ้ามีสารพิษ อิสระมากจะเกิดสีจางตามลำดับ การอ่านผลเป็นปริมาณสารพิษ (Quantitative result) สามารถทำได้ โดยอ่านความเข้มของสีในหลุมทดสอบ ด้วยเครื่อง Micro ELISA Reader ความเข้มของสีที่เพิ่มขึ้น จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปฏิกิริยา และมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามเป็นสัดส่วนกับปริมาณสารพิษที่ปนเปื้อนในตัวอย่าง

1. ส่วนประกอบของ DOA- AFLATOXIN ELISA TEST KIT

- 1.1 Micro ELISA plate แบบต่างๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ ที่เคลือบด้วยแอนติบอดีต่อสารอะฟลาทอกซิน B1 บรรจุอยู่ในถุงฟอยล์
- 1.2 AFB1-HRP Conjugate จำนวน 6 หลอด (100 ul/vial)
- 1.3 AFB1-HRP Conjugate จำนวน 6 หลอด (100 ul/vial)
- 1.4 Substrate A และ B อย่าง ละ 6 ml
- 1.5 Conjugate Buffer ปริมาณ 8 ml
- 1.6 Washing Buffer 100 ml (10x0.01M PBS +0.05% tween 20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สิ่งที่ต้องเตรียม

- 2.1 เมทธานอล 70 %
- 2.2 เครื่องบด
- 2.3 เครื่องชั่ง
- 2.4 เครื่องปั่น หรือ เครื่องเขย่า
- 2.5 เครื่องแก้วสำหรับกรอง และเจือจางสารสกัด
- 2.6 กระดาษกรอง No. 4
- 2.7 ไมโครปิเปตขนาด 50-200 และ 100-1000 ไมโครลิตร พร้อมปิเปตทิว
- 2.8 เครื่อง MicroELISA Reader อ่านที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

3. การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1 การเตรียม washing buffer นำ washing buffer ในขวดมาเจือจางเป็น 0.01 M PBS-T โดยเติมน้ำกลั่น 900 มล. สำหรับนำไปใช้ในการเจือจางสารสกัดตัวอย่าง และใช้ล้าง Micro ELISA plate เก็บไว้ อุณหภูมิ 5 °C

3.2 การเตรียม substrate solution ผสม substrate A และ substrate B ในอัตราส่วน 1:1 ควรเตรียมในปริมาณที่ต้องการ เท่านั้นและใช้ภายใน 1 ชม. ตัวอย่างเช่น ต้องการหยดในหลุมทั้งหมด 8 หลุม จะต้องใช้ substrate ทั้งหมด = 8 X 100 ไมโครลิตร (ul) ดังนั้น ต้องใช้ substrate A และ substrate B อย่างละ 400 ไมโครลิตร

3.3 สารพิษมาตรฐาน พร้อมใช้ในการวิเคราะห์

3.4 การเตรียม enzyme conjugate เติม conjugate buffer 1 มล ลงไปในหลอด เอ็นไซม์ คอนจูเกต 1 หลอด เขย่าเล็กน้อยให้เป็นเนื้อเดียวกัน หรือกลับหลอดขึ้นลงให้เข้ากัน ถ้าใช้ไม่หมดส่วนที่เหลือเก็บในหลอดเดิมปิดฝาให้สนิทแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C สำหรับใช้ในครั้งต่อไปได้ ส่วนเอ็นไซม์คอนจูเกตหลอดที่ยังไม่ได้เจือจางให้เก็บไว้ที่ 0 °C

3.5 Stopping Solution พร้อมใช้ในการวิเคราะห์

4. วิธีการสกัดตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

ตัวอย่างที่จะนำมาสกัดเพื่อการวิเคราะห์สารพิษ ควรเป็นตัวอย่างที่ได้รับการ สุ่มเป็นตัวแทนที่ถูกต้องของตัวอย่างนั้น ๆ และควรบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำมาสกัด ถ้าตัวอย่างถูกเก็บไว้ในตู้เย็น หรือตู้แช่แข็ง ต้องนำมาวางไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องเสียก่อนจึงจะนำไปสกัดได้ วิธีการสกัดทำได้ 2 วิธีคือ

4.1 วิธีที่การสกัดสารพิษจากตัวอย่างพร้อม ๆ กันหลายตัวอย่าง

4.1.1 ชั่งตัวอย่าง ที่บดละเอียดแล้วปริมาณ 20 กรัม ใส่ใน flask

4.1.2 เติม 100 มล. ของ 70 % เมทธานอล ลงใน flask (อัตราส่วนของตัวอย่าง ต่อ 70 % เมทธานอล = 1:5)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญาตเหเนาไปเซประยชนดานการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ปิดปาก flask ด้วยจุกยางหรือแผ่นพาราฟิล์ม แล้วนำไปแช่ด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที

4.2 วิธีการสกัดสารพิษจากตัวอย่างครั้งละ 1 ตัวอย่าง 6.2.1 ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว ปริมาณ 20 กรัม ใส่ลงในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ (blender) 6.2.2 เติมน้ำ 100 มล. ของ 70% เมทานอล (methanol) ในเครื่องปั่น ปั่นนาน 2-3 นาที

4.3 การเตรียมสารสกัดสำหรับวิเคราะห์ นำตัวอย่างที่ปั่นหรือเขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาทีแล้วจึงนำส่วนใสมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 เก็บส่วนที่กรองได้ไว้ในหลอดแก้วที่สะอาดปิดสนิท สารสกัดที่กรองได้นี้จะมีความเข้มข้นเป็น 1:5 เท่า ให้ทำการเจือจางสารสกัดเป็น 1:20 เท่า โดยใช้สารละลาย 0.01M PBS-T ก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยเจือจางในอัตราส่วน 1:3 สารสกัดตัวอย่าง 1 มล. + สารละลาย 0.01M PBS-T 3 มล.

5. วิธีการวิเคราะห์

5.1 คำแนะนำก่อนการวิเคราะห์

5.1.1 ก่อนทำการวิเคราะห์นำสารในชุดตรวจสอบมาวางให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง พร้อมทั้งสารละลายที่ใช้เจือจางสารสกัดตัวอย่าง (0.01M PBS-T)

5.1.2 นำเอ็นไซม์ คอนจูเกตออกจากช่องแช่แข็ง จำนวนหลอดเท่าที่ต้องการใช้ในแต่ละครั้ง ส่วนที่เจือจางแล้วถ้าใช้ไม่หมดปิดฝาให้สนิทและให้เก็บไว้ที่ 5 °C

5.1.3 นำ stripe ออกจากถุงฟอยด์เท่าที่ต้องการใช้ในแต่ละครั้ง stripe ที่เหลือเก็บให้ถุงเดิม ที่ 5 °C อย่าให้ถูกน้ำ

5.1.4 เปลี่ยน ทิปทุกครั้งที่เปลี่ยนการดูดสารสกัดตัวอย่าง

5.1.5 การดูดหรือปล่อยสารละลายอย่าให้ปลายทิวสัมผัสกับสารละลายในหลุม หรือด้านข้างของหลุมทดสอบ

5.1.6 ระหว่างขั้นตอนการบ่มแต่ละครั้ง ควรจะบ่มในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง

5.1.7 ขั้นตอนการล้างเป็นขั้นตอนที่สำคัญ อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ถูกต้อง ดังนั้นต้องล้างหลุมทดสอบให้สะอาด

5.1.8 นำชุดตรวจสอบเก็บที่อุณหภูมิ 2-8 °C ทันทีหลังการใช้งาน

5.1.9 ควรวางแผนการใช้หลุมทดสอบเช่น จำนวนหลุมที่ใส่สารพิษมาตรฐาน และจำนวนหลุมที่ใส่สารสกัดตัวอย่าง หรือ การทำซ้ำ การกรอง สารสกัดที่กรองได้ ๕ สารสกัดที่เจือจางเป็น 1:20

5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

5.2.1 วางแผนการใช้หลุมทดสอบในแต่ละ stripeว่าจะใช้สารพิษมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น และจะใส่สารสกัดตัวอย่างในหลุมใด

5.2.2 หยด สารพิษมาตรฐาน แอฟลาทอกซิน ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (4-5 ความเข้มข้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดสอบ (stripe 8 หรือ 12) หลุมละความเข้มข้น และหยดสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกัดตัวอย่างที่เจือจางแล้ว ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดสอบที่เหลือ

5.2.3 หยด เอ็นไซม์ คอนจูเกต (AFB1-HRP conjugate) ที่เจือจางใน Conjugate Buffer แล้ว ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ตามลงไปทุกหลุมทดสอบ เขย่าเล็กน้อย แล้วบ่มไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที

5.2.4 หลังจากครบเวลาการบ่มแล้ว เทสารในหลุมทดสอบทิ้งโดยการคว่ำหลุม

5.2.5 ล้าง หลุมทดสอบ โดยเติม washing buffer (PBS-T) ลงในหลุมให้เต็มทุกหลุม แล้วคว่ำทิ้ง ทำการล้างอย่างน้อย 3 ครั้ง

5.2.6 คว่ำหลุมทดสอบบนกระดาษซับแล้วเกาะให้แห้ง

5.2.7 หยด substrate ที่เตรียมใหม่ๆ ตามข้อ 5.2 ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดสอบทุก หลุม แล้วบ่มไว้ในที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 5-10 นาที และจะเกิดปฏิกิริยาเป็นสีฟ้า ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารพิษ ตัวอย่างที่มีสีฟ้าเข้มแสดงว่าไม่มีสารพิษหรือมีน้อย และตัวอย่างที่มีสีฟ้า าจหรือขาว แสดงว่ามีสารพิษมาก

5.2.8 หยุดปฏิกิริยาโดยเติม stopping solution (0.5 M Phosphoric acid) ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ปฏิกิริยาจะเปลี่ยนจากสีฟ้า เป็นสีเหลือง และ อ่านค่าความเข้มของสีด้วย Micro ELISA Reader ที่ช่วงความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ควรอ่านปฏิกิริยาภายใน 60 นาที หลังจากหยุดปฏิกิริยา

6. การคำนวณปริมาณสารพิษในตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์สารพิษด้วยวิธี Competitive ELISA สามารถอ่านได้ทั้งแบบ คุณภาพ (Qualitative) และ ปริมาณ (Quantitative) ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ใน การวิเคราะห์ ความพร้อมของแต่ละห้องปฏิบัติการ และความชำนาญของผู้ปฏิบัติการ

6.1 การอ่านผลเชิงคุณภาพ (Qualitative Result) ถ้าต้องการอ่านผลด้วยสายตา สามารถอ่านได้ ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 7.2.7 โดยไม่ต้องหยุด ปฏิกิริยาด้วย stopping solution โดยสามารถอ่านได้จากสีฟ้า ทันที โดยการเปรียบเทียบสี ฟ้าของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลุมตัวอย่างที่ ต้องการวิเคราะห์ กับสีของ ปฏิกิริยาที่เกิดใน หลุมของสารพิษมาตรฐาน ซึ่งค่าที่อ่านได้จะบอก เป็นปริมาณมากกว่า หรือน้อย กว่าค่าที่ กำหนดของสารพิษมาตรฐานที่ใช้เปรียบ เทียบเมื่อคูณด้วยจำนวนเท่าที่เจือจางสารสกัด (dilution factor) แล้ว หรือไม่มีสารพิษเลย เช่น สารพิษมาตรฐานความ เข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5 พีพีบี เมื่อคูณด้วย dilution factor คือ 20 เท่า จะมีค่า เป็น 0, 2, 4, 10, 20, 40 และ 100 พีพีบี ตามลำดับ ดังนั้น ความเข้มข้นของสารพิษในตัวอย่างที่ อ่านด้วยสายตาสามารถบอกได้ว่ามีปริมาณ มากกว่า 10 หรือ 20 หรือ 100 พีพีบี

6.2 Quantitative Result เป็นการอ่านที่สามารถบอกได้เป็นปริมาณ พีพีบี (โดยการอ่าน ความ เข้มของสีของปฏิกิริยา ที่เกิดขึ้นเรียกว่าค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance Value) ด้วยเครื่องอ่าน Micro ELISA Reader ที่ช่วงคลื่น 450 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืน แสง ที่ได้ของสารพิษมาตรฐาน มาสร้าง เป็น กราฟมาตรฐาน (standard curve) โดย การเขียนค่าลงบนกระดาษ กราฟ semi-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
logarithmic ให้ค่าการ ดูดกลืนแสงเป็นแกน Y และค่าความเข้มข้นของสาร พิษมาตรฐานเป็นแกน X
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบเข

X ค่าปริมาณ สารพิษจากตัวอย่าง สามารถอ่านได้จาก standard curve นั้น ๆ จากการเตรียมตัวอย่างข้างต้นตัวอย่างจะ ถูกเจือจางเป็น 1:20 ดังนั้นผลที่ได้ต้องคูณด้วย 20 (dilution factor) ขั้นตอนการคำนวณผลดังนี้

6.2.1 คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง หรือสารพิษมาตรฐานที่ระดับ ต่าง ๆ (B) ใน กรณีที่ มีการทำซ้ำ และค่าการดูดกลืนแสงของสารพิษมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 พีพีบี (B0)

6.2.2. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (% maximal binding) ของสารพิษ มาตรฐานแต่ละตัว และของตัวอย่าง ดังนี้ $\% \text{ maximal binding} = B/B0 \times 100$

6.2.3 นำค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (B/B0) ของสารพิษมาตรฐานทุกความเข้มข้น มาพล็อตกราฟ โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน y และให้ค่าความเข้มข้นของสารพิษมาตรฐานเป็นแกน x บนกระดาษ semi-logarithmic สร้างเป็นกราฟมาตรฐาน (Standard curve)

6.2.4 นำค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (B/B0) ของแต่ละตัวอย่างมาพล็อตลงบน กราฟมาตรฐาน บนแกน y (จุด I) แล้วลากเส้นตรงขนานกับแกน X มาตัด เส้น standard curve (จุดII) ลากเส้นตรงจากจุดตัด ลงมาที่แกน x (จุด III) ค่าที่อ่านได้บนแกน X ต้องคูณด้วย 20 (dilution factor) ได้เป็นค่าความเข้มข้นของสารพิษในตัวอย่าง เป็นปริมาณ ppb (ug/kg หรือ ng/ml)

6.2.5 ปัจจุบันได้มีการพัฒนา โปรแกรมสำเร็จรูปโดยอาศัยหลักการดังกล่าวสำหรับ อ่านปริมาณ สารพิษเป็น พีพีบี ได้โดยตรง

7. ประสิทธิภาพของชุดตรวจสอบ

7.1 ความเฉพาะเจาะจง (Specificity) แอนติบอดีมีความเฉพาะเจาะจงในการเกาะจับกับสารพิษ แอฟลาทอกซินดังนี้ Aflatoxin B1 100.0 % Aflatoxin B2 21.4 % Aflatoxin G1 25.0 Aflatoxin G2 2.5 %

7.2 Recovery Test ความสามารถในการตรวจจับสารอะฟลาทอกซินที่เติมลงไป ในผลิตภัณฑ์ เกษตร 82-100 %

7.3 Sensitivity สามารถตรวจจับสารอะฟลาทอกซินได้ต่ำสุด 0.4 pp

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

นาย พิศิษฐ์ศักดิ์ วิเศษศุกุล

ที่อยู่

7 หมู่ที่ 5 ต.ลำคลอง อ.เมืองกาฬสินธุ์ จ.กาฬสินธุ์ 46000

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย จ.ร้อยเอ็ด ปีการศึกษา 2546
- สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2550
- ศึกษาต่อปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2552

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2551-2552

- ตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการแผนกครัว (F&B) บริษัท ฟู้จเอนเตอร์เทนเมนต์

เกียรติประวัติ/ผลงาน

- รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 การประกวดเชิงนวัตกรรม
“ True innovation Awards 2011” ผลงาน easy open egg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้