



วิทยานิพนธ์

การลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ
ด้วยวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงและโครงข่ายประสาทเทียม

**RISK REDUCTION OF AFLATOXIN CONTAMINATION IN
RAW PEANUT BY PEANUT QUALITY SORTING
PROCEDURE AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

นางสาวสุดาทิพย์ แซ่ตัน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบด้วย
วิธีการคัดเลือกรูปภาพถั่วลิสงและโครงข่ายประสาทเทียม

Risk Reduction of Aflatoxin Contamination in Raw Peanut by
Peanut Quality Sorting Procedure and Artificial Neural Network

โดย

นางสาวสุดาทิพย์ แซ่ตัน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2550

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำชี้แนะแนวทางการวางแผนวิจัยตลอดจนตรวจแก้ไขในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และรองศาสตราจารย์ วิชัย หฤทัยชนาสน์ กรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาระหว่างการดำเนินการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตา จันทราพรชัย ประธานในการสอบ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ USAID Peanut CRSP และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สำนักงานวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร โดยเฉพาะ ดร.อมรา ชินภูติ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปข้าว ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยเสมอมา ขอขอบคุณคุณสุรัช กิจสิริรุ่งเรือง คุณวีระพล วาสะประเสริฐ คุณกิตติพล น้อยอนุสนธิกุล และคุณอุบล ทองปัญญาที่มีส่วนช่วยในการดำเนินการไปซื้อถั่วลิสงจากตลาดในเขตต่างๆ ในกรุงเทพฯ และเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมารดา บิดาของข้าพเจ้า พี่ชาย พี่สาว พี่สะใภ้ หลานๆ และทุกท่านในครอบครัวของข้าพเจ้า รวมทั้งผู้ที่มีพระคุณที่มีได้เอย่นามไว้ ณ ที่นี้ทุกท่าน สำหรับความรัก ความห่วงใย และกำลังใจที่มีให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอดจนการศึกษาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้ ณ ที่นี้

สุดาทิพย์ แซ่ตัน

สิงหาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	86
อุปกรณ์	86
วิธีการ	87
ผลและวิจารณ์	96
สรุปและข้อเสนอแนะ	133
สรุป	133
ข้อเสนอแนะ	134
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	135
ภาคผนวก	149
การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินด้วยชุดตรวจสอบสารพิษ	
อะฟลาทอกซินสำเร็จรูป	150
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	159

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เนื้อที่ และผลผลิตถั่วลิสงเป็นรายภาคปี พ.ศ. 2545-2547	4
2	เนื้อที่ และผลผลิตต่อไร่ของถั่วลิสงรายจังหวัด ปี 2545-2547	5
3	สภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของ <i>Aspergillus flavus</i>	26
4	ชนิดและจำนวนเชื้อราที่พบในถั่วลิสงในเวลาต่างๆ ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงระหว่างเก็บรักษา	31
5	ชนิดและจำนวนเชื้อราที่พบในถั่วลิสงประเภทต่างๆ	31
6	ค่ากำหนดค่าสุดของปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่อนุญาตให้มีได้ในถั่วลิสงของประเทศต่างๆ	37
7	ประสิทธิภาพของการจัดการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงหลังการเก็บเกี่ยวที่ระดับขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการผลิต	45
8	เปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในอาหารเมื่อใช้กรรมวิธีการปรุงอาหารต่างๆ กัน	46
9	ผลของการฉายรังสีแกมมาเพื่อลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน	48
10	เกณฑ์การสุ่มตัวอย่างผลิตผลเกษตรขนาดต่างๆ	53
11	ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทมนุษย์กับเซลล์ประสาทเทียม	71
12	รายชื่อเขตที่ทำการสุ่มตัวอย่างถั่วลิสง	91
13	สิ่งทดลองสำหรับการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียม	94
14	น้ำหนักของถั่วลิสงดิบจากโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง จ.ลำปาง แต่ละประเภทเมื่อทำการคัดแยกด้วยสายตาตามลักษณะปรากฏ	105
15	ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ตรวจพบในถั่วลิสงดิบชนิดต่างๆ จากโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง จ.ลำปาง	107
16	น้ำหนักของถั่วลิสงดิบจากตลาดค้าปลีก 44 แห่งในกรุงเทพฯ แต่ละประเภทเมื่อทำการคัดแยกด้วยสายตาตามลักษณะปรากฏ	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ตรวจพบในถั่วลิสงดิบจากตลาดค้าปลีก 44 แห่งในกรุงเทพฯ แต่ละประเภทเมื่อทำการคัดแยกด้วยสายตามลักษณะปรากฏ	111
18	การสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงจากผู้ค้าปลีกในเขตต่างๆ	117
19	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ย้อนหลัง 30 วันของวันที่สุ่มตัวอย่างถั่วลิสง	119
20	ค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov ของรูปแบบการแจกแจงแบบต่างๆ ของปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบก่อนและหลังคัดคุณภาพ	121
21	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลชุดฝึกฝนเมื่อประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโครงสร้างแบบต่างๆ	129
22	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อใช้ฟังก์ชันการเปลี่ยนก่อนชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน	130
23	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบของข้อมูลชุดทดสอบเมื่อใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าน้ำหนักและค่า Bias ต่างกัน	131

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	วิธีการตลาดถั่วลิสงฝักเต็มในเขตภาคเหนือตอนบนแบบที่ 1	21
2	วิธีการตลาดถั่วลิสงฝักเต็มในเขตภาคเหนือตอนบนแบบที่ 2	22
3	วิธีการตลาดถั่วลิสงกะเทาะเปลือกในเขตภาคเหนือตอนบนจังหวัดเชียงใหม่	23
4	วิธีการตลาดถั่วลิสงกะเทาะเปลือกในเขตภาคเหนือตอนบนจังหวัดลำปาง	24
5	ตัวอย่างถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติและเมล็ดถูกทำลายที่ถูกตัดออกจากการคัดเลือกว่าด้วยมือ	42
6	ตัวอย่างเมล็ดถั่วลิสงลอกเชื้อที่เสีย และมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน	43
7	การประเมินค่าของสารพิษผิดพลาด ทำให้เกิดความเสียหายต่อผู้ขายหรือผู้ซื้อ	51
8	จุดที่ควรเก็บตัวอย่างจากพาหนะที่มีขนาดบรรทุกต่างๆ	54
9	ความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นตลอดการวิเคราะห์	56
10	การทำปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจงและแข่งขันระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดี	59
11	ชั้นต่างๆ ในห่วงโซ่อุปทาน	61
12	ขั้นตอนหลักการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ	67
13	ขั้นตอนที่ 1 ในการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ	68
14	ขั้นตอนที่ 2 ในการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ	68
15	ขั้นตอนที่ 3 ในการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ	69
16	ขั้นตอนที่ 4 ในการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ	69
17	เปรียบเทียบโครงข่ายเซลล์ประสาทมนุษย์ (ซ้าย) กับโครงข่ายเซลล์ประสาทเทียม (ขวา)	71
18	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	73
19	การเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดฝึกฝน ชุดทวนสอบ และจุดที่ควรหยุดการฝึกฝน	82
20	รูปแบบฟังก์ชันการเปลี่ยนของโครงข่ายประสาทเทียม	83
21	Log-Sigmoid Transfer Function	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	Tan-Sigmoid Transfer Function	84
23	Linear Transfer Function	84
24	การตากถั่วลิสงบนพื้นซีเมนต์	98
25	ถุงขนาด 10 กิโลกรัมที่ผู้ค้ารับจากบริษัท ไร่บุญยะ จำกัด	99
26	โครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบไม่ลอกเยื่อภายในประเทศไทย	102
27	ตัวอย่างถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ	105
28	ขั้นตอนวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงที่ได้พัฒนาขึ้น	112
29	ลักษณะของถั่วลิสงที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินเกิน 20 ppb (ก. - ณ.) ถั่วลิสงที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินต่ำกว่า 20 ppb (ณ.) และถั่วลิสงที่มีลักษณะปกติ (ณ.)	115
30	ความน่าจะเป็นในการพบสารพิษอะฟลาทอกซินปริมาณต่างๆ ในถั่วลิสงดิบก่อน คัดคุณภาพ	122
31	ความน่าจะเป็นสะสมในการพบสารพิษอะฟลาทอกซินปริมาณต่างๆ ในถั่วลิสง ดิบก่อนคัดคุณภาพ	122
32	ความน่าจะเป็นในการพบสารพิษอะฟลาทอกซินปริมาณต่างๆ ในถั่วลิสงดิบหลัง คัดคุณภาพตามวิธีการคัดเลือกคุณภาพที่ได้พัฒนาขึ้น	123
33	ความน่าจะเป็นสะสมในการพบสารพิษอะฟลาทอกซินปริมาณต่างๆ ในถั่วลิสง ดิบหลังคัดคุณภาพตามวิธีการคัดเลือกคุณภาพที่ได้พัฒนาขึ้น	123
34	โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการทำนายระดับการปนเปื้อน สารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ	132

การลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบด้วย วิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงและโครงข่ายประสาทเทียม

Risk Reduction of Aflatoxin Contamination in Raw Peanut by Peanut Quality Sorting Procedure and Artificial Neural Network

คำนำ

ถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.) เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของ ไทย มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 294,895 ไร่ ผลผลิตรวมประมาณ 76,966 ตัน (สุรพงษ์, 2548) แต่ ปัจจุบันพบปัญหาการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินอยู่มาก จากการวิเคราะห์สารอะฟลาทอกซิน ของอมราและคณะ (2547) พบว่าถั่วลิสงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลา- ทอกซินเกินมาตรฐานเป็นจำนวนสูงที่สุดคือ 19.63% จากการตรวจถั่วลิสงทั้งสิ้น 271 ตัวอย่าง โดย มีปริมาณสารพิษตั้งแต่ 0.4 – 38,731.4 ppb ซึ่งสารพิษนี้เกิดจากเชื้อรา *A.flavus* และ *A.paraciticus* (อมรา, 2547) สารพิษอะฟลาทอกซินนี้ส่งผลต่อสุขภาพเศรษฐกิจอย่างมากเพราะมีผลกระทบต่อ สุขภาพของมนุษย์ ผลผลิตของสัตว์ และการค้าทั้งภายในและต่างประเทศ ที่ถึงแม้จะไม่ได้มีการกีดกัน ทางการค้าแต่ก็มีการตั้งมาตรฐานความปลอดภัยของผู้บริโภคในประเทศผู้ซื้อ (วราภา และ สุวรรณ, 2548) ซึ่งองค์การอาหารและการเกษตร (FAO) ได้ประมาณการว่า 25% ของรัฐพืชต่างๆ ทั่วโลกจะได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน อีกทั้งในปี 1988 องค์การ IARC (International Agency for Research on Cancer) ยังได้ประกาศว่าสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 เป็น สารก่อมะเร็งในมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีรายงานจากผลการศึกษาในแถบเอเชียและแอฟริกาที่พบว่ามี ความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและการเป็นมะเร็งตับ (Anonymous, 2005)

การปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินสามารถเกิดได้ตั้งแต่การปลูก การดูแลรักษา การ เก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การปลิดฝัก การตาก การกะเทาะเมล็ด เป็นต้น การเก็บ รักษา การขนส่ง (จวงจันทร, 2540; Anonymous, 2005) และถั่วลิสงที่กะเทาะเปลือกแล้วจะมีโอกาส เสื่อมคุณภาพได้ง่ายกว่าถั่วที่ยังไม่กะเทาะเปลือก (ปริศนา และ ศุภรัตน์, 2532) ผู้บริโภคจึงมีความ เสี่ยงที่จะได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินจากถั่วลิสงมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งพัฒนาคู่มือ ในการคัดเลือกคุณภาพของถั่วลิสงเพื่อลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน และ

การประเมินความเสี่ยงจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่กะเทาะเปลือกแล้วที่
ผู้ค้าปลีกจำหน่ายให้กับผู้บริโภคเมื่อมีการคัดเลือกรุ่นคุณภาพตามคู่มือที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้ผู้บริโภคและ
ผู้เกี่ยวข้องตระหนักถึงอันตรายและร่วมมือกันแก้ปัญหาการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินใน
ถั่วลิสง รวมถึงการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลา
ทอกซินดิบ จึงมีวัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัยต่อไปนี้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบไม่ลอกเปลือกในประเทศไทย
2. เพื่อพัฒนาวิธีการคัดเลือกถั่วลิสงคุณภาพดีและถั่วลิสงที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน
3. เพื่อประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ และถั่วลิสงคุณภาพดี ของผู้ค้าปลีกที่จำหน่ายถั่วลิสงซึ่งผ่านการคัดเลือกตามวิธีการคัดเลือกคุณภาพที่ได้พัฒนาขึ้นให้แก่ผู้บริโภคในกรุงเทพฯ
4. เพื่อจัดทำแบบจำลองทำนายความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบของผู้ค้าปลีกที่จำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคในกรุงเทพฯ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

การตรวจเอกสาร

1. ถั่วลิสง (Peanut, Groundnut)

ถั่วลิสง หรือถั่วดิน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Arachis hypogaea* L. ถั่วลิสงเป็นพืชที่ให้เมล็ดเป็นอาหารมนุษย์ที่สำคัญชนิดหนึ่งซึ่งกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา รายงานถึงภาวะการผลิตถั่วลิสงโลกประจำปีเดือนเมษายน 2548 ว่า ในปี 2547/2548 จะมีผลผลิตสูงถึง 33.44 ล้านตัน คิดเป็น 8.74% ของผลผลิตพืชน้ำมันของโลกรองจากถั่วเหลือง เมล็ดฝ้าย และเรพซิด และสำนักเศรษฐกิจการเกษตรคาดคะเนการผลิตถั่วลิสงปี 2547/2548 ประจำปีเดือนมีนาคม 2548 ว่ามีพื้นที่เพาะปลูก 294,895 ไร่ ผลผลิต 76,966 ตัน และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 261 กิโลกรัม (สุรพงษ์, 2548) จากรายงานของสำนักเศรษฐกิจการเกษตรพบว่า ในปี 2545-2547 ประเทศไทยมีรายงานว่าภาคเหนือมีพื้นที่เพาะปลูกถั่วลิสงและมีผลผลิตมากที่สุด รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือดังแสดงในตารางที่ 1 และจังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด 5 อันดับแรกของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เนื้อที่ และผลผลิตถั่วลิสงเป็นรายภาคปี พ.ศ. 2545-2547

ภาค	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)		
	2545	2546	2547	2545	2546	2547
เหนือ	202,378	131,834	123,964	51,758	34,884	33,145
ตะวันออกเฉียงเหนือ	171,217	123,868	116,917	41,080	31,174	29,016
กลาง	63,011	31,337	30,239	16,877	7,984	8,413
ใต้	11,635	9,309	10,188	2,434	2,028	2,240
รวมทั้งประเทศ	448,241	296,348	281,308	112,149	76,070	72,814

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2549)

ตารางที่ 2 เนื้อที่ และผลผลิตต่อไร่ของถั่วลิสงรายจังหวัด ปี 2545-2547

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)		
	2545	2546	2547	2545	2546	2547
ลำปาง	42,982	27,910	25,755	11,837	7,967	7,362
เชียงใหม่	24,094	15,722	15,179	5,775	3,912	3,857
พะเยา	32,563	13,109	12,132	7,563	3,143	3,118
น่าน	15,478	12,037	11,156	4,298	3,332	3,081
เชียงราย	29,919	12,901	11,091	7,441	3,060	2,671
ศรีสะเกษ	17,531	20,416	18,990	4,475	5,100	4,936
อุบลราชธานี	13,753	15,123	14,033	3,675	3,708	3,409
กาฬสินธุ์	22,902	10,336	10,944	5,512	3,074	2,886
บุรีรัมย์	15,441	13,728	11,254	3,517	3,172	2,686
ขอนแก่น	15,060	5,987	5,725	3,806	1,623	1,482

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2549)

1.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วลิสง

ราก ถั่วลิสงมีระบบรากแก้ว มีรากแขนงแตกออกจากรากแก้วเป็นบริเวณกว้าง ที่รากแก้วและรากแขนงจะมีปมที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียพวกไรโซเบียมเข้าไปอาศัยอยู่เพื่อตรึงไนโตรเจนจากอากาศ

ลำต้น ถั่วลิสงเป็นพืชล้มลุกพวกไม้เนื้ออ่อน ลำต้นมีความสูงประมาณ 15-70 เซนติเมตร มีลักษณะกลม ส่วนใหญ่มีสีเขียว บางพันธุ์มีสีม่วง

ใบ ใบของถั่วลิสงจะเกิดสลับกันบนข้อของลำต้น ใบมีสีเขียวจัด ขอบใบเรียบ ปลายใบมนหรือค่อนข้างแหลม ก้านใบมีสีเขียวและมีสีม่วงในบางพันธุ์

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

ฝัก ฝักถั่วลิสงเกิดมาจากการเจริญเติบโตของเข็ม ภายหลังที่เข็มเจริญอยู่ใต้ผิวดิน ก็ จะเริ่มเปลี่ยนสีและมีขนอ่อน ๆ เกิดขึ้นรอบ ๆ เพื่อทำหน้าที่ดูดอาหารนำไปสร้างเมล็ด

เมล็ด เมล็ดมีรูปร่างทรงกระบอก ขนาดค่อนข้างใหญ่ มีเยื่อหุ้มผิวหลายสี ตั้งแต่สี ชมพูซีด แดง ม่วง ม่วงแดง ม่วงเข้ม และน้ำตาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ถัดจากเยื่อหุ้มผิวจะมีใบเลี้ยง ที่มีลักษณะหนา 2 อันประกบติดกัน ซึ่งเป็นที่สะสมอาหารพวกไขมัน โปรตีน ฯลฯ (ภูวนาท, 2531)

1.2 พันธุ์ถั่วลิสงของไทย

ในประเทศไทยมีพันธุ์ถั่วลิสงอยู่มากมายอีกทั้งยังมีการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงอยู่เรื่อยมา ตั้งแต่ปี 2477 จนกระทั่งปัจจุบัน โดยโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีวัตถุประสงค์หลักอยู่ 3 ประการคือ (อารีย์, 2544ก)

1.2.1 เพื่อพัฒนาพันธุ์ที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ สำหรับใช้แปรรูปเป็นอาหารต่างๆ

1.2.2 เพื่อพัฒนาพันธุ์ที่มีความต้านทานเชื้อราที่สร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน

1.2.3 เพื่อพัฒนาพันธุ์ต้านทานโรคใบจุด และโรคราสนิม

พันธุ์ถั่วลิสงสามารถแบ่งได้ตามเกณฑ์การนำไปใช้ โดยแบ่งได้เป็น (ทักษิณา, 2540)

1) พันธุ์ถั่วลิสงสำหรับกะเทาะเมล็ด

พันธุ์ไทนาน 9 ลักษณะต้นเป็นพุ่มทรงตั้ง อายุถึงวันออกดอก 27-30 วัน ฝักส่วนใหญ่มี 2 เมล็ด ลายบนฝักค่อนข้างเรียบ เยื่อหุ้มเมล็ดสีชมพู น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดหนักประมาณ 42 กรัม ผลได้จากการกะเทาะ 71% อายุ 95-110 วัน ผลผลิตประมาณไร่ละ 236 กิโลกรัม ในฤดูฝน และ ไร่ละ 293 กิโลกรัมในฤดูแล้ง พันธุ์ไทนาน 9 นี้เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อกะเทาะเมล็ดเนื่องจาก เมล็ดโต เมล็ดขนาดเต็มฝัก ขนาดเมล็ดสม่ำเสมอ

พันธุ์ขอนแก่น 60-1 ลักษณะเป็นพุ่มตั้ง อายุถึงวันออกดอก 27-30 วัน ฝักส่วนใหญ่ มี 2 เมล็ด ลายบนฝักเห็นชัดเจน เนื้อหุ้มเมล็ดสีชมพู ขนาดเมล็ดโตกว่าพันธุ์ไทนาน 9 น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดประมาณ 47 กรัม ผลได้จากการกะเทาะ 69% อายุถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 95-100 วัน ผลผลิตประมาณไร่ละ 250 กิโลกรัมในฤดูฝน และไร่ละ 303 กิโลกรัมในฤดูแล้ง

พันธุ์ขอนแก่น 5 เส้นลายบนฝักชัดเจน มี 2 เมล็ดต่อฝัก เนื้อหุ้มเมล็ดสีชมพูเข้ม อายุเก็บเกี่ยว 90-110 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 305 กิโลกรัมต่อไร่ ทนทานต่อโรคยอดไหม้

2) พันธุ์ถั่วลิสงสำหรับฝักดัม

พันธุ์ขอนแก่น 60-2 ลักษณะต้นเป็นพุ่มตั้ง สีของต้นและใบค่อนข้างซีดกว่าพันธุ์ไทนาน 9 และขอนแก่น 60-1 อายุถึงวันออกดอก 27-30 วัน ขนาดของฝักยาวและโต ฝักค่อนข้างตรง ส่วนใหญ่มี 3 เมล็ดต่อฝัก ลายบนฝักชัดเจน เนื้อหุ้มเมล็ดสีชมพู น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 41 กรัม ผลได้จากการกะเทาะ 61% อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 90-100 วัน ผลผลิตฝักแห้งไร่ละ 266 กิโลกรัม เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับขายเป็นฝักสดเพื่อใช้ในการบริโภคในรูปแบบถั่วลิสงดัม ดัมตากอบ และคั่ว

พันธุ์ขอนแก่น 60-3 หรือพันธุ์เมล็ดโต เป็นถั่วที่มีขนาดฝักและเมล็ดโต ทรงต้นค่อนข้างแผ่กว่าพันธุ์ที่เคยมีปลูกในประเทศ ใบค่อนข้างเล็กและเขียวเข้มกว่าพันธุ์อื่นๆ อายุถึงวันออกดอกประมาณ 35 วัน มี 2 เมล็ดต่อฝัก ลายบนฝักค่อนข้างเรียบ เมล็ดมีขนาดโต น้ำหนัก 100 เมล็ดประมาณ 76 กรัม เนื้อหุ้มเมล็ดสีชมพู ผลได้จากการกะเทาะ 60% อายุถึงวันเก็บเกี่ยว 110-120 วัน ผลผลิตฝักแห้งประมาณ 378 กิโลกรัม

ภาพสินธุ์ 1 เส้นลายบนฝักค่อนข้างเรียบ มี 2-4 เมล็ดต่อฝัก เนื้อหุ้มเมล็ดสีแดง อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 460 กิโลกรัมต่อไร่ เหมาะสำหรับปลูกในภาคกลางที่เป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย

สข.38 เส้นลายบนฝัก และจอยเห็นชัดเจน มี 2-4 เมล็ดต่อฝัก เนื้อหุ้มเมล็ดสีแดง อายุเก็บเกี่ยว 85-90 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 490 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกได้ทุกภาคของประเทศ ที่เป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย

กาฬสินธุ์ 2 ฝักใหญ่ยาว เส้นลายบนฝักเล็ก มี 2-4 เมล็ดต่อฝัก เชื้อหุ้มเมล็ดสีชมพูมีลายขีดสีม่วง อายุเก็บเกี่ยว 90-100 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 580 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานต่อโรคราสนิม เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือที่เป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์สูง

1.3 ฤดูกาลปลูกถั่วลิสง (บุญมี, 2540 และ วีระ, 2545)

ฤดูกาลปลูกถั่วลิสงของเกษตรกรในประเทศไทยจะแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่และฤดูกาล โดยเมื่อแบ่งตามฤดูกาลจะแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ดังนี้

1.3.1 ฤดูฝน

เริ่มเพาะปลูกเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม ถั่วที่ปลูกในฤดูฝนนี้ส่วนมากจะปลูกในพื้นที่ดอน อาศัยน้ำฝน เก็บเกี่ยวประมาณเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม เป็นฤดูกาลปลูกที่เกษตรกรปลูกถั่วลิสงเพียงอย่างเดียว

1.3.2 ปลายฤดูฝน

เริ่มเพาะปลูกประมาณกรกฎาคมถึงสิงหาคม เก็บเกี่ยวประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ส่วนมากการปลูกปลายฤดูฝนจะเป็นการปลูกเพื่อเป็นพืชรองหรือพืชเสริมในระบบการปลูกพืชร่วมกับข้าวหรือพืชไร่ จะปลูกในพื้นที่ดอนตามหลังการปลูกพืชไร่

1.3.3 ฤดูแล้ง

เริ่มเพาะปลูกเดือนธันวาคมถึงมกราคม เก็บเกี่ยวประมาณเดือนมีนาคมถึงเมษายน ส่วนมากปลูกในเขตที่นาหรือปลูกในเขตพื้นที่ชลประทาน นอกจากนี้ยังมีการปลูกริมน้ำ เช่น ริมแม่น้ำโขง เนื่องจากถั่วลิสงเป็นพืชที่ต้องการความอุดมสมบูรณ์สูงจึงจะทำให้ได้ผลผลิตต่อไร่สูง

ถั่วลิสงที่ปลูกปลายฤดูฝนหรือฤดูแล้งจะเป็นถั่วลิสงที่มีคุณภาพดี เนื่องจากในช่วงเก็บเกี่ยวมีความชื้นต่ำ จึงมีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินต่ำ (บุญมี, 2540)

1.4 การเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา (อานนท์, 2532 และ อารีย์, 2544ก)

1.4.1 อายุการเก็บเกี่ยว

ถั่วลิสงมีอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันตามแต่ละชนิดของพันธุ์ ถั่วปลูก และสภาพแวดล้อมอื่นๆ สำหรับถั่วลิสงที่นิยมปลูกในประเทศไทยอายุที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวถั่วลิสง คือ มีอายุประมาณ 100-120 วัน เพื่อให้ทั้งผลผลิตสูงและคุณภาพเมล็ดดี หรืออาจจะสังเกตจากสีฝักด้านใน โดยสีฝักด้านในของพันธุ์ถั่วลิสงส่วนใหญ่จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลดำ สอดคล้องกับจวงจันทรและคณะ (2542) ที่ให้สังเกตการสุกของถั่วลิสงจากสีของเปลือกฝักด้านในที่ต้องเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลดำ หรือดูจากเปลือกหุ้มเมล็ดที่จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีชมพู ทั้งนี้ต้องมีการสุ่มดูหากมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลดำ 60-80% ก็แสดงว่าถึงอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมแล้ว ส่วนถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ได้กำหนดวันเก็บเกี่ยวไว้ว่าเมื่อออกดอกได้ 50% แล้วประมาณ 120 วันก็เก็บเกี่ยวได้ทันที อีกทั้งยังมีรายงานของจวงจันทร (2540) และ เสถียร (2530) ซึ่งกล่าวว่าบางครั้งเกษตรกรจะสังเกตอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของถั่วลิสงจากลักษณะภายนอก คือการสังเกตลักษณะที่ไหม้ของต้นถั่วลิสงซึ่งจะเกิดขึ้นในปลายฤดูปลูก ซึ่งการไหม้ของต้นเกิดเนื่อง จากโรคใบจุดระบาต (Cercospora leaf spot) หรือโรคทางใบอื่นๆ และมักจะเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการสุกแก่ของถั่วลิสงโดยทั่วไป แต่หากโรคใบจุดระบาตตั้งแต่ต้นฤดูที่ปลูกถั่วลิสง หรือกระทบแล้งช่วงปลายฤดูปลูกต้นถั่วลิสงก็อาจทรุดโทรมต่างๆ ที่ฝักยังไม่สุกแก่ หากเก็บเกี่ยวช่วงนี้เมื่อฝักแห้งเมล็ดจะลีบ ดังนั้นจึงควรถอนต้นถั่วลิสงขึ้นมาดูตามวิธีข้างต้น จึงจะได้ถั่วลิสงที่ให้ผลผลิตสูงและคุณภาพเมล็ดที่ดี เมล็ดถั่วลิสงที่อ่อนหรือแก่เกินไปมีโอกาสปนเปื้อนสารพิษอะ ฟลาทอกซินได้มากกว่าเมล็ดที่สุกแก่เต็มที่พอดีเนื่องจากเชื้อราสามารถเข้าทำลายเมล็ดอ่อนได้ง่ายกว่าเมล็ดที่สุกแก่เต็มที่ และการปลูกถั่วลิสงในฤดูแล้งจะมีอายุเก็บเกี่ยวนานกว่าการปลูกในฤดูฝน 5-10 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

1.4.2 การขุดหรือการถอน

การเก็บเกี่ยวถั่วลิสงอาจมีการใช้เครื่องกล ซึ่งรวดเร็วและเหมาะสมสำหรับพื้นที่กว้างใหญ่ แต่ในประเทศไทยนิยมใช้แรงงานคนเก็บ ซึ่งบางแห่งสามารถถอนขึ้นมาได้เลย แต่บางท้องถิ่นดินค่อนข้างแข็งและเหนียวจะต้องขุดขึ้นมา เกษตรกรบางรายใช้วิธีการปล่อยน้ำเข้าแปลงเพื่อให้ดินอ่อนตัวและง่ายต่อการถอน ซึ่งเป็นวิธีการที่ผิด เพราะจะทำให้ถั่วมีความชื้นสูงขึ้น อาจมีปัญหาการเข้าทำลายของรา สำหรับดินทราย การถอนหรือขุดถั่วลิสงสามารถกระทำได้ง่าย ปัจจุบันมีเครื่องขุดถั่วลิสงซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยขอนแก่นและกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร โดยการสนับสนุนของ IDRC สามารถขุดถั่วลิสงได้ 0.35-0.50 ไร่/วัน โดยใช้คน 1 คน ในการเก็บเกี่ยวเมื่อเก็บเกี่ยวขึ้นมาแล้วต้องเขย่าต้นเอาดินออกเพื่อเป็นการทำความสะอาดเบื้องต้นก่อน และในการเก็บเกี่ยวต้องให้เสร็จเร็วที่สุด และต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันมิให้สูญเสียฝักถั่วลิสงจากการขาดติดอยู่ในดินขณะที่ถอนหรือฝักแตกขณะที่ขุด (จวงจันทร, 2540; นรินทร, 2545; เสถียร, 2530)

1.4.3 การลดความชื้นเบื้องต้น

เมื่อมีการเก็บฝักถั่วลิสงมาแล้วควรมีการตากแห้งเพื่อลดความชื้น โดยหลังจากถอนมาแล้วก็ควรหงายต้นให้ฝักผึ่งแดด จนกว่าฝักจะแห้ง คือเมื่อเขย่าแล้วมีเสียงคลอน แต่ต้องระวังไม่ให้ต้นโดนฝน ในการตากควรตากให้ห่างๆ กัน เพื่อที่จะได้แห้งอย่างรวดเร็ว อย่างกองหรือซ้อนกันรวมกันหากต้นยังแห้งไม่สนิท การกองหรือซ้อนกันที่เพิ่งถอนมาใหม่ หรือต้นที่ยังมีความชื้นสูงอยู่แม้เพียงในระยะเวลาอันสั้นก็จะทำให้ต้นและฝักถั่วลิสงเกิดการสะสมความร้อนอย่างรวดเร็ว และทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพได้มาก และควรระมัดระวังอย่าให้ฝักที่กำลังตากถูกพื้นดินหรือน้ำในแปลงจะทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพได้ (เสถียร, 2530) ซึ่งรายงานของพวงทองและสนั่น (2525) ได้ศึกษาถึงการปฏิบัติของเกษตรกรหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรที่ปลูกถั่วลิสงในเขต 3 อำเภอของ จังหวัดกาฬสินธุ์ ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคม 2525 พบว่าเกษตรกรส่วนมากใช้วิธีถอนทั้งต้นแล้ววางพาดไว้บนร่องปลูกเพื่อตากแดดให้ฝักแห้งประมาณ 2-3 แดด

1.4.4 การปลิดฝัก

การปลิดฝักถั่วลิสงมีการปลิดอยู่ 2 วิธี คือการปลิดฝักทันทีหลังการถอนต้นในขณะที่ยังมีความชื้นสูงอยู่มาก จะทำการปลิดฝักโดยจับเอาต้นถั่วสดที่เขย่าเอาดินออกจากฝักแล้วก่อนมาทางปลายให้แน่นๆ ให้ฝักรวมกันอยู่ด้านโคน แล้วฟาดต้นโดยขวางกับท่อน้ำหรือไม้ไผ่บนปากถังหรือเชิงโดยแรงให้เฉพาะต้นถั่วเท่านั้นที่กระแทกกับท่อน้ำหรือไม้ไผ่ ซึ่งถ้าต้นถั่วสดจริงๆ จะมีเฉพาะถั่วลิสงที่สุกแก่เต็มที่แล้วเท่านั้นที่จะหลุดร่วงจากต้น การปลิดด้วยวิธีนี้ต้องอย่าฟาดต้นถั่วมากกว่า 1-2 ครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ฝักที่ไม่สุกแก่เต็มที่หลุดร่วงมาด้วยและอย่าปลิดฝักที่ติดเหลืออยู่ด้วยมือเพราะเป็นฝักที่ไม่สุกแก่เต็มที่ การปลิดอีกแบบคือการปลิดฝักด้วยมือ ซึ่งการปลิดด้วยมือควรปลิดเฉพาะฝักที่สุกแก่เต็มที่แล้ว (เสถียร, 2530) การปลิดฝักด้วยมือจะได้ฝักสดประมาณ 2-4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หากปลิดฝักด้วยการรูดจะได้ฝัก 6-9 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่มีสิ่งเจือปนมากและมีขนาดคดมา 40-80% (จวงจันทร, 2540) อารีย์ (2544จ) ได้ศึกษาการปลิดฝักด้วยมือเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องปลิดแบบต่างๆ พบว่าแต่ละวิธีการก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย โดยการปลิดฝักด้วยมือที่ละฝักจะได้ฝักถั่วที่สะอาด แต่การปลิดวิธีนี้จะได้สิ่งเจือปนมากมีขนาดปนมากมาถึง 40-80% แต่การแตกของฝักมีไม่ถึง 1% โดยในการปลิดฝักด้วยมือควรปลิดเมื่อได้ตากต้นจนฝักแห้งดีแล้วเพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพเร็ว การปลิดด้วยการฟาดนั้น อาจจะนำต้นถั่วฟาดกับขอบปากถังหรือภาชนะอื่นๆ จะทำได้ง่ายถ้าต้นถั่วลิสงยังสด วิธีนี้จะมีถั่วแตกสูงมากถึง 5% (ซึ่งตัวเลขนี้เป็นการศึกษากับถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9) แต่ถ้าเป็นถั่วที่ค่อนข้างแห้งจะมีเปอร์เซ็นต์ฝักแตกน้อยลงแต่จะมีขนาดคดมากขึ้น การปลิดโดยการใช้เครื่องแบบหวีซี่ ความเร็วในการปลิดนี้จะไม่เร็วกว่าการปลิดด้วยมือแต่จะมีขนาดคดเพียง 25-50% มีเปอร์เซ็นต์ฝักแตกน้อยกว่า 1% ส่วนการปลิดโดยการใช้เครื่องปลิดแบบเท้าเหยียบ วิธีนี้จะสามารถปลิดได้เร็วขึ้น และสามารถปลิดทำความสะอาดได้ด้วย และเสถียร (2530) ได้แนะนำไว้ว่าฝักที่ปลิดออกจากต้นแล้วภายใน 1 ชั่วโมงควรรีบนำไปตากแห้ง และเพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดพันธุ์ ถั่วลิสงเสื่อมคุณภาพเร็วควรปลิดฝักเมื่อได้ตากจนต้นและฝักแห้งสนิทแล้ว พวงทอง (2526) ได้สำรวจการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงของเกษตรกรในอำเภอกมลาไสย อำเภอมือ และอำเภอยางตลาด ในจังหวัดกาฬสินธุ์ ในช่วงเก็บเกี่ยวถั่วลิสงฤดูแล้ง ปลายเดือนเมษายนถึงต้นเดือนพฤษภาคม 2526 พบว่าเกษตรกรมากถึง 79% จะทำการปลิดฝักในวันที่ถอน แต่มีบางรายที่หลังจากถอนต้นแล้วจะปล่อยต้นตากแดดไว้บนแปลงปลูก 1-4 วัน เพื่อให้ดินร่วงจากฝักได้ง่ายขึ้นแล้วจึงทำการปลิดฝัก

1.4.5 การตากแห้ง (curing)

ถั่วลิสงที่เก็บเกี่ยวและปลิดฝักแล้วใหม่ๆ มีความชื้นแตกต่างกันตั้งแต่ 25-50% ถั่วลิสงที่ปลูกในฤดูฝนจะมีความชื้นมากกว่าในฤดูแล้ง และถั่วลิสงที่เก็บเกี่ยวขณะที่มีเมล็ดอ่อนมาก ก็จะมีค่าความชื้นสูงกว่าถั่วลิสงที่มีฝักแก่จัด ซึ่งถั่วลิสงเหล่านี้ไม่เหมาะสมที่จะเก็บไว้ ต้องนำไปลดความชื้นหรือทำให้แห้งโดยเร็วที่สุดโดยมีวิธีการลดความชื้นดังนี้

ก. การตากโดยใช้แดดหรือผึ่งลม (natural drying หรือ sun drying)

เสถียร (2530) และ จวงจันทร (2540) ได้กล่าวถึงการตากในไร่ว่าควรทำบนพื้นที่สะอาดราบเรียบ ควรเกลี่ยให้มีความหนาของถั่วลิสงไม่เกิน 10 เซนติเมตร แต่สุกัญญา (2545) ได้แนะนำว่าในการตากถั่วลิสงควรให้มีความหนาของกองไม่เกิน 5 เซนติเมตร การตากบนลานนี้ควรทำการกลับถั่วบ่อยๆ ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่จะตากถั่วลิสงในไร่หรือบริเวณบ้าน ซึ่งเวลาการทำแห้งนี้จะขึ้นกับปริมาณและความเข้มของแสงแดด อุณหภูมิ ปริมาณฝนและความชื้นในอากาศ ในการตากฝักถั่วลิสงนี้ต้องมีการตากจนเมล็ดมีความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10% โดยเสถียร (2530) ได้แนะนำว่าควรมีการลดความชื้นของถั่วลิสงให้เหลือประมาณ 7-9% ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมแก่การนำฝักถั่วลิสงไปบรรจุกระสอบและเก็บรักษารอการจำหน่าย แต่อย่างไรก็ตามในฤดูฝนจะเป็นการยากถ้าต้องตากให้ได้ความชื้นน้อยกว่า 10% แต่ก็ต้องตากให้ได้ความชื้นต่ำสุด 12% พวงทอง (2526) ได้ศึกษาการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงของเกษตรกรในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่าเกษตรกรส่วนมากตากถั่วลิสงบนพื้นดินในแปลงนา แคร่ไม้ไผ่ เสื่อ กระด้ง สังกะสีมากถึง 77% มีเพียงส่วนน้อยที่ตากบนวัสดุที่ต้องลงทุน เช่น บนลานซีเมนต์ซึ่งมักจะขออาศัยใช้กับผู้อื่น และยังมีบางส่วนที่ตากบนวัสดุที่ลงทุนซื้อในราคาถูก เช่น ตาข่ายไนล่อน และการตากถั่วลิสงของเกษตรกรประมาณ 40% ตากถั่วลิสงประมาณ 4-5 วัน ประมาณ 32% ตากเพียง 1-3 วัน ที่เหลือตากมากกว่า 5 วัน โดยสังเกตว่าถ้าฝักแห้งเวลาเขย่าเมล็ดจะสั่นคลอนอยู่ภายใน และเชื้อหุ้มเมล็ดจะหลุดลอกง่ายเมื่อถูกบีบ (จวงจันทรและคณะ, 2542)

ข. การทำแห้งโดยใช้ความร้อน (artificial drying)

โดยทั่วไปเครื่องลดความชื้นสำหรับถั่วลิสงยังไม่นิยมใช้กัน เนื่องจากมีราคาแพงและประสิทธิภาพของการลดความชื้นยังไม่ได้ผลดีนักซึ่งคณะวิจัยแห่งมหาวิทยาลัย

ขอนแก่นได้ประดิษฐ์เครื่องอบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบต่างๆ โดยพิจารณาถึงทั้งด้านราคาถูก สะดวกต่อการใช้งานของเกษตรกรด้วย โดยมีเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพอยู่ 2 แบบ คือ เครื่องอบแบบเต็นท์ และเครื่องอบแบบเอ ไอ ที ซึ่งมีหลักการเหมือนกันคือ จะทำให้ถั่วลิสงภายในตู้อบได้รับแสงแดดและดูดซับความร้อนไว้ ขณะเดียวกันแผ่นพลาสติกที่คลุมอยู่เหนือถั่วลิสงจะป้องกันความร้อนไม่ให้หายไป อากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นด้านบนไปออกทางปล่องที่เปิดไว้ อากาศที่เย็นภายนอกจะถ่ายเทเข้ามาทางด้านล่างของตู้อบด้วยแรงพาของไอร้อนที่ไหลขึ้นข้างบน ดังนั้นอากาศร้อนในตู้อบก็จะนำพาความชื้นจากถั่วลิสงออกไปด้วย อีกทั้งยังมีการทดลองสร้างเครื่องอบถั่วลิสงชนิดลมร้อนขนาดเล็ก มีความจุถั่วลิสงทั้งฝักประมาณ 5 ตัน ในราคาต้นทุนประมาณ 2 แสนบาท สามารถอบถั่วลิสงได้ครั้งละ 4-5 ตัน หรือน้อยกว่านี้ โดยมีค่าใช้จ่ายด้านวัสดุเชื้อเพลิงและไฟฟ้าประมาณ 1-2 บาทต่อกิโลกรัม ใช้เวลาในการอบถั่วลิสงประมาณ 2 วันและสามารถใช้อบถั่วลิสงทั้งฝักที่จะใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ได้ด้วย (จวงจันทร์, 2540)

1.4.6 การเก็บรักษา (storage)

ถั่วลิสงเป็นผลผลิตที่เสื่อมเสียง่ายในช่วงของการเก็บรักษา เช่น ถูกทำลายด้วยจุลินทรีย์ แมลง ศัตรูกัดแทะ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงภายในโดยกระบวนการทางชีวเคมี ทำให้กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป ความสามารถในการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดลดลง เมล็ดถั่วลิสงเองอาจมีการดูดซับกลิ่นหรือสารเคมีจากบริเวณใกล้เคียงได้ด้วย ดังนั้นสภาพการเก็บรักษาจะต้องดี สะอาด อากาศถ่ายเทสะดวก สถานที่เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ควรเป็นสถานที่ที่สะอาด เย็น แห้ง อากาศถ่ายเทได้สะดวก ไม่ร้อน ไม่อับชื้น ไม่ควรให้ถั่วลิสงสัมผัสพื้น ควรมีวัสดุกันความชื้นรองรับ โดยทั่วไปนิยมวางบนแคร่ไม้ เพื่อไม่ให้ถั่วลิสงดูดซับความชื้นจากพื้นดินและในระหว่างการเก็บควรรมด้วย Phostoxin ทุกๆ 3 เดือน เพื่อควบคุมและป้องกันการเข้าทำลายของแมลงในระหว่างการเก็บรักษา และไม่เก็บรวมกับน้ำมันเชื้อเพลิง ปุ๋ยเคมีและยาอื่นๆ ที่จะทำอันตรายแก่เมล็ดพันธุ์หรือทำให้เกิดการปนเปื้อนระหว่างการเก็บรักษาได้ ถั่วลิสงที่ตากจนมีความชื้นไม่เกิน 10% จะต้องบรรจุลงในกระสอบ อารีย์ (2544ง) พบว่าสามารถเก็บถั่วลิสงที่ยังไม่กะเทาะเปลือกไว้ในสภาพปกติได้นานถึง 8 เดือนโดยที่ความชื้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ความสามารถในการงอกลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 4 เดือน ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับอารีย์ (2544ข) ที่กล่าวว่า หากเก็บถั่วลิสงไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ 10-20 °C สามารถเก็บถั่วลิสงไว้ได้นานถึง 10 เดือน อีกทั้งยังมีรายงานจากอารีย์ (2544ค) ที่กล่าวว่าเมื่อมีการควบคุมอุณหภูมิของห้องเก็บให้อยู่ที่ 20 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 50% จะสามารถเก็บเมล็ดไว้ในฝักได้นานถึง 18 เดือน แต่อย่างไรก็ตามถั่วลิสงส่วนใหญ่จะ

อยู่ในมือเกษตรกรเป็นเพียงระยะเวลาสั้นๆ แล้วเกษตรกรจะขายให้พ่อค้าในรูปของฝัก ผู้ซื้อจะนำไปกะเทาะด้วยเครื่องในท้องถิ่น จากนั้นก็ส่งไปให้พ่อค้าคนกลางจนถึงผู้ส่งออกหรือผู้ซื้อไปแปรรูป ซึ่งถั่วลิสงที่กะเทาะเปลือกแล้วจะมีโอกาสเสื่อมคุณภาพได้ง่ายกว่าถั่วที่ยังไม่กะเทาะเปลือก ดังนั้นในการเก็บรักษาควรมีการตรวจคุณภาพได้แก่ ความชื้นให้ต่ำกว่า 7% ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยที่สุดจากการเข้าทำลายของเชื้อรา (ปริศนา และ สุภัตน์, 2532) ค่า water activity (a_w) ควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.6 อะฟลาทอกซินต่ำกว่า 20 ppb และควรมีการกำจัดสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดเสียออกโดยใช้ตะแกรงร่อนหรือเครื่องฟัด ซึ่งไม่ควรมีเกิน 4% ในระดับไร้ รายงานจากพวงทอง (2526) พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่จะนำถั่วลิสงไปเก็บไว้ในบริเวณบ้านเพื่อรอการจำหน่าย โดยส่วนมาก 56% จะเก็บถั่วลิสงไว้แบบกองสุมไว้บนบ้านหรือใต้ถุนบ้าน และอีก 36% จะเก็บถั่วลิสงไว้ในกระสอบป่านหรือถุงปุ๋ยโดยเก็บไว้บนบ้านหรือใต้ถุนบ้านและในยุ้งข้าว

1.4.7 การกะเทาะเปลือก (Shelling)

ถั่วลิสงที่มีการใช้ในรูปแบบเมล็ดถั่วลิสงจะต้องมีการกะเทาะเปลือกก่อนโดยมีทั้งแบบกะเทาะด้วยมือซึ่งใช้ไม้บีบที่ทำจากไม้ไผ่ โดยสามารถกะเทาะได้ประมาณ 0.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการกะเทาะที่ต่ำมากจึงอาจใช้เครื่องกะเทาะแทนได้ (สุรเวทย์, 2540) เครื่องกะเทาะเปลือกถั่วลิสงมีหลายแบบ (จวงจันท์, 2540) เช่น

ก. เครื่องกะเทาะถั่วลิสงแบบล้อยาง ใช้ล้อยางรถยนต์ และใช้มือหมุนหรือติดมอเตอร์ เครื่องกะเทาะชนิดมือหมุนนี้สามารถกะเทาะฝักถั่วลิสงได้ชั่วโมงละ 40-60 กิโลกรัม ประสิทธิภาพในการกะเทาะประมาณ 95% เมล็ดแตกหักประมาณ 3-5% ส่วนเครื่องชนิดมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถกะเทาะฝักถั่วลิสงได้ชั่วโมงละ 300 กิโลกรัมประสิทธิภาพในการกะเทาะประมาณ 95% เมล็ดแตกหักประมาณ 4-5% ความสะอาด 99.5%

ข. เครื่องกะเทาะแบบใช้เครื่องยนต์ เป็นเครื่องขนาดใหญ่ สามารถกะเทาะได้ชั่วโมงละ 350-400 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการกะเทาะประมาณ 70-80% มีเมล็ดแตกหัก 3-5%

กรมวิชาการเกษตร (2545) ได้แนะนำว่าควรกะเทาะถั่วลิสงฝักแห้งภายใน 3 เดือนเพื่อรักษาคุณภาพด้านการบริโภค

1.5 การใช้ประโยชน์

การใช้ประโยชน์จากถั่วลิสงมีมากมายโดยจะมีการแปรรูปไปเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับบริโภค ซึ่งวิชัย และคณะ (2550) ได้ระบุถึงผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงที่ได้พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยไว้มากมาย ซึ่งสามารถแบ่งแยกประเภทได้ดังนี้

1.5.1 ถั่วลิสงทั้งเปลือก ทำเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงคั่วทราย

1.5.2 ถั่วลิสงกะเทาะเปลือกแล้ว ทำเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงต้มบรรจุกระป๋อง ถั่วลิสงทอดถั่วลิสงคั่วป่น ถั่วลิสงอบเคลือบน้ำตาล ถั่วลิสงชุบแป้งทอด ถั่วลิสงแผ่นทอด ถั่วลิสงแผ่นทอดกลอย เหมเป็จากถั่วลิสง เนยถั่วลิสง เนยถั่วลิสงผสมงาขาวรสโกโก้ ฟินทบาร์ ถั่วตัด ถั่วกระจก ตูบต๊ับ น้ำจิ้มสะเต๊ะ เต้าหู้ ชอสถั่วลิสง เต้าเจี้ยวถั่วลิสง

1.5.3 ผลิตภัณฑ์จากแป้งถั่วลิสง ทำเป็นผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมแป้งถั่วลิสง เกษตรโปรตีน อาหารเสริมเด็กอ่อน ไอศกรีม เบอ์เกอร์ไก่เสริมแป้งถั่วลิสง อาหารขบเคี้ยวเสริมคุณค่าทางโภชนาการด้วยแป้งถั่วลิสง เป็นต้น

1.6 คุณภาพและมาตรฐานของถั่วลิสงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูป (วิชัย และ เพ็ญขวัญ, 2546)

คุณภาพถั่วลิสงทั้งเปลือก และถั่วลิสงกะเทาะเปลือก แบ่งได้เป็น 3 ระดับชั้น ดังนี้

1.6.1 ระดับชั้นที่ 1 ถั่วลิสงชั้นดี

1.6.2 ระดับชั้นที่ 2 ถั่วลิสงชั้นรอง

1.6.3 ระดับชั้นที่ 3 ถั่วลิสงชั้นสาม

เฉพาะถั่วลิสงกะเทาะเปลือกจะเพิ่มข้อกำหนดของขนาดเมล็ดดังนี้

ก. ถั่วลิสงชั้นดี ต้องมีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 23.04/64 นิ้วขึ้นไป

ข. ถั่วลิสงชั้นรอง ต้องมีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 17.92/64 นิ้วขึ้นไป แต่ไม่เกิน

23.04/64 นิ้ว

ค. ถั่วลิสงชั้นสาม ต้องมีความยาวเฉลี่ยไม่เกิน 17.92/64 นิ้ว

มาตรฐานระดับชั้นถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9

ถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 เป็นพันธุ์ถั่วลิสงที่มีการปลูกมากที่สุดในประเทศ ปริมาณการเพาะปลูกจะมากกว่า 80% ของพื้นที่การเพาะปลูกทั้งประเทศ จากการศึกษาระดับชั้นของถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 พบว่า

ก. ขนาดที่ค้ำบนตะแกรงนัมเบอร์ 21.5/64 x $\frac{3}{4}$ นิ้ว คือ เมล็ดขนาดใหญ่

ข. ขนาดที่ค้ำบนตะแกรงนัมเบอร์ 18/64 x $\frac{3}{4}$ นิ้ว คือ เมล็ดขนาดกลาง

ค. ขนาดที่ค้ำบนตะแกรงนัมเบอร์ 16/64 x $\frac{3}{4}$ นิ้ว คือ เมล็ดขนาดเล็ก

ง. ขนาดที่ลอดตะแกรงนัมเบอร์ 16/64 x $\frac{3}{4}$ นิ้ว คือ เมล็ดลีบ

ในการนำถั่วลิสงไปแปรรูปต้องมีการคำนึงถึงข้อกำหนดคุณภาพดังต่อไปนี้

(วิชัย, 2546)

1) ต้องปราศจากสารพิษอะฟลาทอกซิน

2) เมล็ดต้องสมบูรณ์ ปราศจากรอยย่น เมล็ดลีบ เมล็ดเล็ก และรูปร่างผิดปกติ

- 3) ปราศจากรอยแผล แผลง รอยขีดข่วน รอยชำ
- 4) ไม่มีเมล็ดเน่าเสีย ซึ่งเมล็ดมักจะมีสีเทา น้ำตาล และดำ
- 5) เนื้อเมล็ดมีสีขาวนวล
- 6) เชื้อหุ้มเมล็ดไม่มีรอยถลอก
- 7) เมล็ดยังไม่งอก
- 8) ความชื้นไม่เกิน 8% และ a_w ไม่เกิน 0.6
- 9) ไม่มีกลิ่นสาป เหม็นหืน กลิ่น รส ผิดปกติ
- 10) จุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่า 1000 โคโลนี/กรัม
- 11) ยีสต์และราต่ำกว่า 100 โคโลนี/กรัม
- 12) โคลิฟอร์มน้อยกว่า 3.0 MPN/g
- 13) อี.โค.ไล. ไม่พบ
- 14) สเตปฟีโลคอคคัส ออเรียสไม่พบ

ถั่วลิสงสามารถแบ่งขนาดได้ 5 ขนาดดังนี้

- 1) ขนาดใหญ่มาก (จัมโบ้)
- 2) ขนาดใหญ่ (ก้างบนตะแกรงนัมเบอร์ 21.5/64 x $\frac{3}{4}$ นิ้ว)

3) ขนาดกลาง (ค้ำบนตะแกรงนัมเบอร์ 18/64 x $\frac{3}{4}$ นิ้ว)

4) ขนาดเล็ก (ค้ำบนตะแกรงนัมเบอร์ 16/64 x $\frac{3}{4}$ นิ้ว)

5) เมล็ดลีบ (ลวดตะแกรงนัมเบอร์ 16/64 x $\frac{3}{4}$ นิ้ว)

1.7 การตลาดถั่วลิสง (บุญมี, 2540 และ สุกัดและคณะ, 2545)

บุญมี (2540) กล่าวว่าถั่วลิสงที่ทำการเก็บเกี่ยวแล้วเกษตรกรจะขายถั่วลิสงในสภาพต่างๆ กัน แบ่งตามประเภทสินค้าได้ 3 ประเภทคือ ถั่วลิสงฝักแห้ง ถั่วลิสงฝักสด และเมล็ดพันธุ์ และสุกัดและคณะ (2545) ได้ศึกษาถึงการตลาดของถั่วลิสงภาคเหนือตอนบนไว้ดังนี้

1.7.1 การตลาดถั่วลิสงฝักต้ม

ในเขตภาคเหนือตอนบนมีผู้ประกอบการรายใหญ่อยู่ 2 แห่ง คือ อำเภอสันป่าตอง และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีกำลังการผลิตถั่วต้มประมาณวันละ 80-100 ถัง เป็น การประกอบธุรกิจขนาดย่อมในครัวเรือน พันธุ์ที่นิยมใช้คือ พันธุ์กาฬสินธุ์ 1 (แดงลิ้น) กาฬสินธุ์ 2 (พันธุ์จัมโบ้ลาย หรือพระราชทาน) และพันธุ์ขอนแก่น 60-2 ผลผลิตถั่วลิสงฝักต้มของเกษตรกรได้จากการผลิต 3 ถู คือ ถูฝน ปลายฤดูฝน และฤดูแล้ง ผลผลิตเข้าสู่โรงงานมากที่สุด 4 ช่วง คือ สิงหาคม-กันยายน พฤศจิกายน-ธันวาคม มกราคม-กุมภาพันธ์ และ เมษายน-มิถุนายน รูปแบบ การตลาดของถั่วลิสงจากแหล่งผลิตสู่โรงงานถั่วลิสงต้มมีอยู่ 2 แบบ โดยแบบที่ 1 หลังจากเกษตรกร เก็บเกี่ยวผลผลิต พ่อค้าท้องถิ่นจะรวบรวมผลผลิตถั่วลิสงฝักสดมายังแหล่งรับซื้อที่จังหวัดเชียงใหม่ และกระจายไปยังโรงงานผู้ประกอบการ ผลผลิตฝักสดส่วนหนึ่งจะส่งไปยังตลาดท้องถิ่นและ ตลาดอื่นๆ เช่น กรุงเทพฯ หลังจากนั้นผลผลิตถั่วลิสงฝักต้มจะกระจายผ่านพ่อค้าท้องถิ่นหรือ ห้างสรรพสินค้าใหญ่สู่ผู้บริโภค และแบบที่ 2 จะเป็นการประกอบการธุรกิจร่วมกันระหว่าง ผู้ประกอบการในท้องถิ่น กับผู้ประกอบการต่างถิ่นซึ่งทำการค้าถั่วลิสงสดอยู่ที่ตลาดไท กรุงเทพฯ ผู้ประกอบการท้องถิ่นจะรวบรวมผลผลิตถั่วลิสงสดมาจากเกษตรกรไปยังผู้ประกอบการท้องถิ่นอื่น หลังจากนั้นถั่วลิสงฝักสดจะส่งไปยังโรงงานถั่วลิสงต้มที่สระบุรีหรือกรุงเทพฯ ส่วนหนึ่งส่งไปยัง โรงงานแปรรูป เพื่อส่งไปจำหน่ายที่ห้างสรรพสินค้าใหญ่ และส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ผลผลิต ฝักสดประมาณปีละ 1,800 ตัน ซึ่งวิธีการตลาดถั่วลิสงฝักต้มของเขตภาคเหนือตอนบนของถั่วลิสง

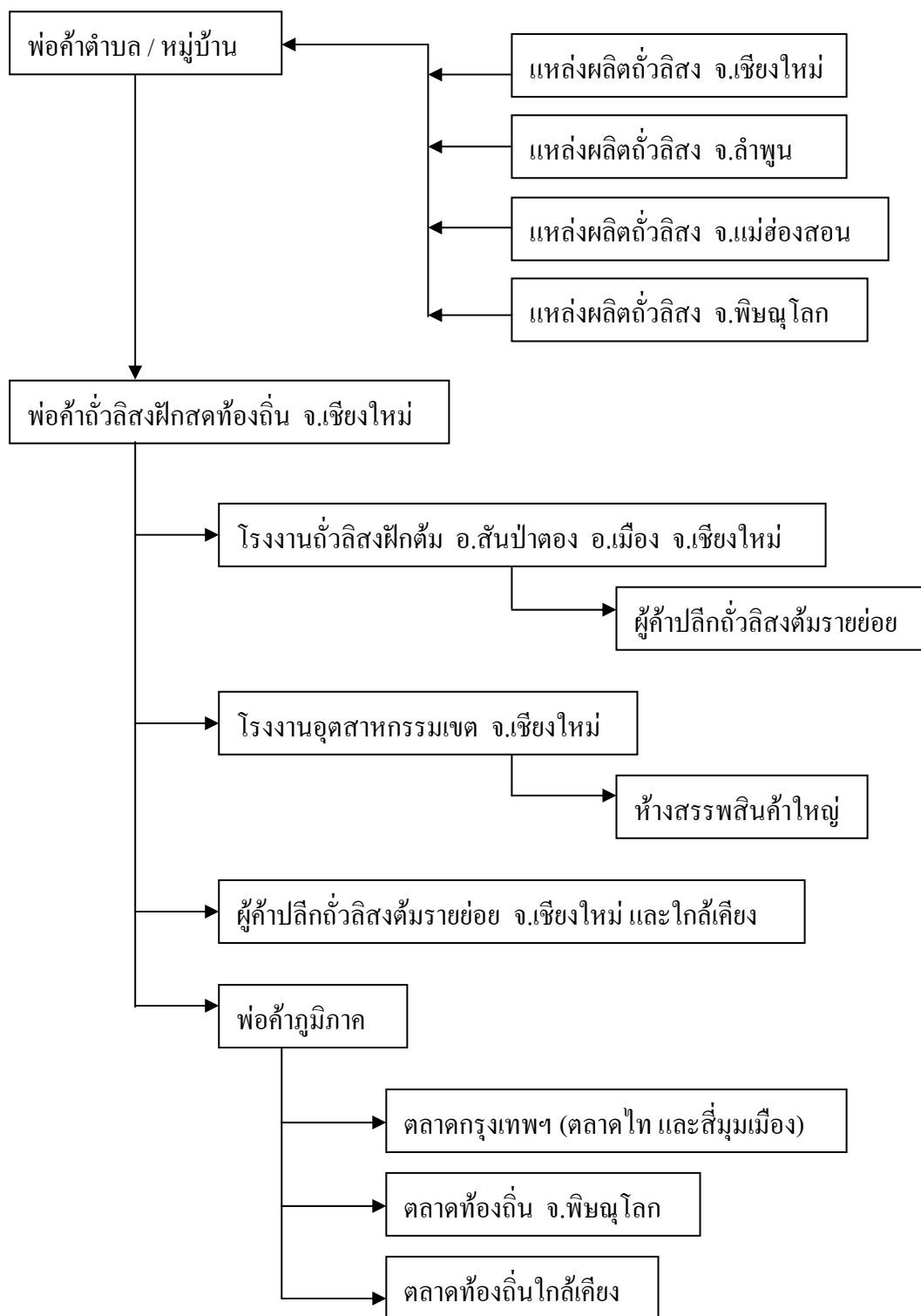
ฝักคัมทั้ง 2 แบบแสดงดังภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ปัญหาที่พบของผู้ประกอบการและเกษตรกรคือ บางฤดูกาลถั่วลิสงฝักสดจะล้นตลาด ทำให้ราคาต่ำ และถ้าจะขายให้โรงงานกะเทาะเปลือกก็จะได้ราคาต่ำเช่นกันเนื่องจากถั่วลิสงฝักคัมจะมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะต่ำ และสุธานี (2549) ได้กล่าวถึงการตลาดถั่วลิสงฝักคัมไว้ว่าจะเป็นถั่วลิสงที่เก็บเกี่ยวเมื่อยังไม่แก่เต็มที่เนื่องจากจะทำให้ได้ถั่วลิสงที่รสชาติดี และถั่วลิสงจะถูกส่งเข้าโรงคัมโดยเร็วที่สุด จึงต้องมีการตกลงกันระหว่างเกษตรกรและผู้ค้าก่อนเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงเป็นระบบที่เกษตรกรและผู้ค้าต้องใกล้ชิดกันมาก และผู้ค้าจะมีแหล่งที่จะหาถั่วลิสงสดเข้าสู่โรงคัมได้เกือบตลอดทั้งปี ราคาถั่วลิสงในระบบนี้จะขึ้นลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคและปริมาณการผลิต ในช่วงที่ผลิตถั่วลิสงได้ยาก เช่น ช่วงเดือนธันวาคม – มกราคม ราคาจะขึ้นสูงมาก การผลิตถั่วลิสงฝักสดจะให้ผลตอบแทนสูงกว่าการผลิตถั่วลิสงฝักแห้ง

1.7.2 การตลาดถั่วลิสงกะเทาะเปลือก

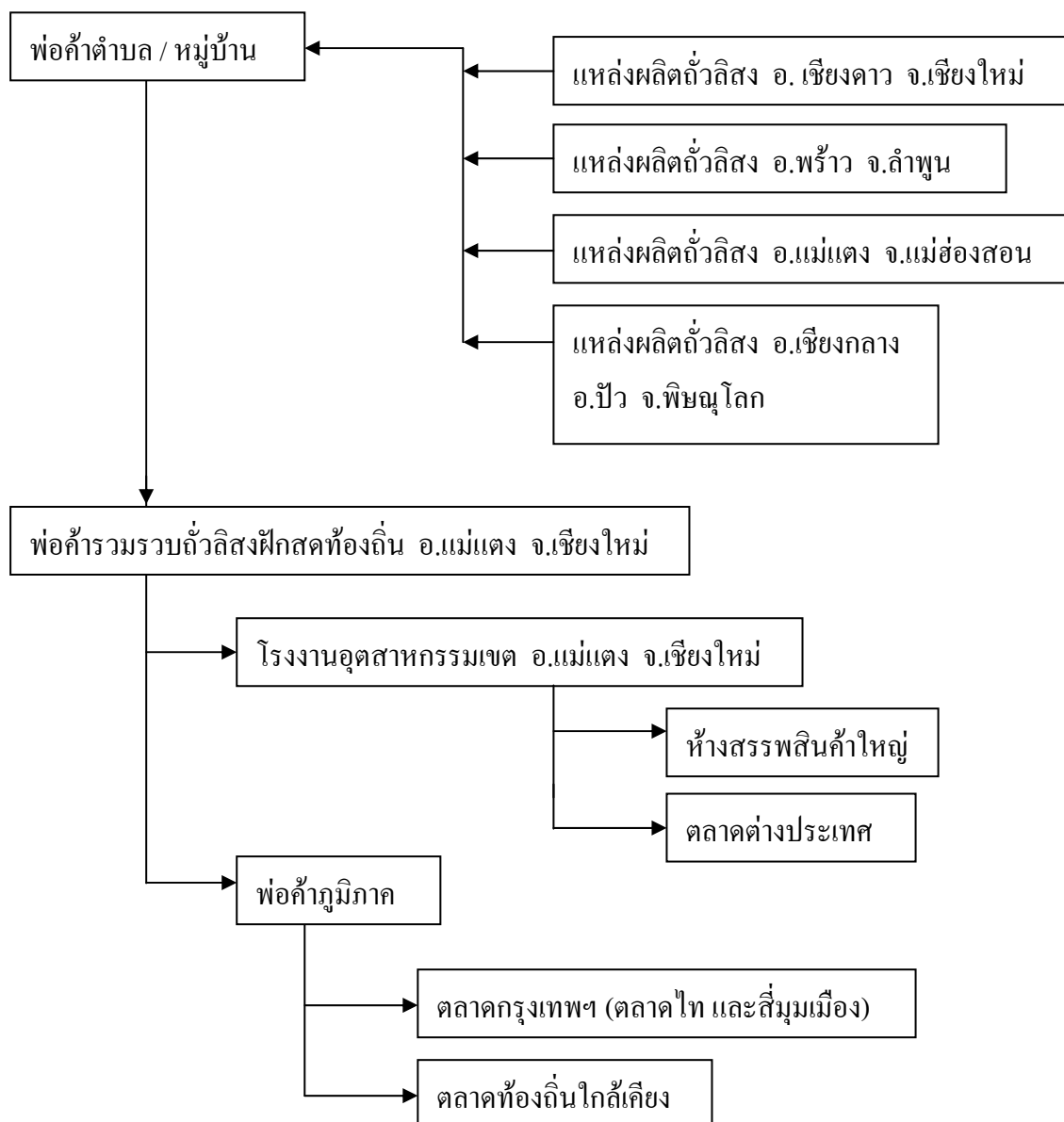
ในเขตภาคเหนือตอนบนมีผู้ประกอบการถั่วลิสงกะเทาะเปลือกหลายแห่ง ซึ่งในปัจจุบันมี 2 จังหวัด คือ ลำปาง และเชียงใหม่ มีกำลังการผลิตประมาณ 4-5 ตันต่อวัน ส่วนใหญ่ทำในรูปอุตสาหกรรมขนาดย่อมในครัวเรือน ช่วงที่มีผลผลิตถั่วลิสงเข้าสู่โรงงานมากที่สุดมี 2 ช่วง คือ เมษายน-มิถุนายน และธันวาคม-มกราคม พันธุ์ถั่วลิสงสำหรับการกะเทาะเปลือกที่นิยมคือ พันธุ์ไทนาน 9 ขอนแก่น 5 และพันธุ์พื้นเมือง ผลผลิตการปลูกถั่วลิสงกะเทาะเปลือกมาจากการปลูก 3 ถู คือ ถูฝน ปลายฤดูฝน และ ถูแล้ง ในจังหวัดเชียงใหม่เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิต พ่อค้าท้องถิ่นจะรวบรวมผลผลิตถั่วลิสงฝักแห้งจากแหล่งผลิตต่างๆ ส่งโรงงานกะเทาะเปลือกที่จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีประมาณ 9 แห่ง มีกำลังการผลิตแต่ละประมาณ 4-5 ตันต่อวัน โรงงานส่วนใหญ่ประกอบกิจการในลักษณะของอุตสาหกรรมขนาดย่อมในครัวเรือน เมล็ดถั่วลิสงที่กะเทาะได้แบ่งเป็น 4 เกรด คือ A, B, C และ D แล้วส่งไปจำหน่ายในตลาดขายส่งที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ตลาดท้องถิ่น ตลาดในจังหวัดใกล้เคียง และตลาดกรุงเทพฯ แสดงดังภาพที่ 1 และ 2 และวิธีการตลาดของถั่วลิสงกะเทาะเปลือกของจังหวัดเชียงใหม่แสดงดังภาพที่ 3 ส่วนจังหวัดลำปางเมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วลิสงฝักแห้งแล้วจะส่งให้โรงงานกะเทาะเปลือกที่อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ซึ่งมีประมาณ 25 แห่ง มีกำลังการผลิตประมาณ 5-7 ตันต่อวัน โรงงานส่วนใหญ่จะประกอบกิจการในลักษณะอุตสาหกรรมขนาดย่อมในครัวเรือน เมล็ดถั่วลิสงที่กะเทาะแล้วจะนำไปจำหน่ายที่ตลาดขายส่ง คือ ตลาดท้องถิ่น ตลาดในจังหวัดใกล้เคียง และตลาดกรุงเทพฯ ปัญหาของผู้ประกอบการและเกษตรกรที่สำคัญ คือ ประสิทธิภาพขาดทุนและขายผลผลิตได้ราคาต่ำ เนื่องจาก

มีการนำเข้าถั่วลิสงกะเทาะเปลือกจากต่างประเทศอย่างเสรี ทำให้ต้นทุนถั่วลิสงกะเทาะเปลือกนำเข้าถูกกว่าต้นทุนการผลิตภายในประเทศ ซึ่งวิธีการตลาดของถั่วลิสงกะเทาะเปลือกของจังหวัดลำปางแสดงดังภาพที่ 4

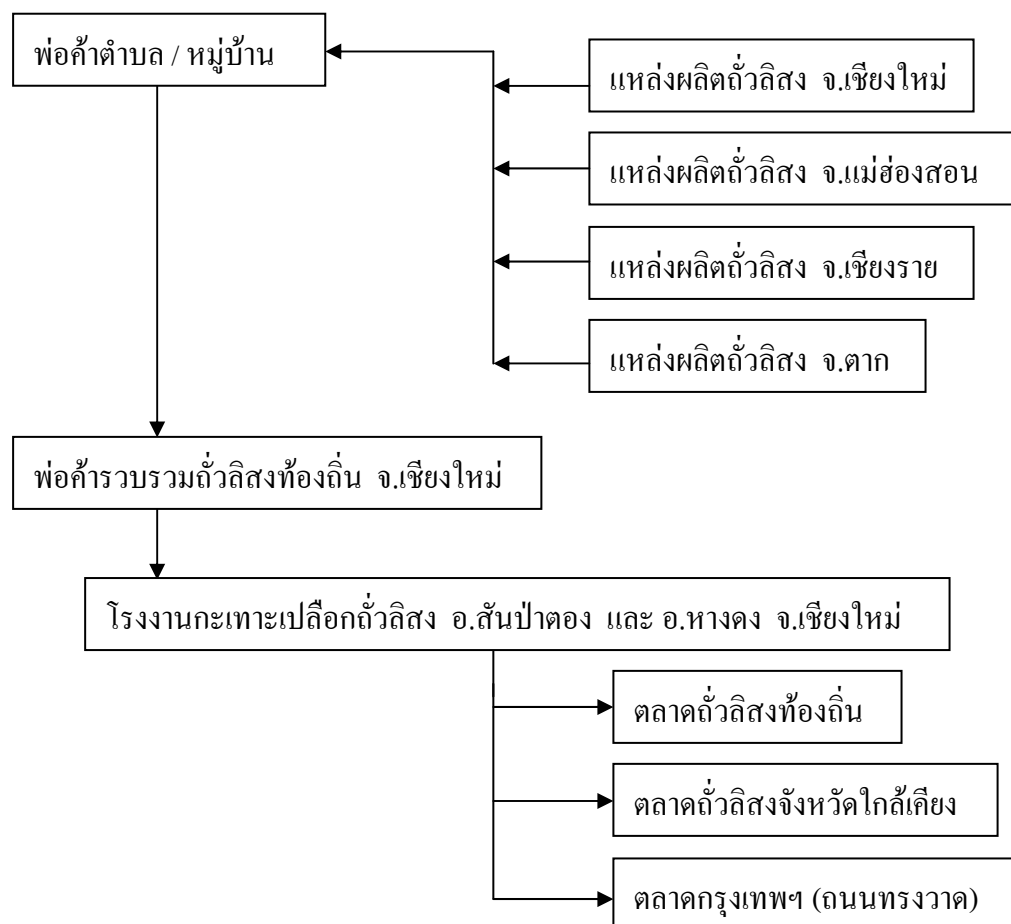
บุญมี (2540) ได้กล่าวถึงระบบการตลาดถั่วลิสงฝักแห้งไว้ว่าถั่วลิสงฝักแห้งจะเข้าสู่โรงงานกะเทาะเปลือกโดยการรับซื้อเฉพาะถั่วลิสงที่แห้งแล้วจากพ่อค้าในหมู่บ้าน พ่อค้าเร่ พ่อค้าพืชไร่ หรือเกษตรกรก็เอามาขายให้โรงงานเองโดยตรง ปริมาณการรับซื้อของโรงงานจะซื้อไว้เป็นวัตถุดิบ และทยอยกะเทาะเปลือกตามความต้องการของโรงงานแปรรูป และจะมีการเก็บถั่วลิสงไว้สำรองไม่เกิน 3 เดือน เนื่องจากสีของเยื่อหุ้มเมล็ดจะเปลี่ยนไปจนไม่เป็นที่ต้องการของตลาด โรงงานจึงกะเทาะเปลือกเมื่อมีความต้องการเท่านั้น หลังจากกะเทาะเปลือกแล้วจะมีการคัดขนาดเมล็ดถั่วลิสงออกเป็น 3 ขนาด คือ เกรด 1 ขนาดเมล็ดใหญ่สม่ำเสมอไม่มีเมล็ดแตกปนมาก ถั่วลิสงเกรด 2 จะขายส่ง โรงงานนำมาทำถั่วลิสงป่นหรือโรงงานสกัดน้ำมันถั่วลิสง ถั่วลิสงเกรด 3 นำไปสกัดน้ำมัน (บุญมี, 2540)



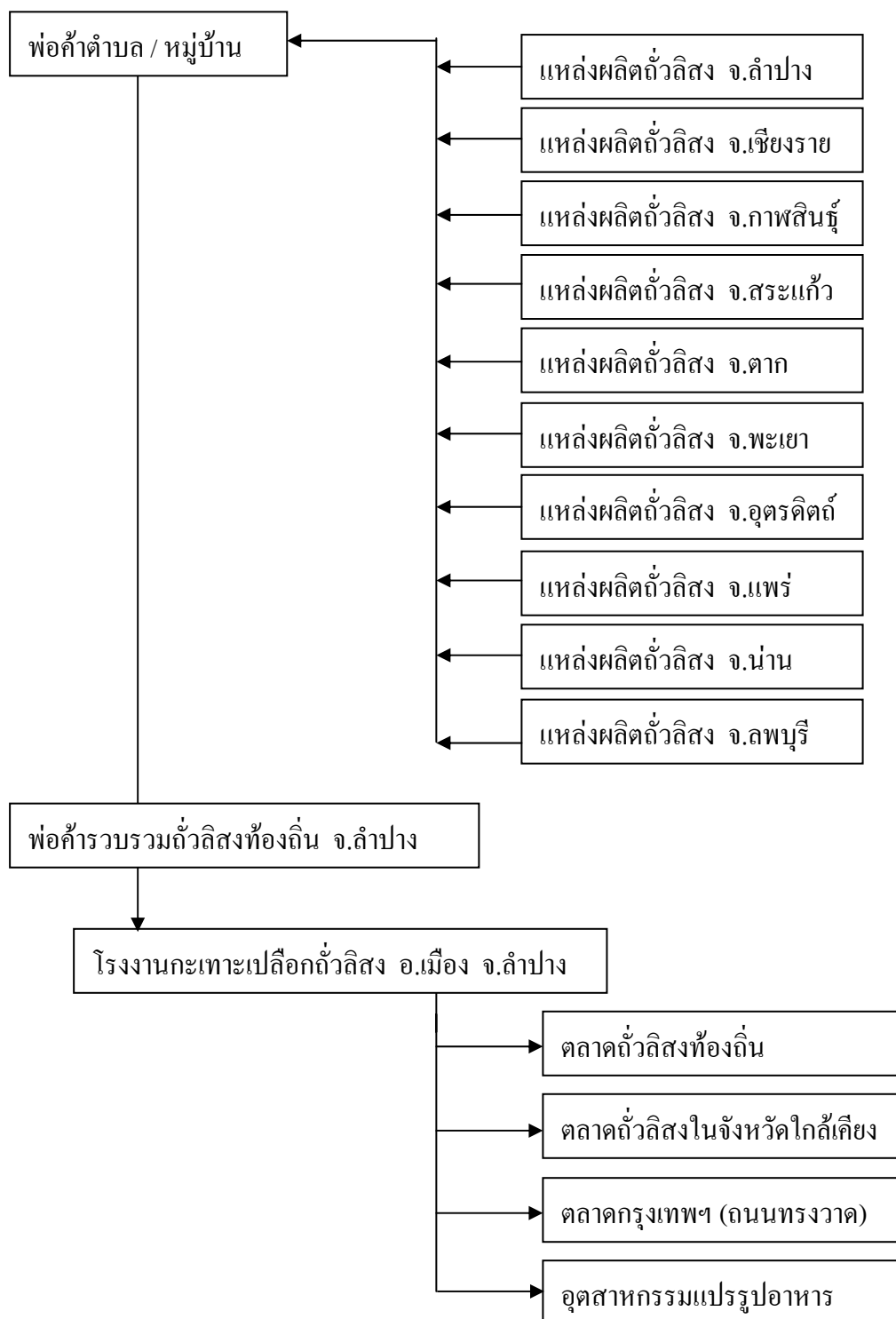
ภาพที่ 1 วิธีการตลาดถั่วลิสงฝักต้มในเขตภาคเหนือตอนบนแบบที่ 1
ที่มา : สุทัต และคณะ (2545)



ภาพที่ 2 วิธีการตลาดถั่วลิสงฝักต้มในเขตภาคเหนือตอนบนแบบที่ 2
ที่มา : สุทัต และคณะ (2545)



ภาพที่ 3 วิธีการตลาดถั่วลิสงกะเทาะเปลือกในเขตภาคเหนือตอนบนจังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : สุทัศน์ และคณะ (2545)



ภาพที่ 4 วิธีการตลาดถั่วลิสงกะเทาะเปลือกในเขตภาคเหนือตอนบนจังหวัดลำปาง
ที่มา : สุทัต และคณะ (2545)

2. อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin)

อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) เป็นสารพิษที่สร้างโดยเชื้อรา *A.flavus*, *A.paraciticus*, *A. tamarii* และ *A. nomicus* ซึ่งสารพิษนี้พบมากในเมล็ดธัญพืช และพืชน้ำมันชนิดต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี ข้าว ข้าวบาร์เลย์ ถั่วลิสง พริก มะพร้าว เครื่องเทศ สมุนไพร กุ้งแห้ง น้ำมันพืช นม เนย ไข่ ขนมหที่ทำจากถั่วลิสงชนิดต่างๆ เบียร์ กาแฟ และอาหารแปรรูปทุกชนิดที่ใช้วัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์เกษตรที่มีเชื้อราชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่ก่อน เป็นต้น ซึ่งอาหารที่พบว่ามีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินอยู่สูง ได้แก่ ถั่วลิสง โดยเฉพาะถั่วลิสงป่น (อมรา, 2547) มีรายงานการวิเคราะห์คุณภาพถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงจำนวน 713 ตัวอย่าง ของ ดวงจันทร์ และ วนิดา (2547) ระหว่างปี 2537 – 2545 ซึ่งพบว่ามีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน 17% และมีตัวอย่าง 9% ที่มีอะฟลาทอกซินเกินค่ามาตรฐาน โดยค่าที่พบสูงสุดคือ 3,238.00 ppb โดยพบว่าขนม ถั่วลิสงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินมากที่สุดคือ 74% คือตรวจพบ 17 ตัวอย่างจากทั้งหมด 23 ตัวอย่าง ที่ระดับ 5.16 – 389.80 ppb และในถั่วลิสงดิบมีการพบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน 21% และพบเกินค่ามาตรฐาน 11% และมี 2 ค่าที่พบมากเป็นพิเศษคือ 3,238.00 และ 1,671.30 ppb สุกัลักษณ์ (2548) ได้กล่าวถึงรายงานการสำรวจร้านก๋วยเตี๋ยวต้มยำ 120 ตัวอย่าง พบว่ามีสารพิษอะฟลาทอกซินปนเปื้อนอยู่ถึง 90% และในหลายประเทศนิยมใช้น้ำมันถั่วลิสงในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อไม่ให้ติดกัน เส้นก๋วยเตี๋ยวจึงมีการปนเปื้อนด้วย จากการศึกษาคีที่เชียงใหม่ในปี 2534 พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยว 10 ตัวอย่างมีสารพิษอะฟลาทอกซินปนเปื้อนอยู่ถึง 6 ตัวอย่าง

2.1 อันตรายของสารพิษอะฟลาทอกซิน

สุกัลักษณ์ (2548) กล่าวถึงผลการวิจัยการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงในอาหารว่าในแต่ละปีมีประชากรของโลกประมาณ 1,500 ล้านคน ป่วยเป็นโรคท้องร่วง และโรคติดเชื้อต่างๆ เนื่องจากดื่มหรือรับประทานอาหารที่ไม่สะอาด ในจำนวนนี้เสียชีวิตประมาณ 3 ล้านคน และยังมีผู้ได้รับพิษอย่างเฉียบพลันชนิดที่กินเข้าไปแล้วเสียชีวิตทันทีอีกจำนวนหนึ่ง จากการศึกษาสาเหตุการเกิดโรคมะเร็งพบว่า 35% มาจากอาหาร และสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งสูงสุดคือ อะฟลาทอกซิน ซึ่งเป็นสารพิษที่พบมากในถั่วลิสง ข้าวโพด และพริกป่น

สารพิษอะฟลาทอกซินที่พบตามธรรมชาติมีอยู่ 4 ชนิด คือ อะฟลาทอกซิน B1, B2, G1, G2 โดย อะฟลาทอกซิน B1 จะมีความเป็นพิษสูงสุด ซึ่งในปี 1988 องค์การ IARC

(International Agency for Research on Cancer) ยังได้ประกาศว่าสารพิษ อะฟลาทอกซิน B1 เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ และมีการศึกษาจากเอเชียและแอฟริกาที่พบความสัมพันธ์ระหว่างการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อน สารพิษอะฟลาทอกซินกับการเป็นมะเร็งตับ (Anonymous, 2005) อีกทั้งสารพิษอะฟลาทอกซินยังก่อให้เกิดโรคระบาดในคนได้ดังเช่น ในประเทศอินเดีย ในปี 2510 ที่พบเด็กเล็กอายุประมาณ 3 ขวบ เจ็บป่วยและตายเนื่องจากการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินอยู่ โดยมีอาการตับมีขนาดใหญ่ขึ้น มีไขมันสะสมมากขึ้น เซลล์ตับจะเป็น fibrosis ทำให้แตกง่าย เรียกโรคระบาดนี้ว่า Indian childhood cirrhosis หรือในกรณีที่เกิดในประเทศไทย ในปี 2514 พบเด็กเล็กป่วย โดยมีอาการคลื่นไส้ ชัก หดสติ และตายภายใน 24-48 ชั่วโมง เนื่องจากการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินอยู่ ซึ่งมีการตรวจพบว่ามีสมองบวม ตับถูกทำลายและมีไขมันสะสมอยู่ด้วย ซึ่งเรียกโรคนี้ว่า Reye' syndrome ซึ่งยังพบอาการนี้ในประเทศนิวซีแลนด์ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ แอฟริกาใต้ และเชโกสโลวาเกียอีกด้วย อีกทั้งยังพบโรคระบาดในสัตว์ที่เรียกว่า Turkey-x disease ที่เกิดในประเทศอังกฤษ ในปี 2503 ที่ไก่ลงตายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการกินอาหารที่มีกากถั่วลิสงเป็นส่วนประกอบ และพบว่าสาเหตุเกิดจากการมีเชื้อรา *A.flavus* และอะฟลาทอกซินปนเปื้อนอยู่ในกากถั่วลิสงนั้น (อรุณศรี, 2540) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาถึงผลของการได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินกับหมู โดยมีการให้อาหารที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินแก่หมู ซึ่งพบว่าทำให้การเจริญเติบโตของหมูลดลง (Marin *et al.*, 2002)

2.2 การเจริญของเชื้อราในถั่วลิสง

เชื้อรา *Aspergillus* สามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มีความชื้นสูงและอากาศอบอุ่น ดังเช่นพื้นที่ของประเทศไทย สภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของ *A.flavus* แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของ *Aspergillus flavus*

สภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของ <i>Aspergillus flavus</i>		
ปัจจัย	สภาวะที่เหมาะสมที่สุด	ช่วงของสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ
อุณหภูมิ (°C)	30	27 – 43
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	85	62 – 99
ความชื้นในเมล็ดพืช (%)	18	13 – 20

ที่มา : ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (2548)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการสร้างสารพิษจากเชื้อรา (อรุณศรี, 2540 : อมรา, 2547 : ปริศนา และสุกัณฑ์, 2532 : ศุภลักษณ์, 2548)

การเจริญและการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อรา *A.flavus* ขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้

2.3.1 ชนิดของเชื้อรา

เชื้อราแต่ละชนิดมีความสามารถในการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินต่างกัน โดยพบว่าเชื้อราที่สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ได้แก่ *A.flavus*, *A.parasiticus* and *A.nomius* (Dorner and Cloe, 2002) ซึ่งเชื้อราแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้แตกต่างกัน และบางสายพันธุ์ก็ไม่สามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ซึ่งจากการศึกษาการสร้างสารพิษของเชื้อรา *A.flavus* มากกว่า 500 ตัวอย่าง พบว่าสามารถสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ประมาณ 40% ของตัวอย่าง และมีความสามารถในการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินในระดับต่างๆ กัน ดังนั้นการไม่มีเชื้อรา *A.flavus* เจริญอยู่บนเมล็ดพืช ไม่ได้หมายความว่าปลอดภัยจากสารพิษอะฟลาทอกซิน เพราะบางครั้งเชื้อราถูกทำลายแต่สารพิษจะยังคงอยู่ในเมล็ดพืช

2.3.2 แหล่งอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อรา

อาหารที่ต่างกันจะมีธาตุอาหารที่ต่างกัน โดยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญและสร้างสารพิษของเชื้อรา ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไนโตรเจน และธาตุอาหารเสริมที่สำคัญ เช่น เหล็ก สังกะสี เป็นต้น ซึ่งถ้าอาหารไม่มีธาตุอาหารที่จำเป็นเหล่านี้การสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินก็จะไม่เกิดขึ้น โดยพบว่าอนุมูลของสังกะสีและแคดเมียมมีผลกระตุ้นการสร้างอะฟลาทอกซิน ซึ่งถ้าเกลือแร่ที่เสริมสร้างการสร้างสารพิษมีปริมาณน้อยลง โดยเกลือแร่เหล่านี้ไปจับกับสารอื่น ปริมาณการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินก็จะน้อยลงไปด้วย เช่น ถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไฟติก (Phytic acid) สูงซึ่งจะจับตัวอยู่กับสังกะสีได้มาก จึงมักพบสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วเหลืองน้อยกว่าถั่วชนิดอื่น จากการศึกษาเปรียบเทียบการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินในอาหารที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลชนิดต่างๆ พบว่าซูโครสช่วยให้เชื้อราผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินได้ดีที่สุด

2.3.3 ปฏิกริยาระหว่างเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดที่ขึ้นปะปนกันมีผลกระทบต่อการเจริญและการสร้างสารพิษ โดยพบว่าข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวขณะที่มีความชื้นสูงมีเชื้อรา *Fusarium sp.* และ *A.flavus* เจริญเป็นจำนวนมาก แต่ไม่มีการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน

2.3.4 วิธีการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา

วิธีการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษามีผลต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา ซึ่งเชื้อราอาจเข้าทำลายผลิตผลได้ง่ายเมื่อเมล็ดมีแผล ซึ่งอาจเป็นแผลที่เกิดจากการเก็บเกี่ยว ขนย้าย ขนส่ง และระหว่างการเก็บรักษา โดยมีการศึกษาของ จวงจันท์ และคณะ (2543ค) ซึ่งพบว่าการเก็บรักษา ถั่วลิสงไว้ในที่อุณหภูมิห้องจะทำให้เมล็ดถั่วลิสงมีความชื้นสูงกว่าการเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้องเก็บที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แต่ก็พบว่าสภาพแวดล้อมในการปลูก การจัดการในแปลง การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่าสภาพแวดล้อมและระยะเวลาในการเก็บรักษา

2.3.5 ความชื้น

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและสร้างสารพิษของเชื้อราคือ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85% หรือ a_w ประมาณ 0.70 – 0.99 อีกทั้งการเจริญของเชื้อรา *A.flavus* ยังขึ้นอยู่กับความชื้นในเมล็ดพืชด้วย โดยความชื้นในเมล็ดพืชที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา *A.flavus* คือ 18% (ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2548) ดังนั้นจึงมีการกำหนดปริมาณความชื้นที่ปลอดภัยซึ่งเป็นระดับความชื้นที่เชื้อราไม่เจริญซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของผลิตผลแต่ละชนิด คือ เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง เท่ากับ 13% หรือต่ำกว่า ถั่วเหลือง 8% เมล็ดฝ้าย 10% และ ถั่วลิสง 7% เป็นต้น แต่จากการศึกษาของ วุฒิสักดิ์ และคณะ (2540) ที่ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกเชื้อรา *A.flavus* และการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินบนถั่วลิสงพบว่าในสภาพธรรมชาติที่ระดับความชื้น 28.0 – 46.7% และความชื้นต่ำกว่า 8.3% ไม่พบการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน แต่ที่ระดับความชื้น 14.7 – 25.4% พบสารพิษ 0.83 – 8.33 ppb ดังนั้นการเก็บถั่วลิสงเพื่อให้ปลอดภัยจากการติดเชื้อรา *A.flavus* ควรจะตากให้ผลถั่วลิสงมีความชื้นต่ำกว่า 7% หรือประมาณ 7-8 แดด

2.3.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราและการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน คือ ช่วงอุณหภูมิ 25-35 °C ซึ่งจะทำให้เชื้อราสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินใน 48 ชั่วโมง อุณหภูมิ ในระหว่างการปลูกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลสูงต่อการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินในข้าวโพด ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย และพืชตระกูลถั่ว ซึ่งในสภาพธรรมชาติของผลิตผลทางการเกษตรอุณหภูมิเป็น ปัจจัยสำคัญกว่าความชื้น

2.3.7 แสง

แสงมีอิทธิพลต่อการงอก การเจริญของเส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อรา สำหรับการผลิตอะฟลาทอกซิน พบว่า การผลิตอะฟลาทอกซิน B1 เกิดขึ้นได้ดีในสภาพมืด และ พบว่าแสงจากดวงอาทิตย์สามารถยับยั้งการสังเคราะห์อะฟลาทอกซินได้

2.3.8 ปริมาณของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการงอกของสปอร์ การ เจริญ การสร้างสปอร์ และการผลิตสารพิษของเชื้อรา โดยเมื่อปริมาณออกซิเจนลดลงและปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จะทำให้การผลิตอะฟลาทอกซินลดลง โดยพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 20% ของบรรยากาศมีผลให้การเจริญของ *A.flavus* ลดลงมากกว่า 80% และทำให้การผลิตอะฟลา ทอกซินลดลง การลดปริมาณออกซิเจนจนเหลือ 10% ของบรรยากาศมีผลทำให้การผลิตอะฟลา ทอกซินลดลง และออกซิเจนที่ระดับ 1% หรือน้อยกว่าสามารถยับยั้งการเจริญและการสร้างสารพิษ ได้อย่างสมบูรณ์

2.3.9 การเข้าทำลายของแมลง

การเข้าทำลายของแมลงจะส่งเสริมการเข้าทำลายของสารพิษอะฟลาทอกซินได้ เนื่องจาก การเข้าทำลายของแมลงจะทำให้พืชอ่อนแอ เชื้อราเข้าทำลายได้ง่ายมากขึ้น อีกทั้งแมลงยัง เปิดทางให้เชื้อราเข้าสู่พืชได้ง่าย ซึ่งการทำลายของแมลงจะเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยว จนกระทั่งเมื่อเก็บรักษา นอกจากนี้การเข้าทำลายของแมลงยังทำให้ความชื้นในเมล็ดสูงขึ้นด้วย

2.4 การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง

การปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงพบทั้งในระยะปลูก ก่อนเก็บเกี่ยว ระหว่างเก็บเกี่ยว หลังเก็บเกี่ยว ตั้งแต่การตากแห้ง ในระหว่างการเก็บรักษาของเกษตรกร ในขณะที่อยู่ที่โรงงานกะเทาะเปลือก รวมถึงเมล็ดถั่วลิสง และผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงที่วางขายในท้องตลาดก็มี การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินค่อนข้างสูง โดยเฉพาะถั่วลิสงที่ปลูกในฤดูฝนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากในช่วงเก็บเกี่ยวมีความชื้นในอากาศสูง (ธรรมศักดิ์, 2533; วุฒิสักดิ์ และคณะ, 2540) สอดคล้องกับการศึกษาของ ศุภสิทธิ์ (2543) ที่ศึกษาถึงอิทธิพลของฤดูปลูกและอายุการเก็บเกี่ยวต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง 3 พันธุ์ พบว่าฤดูปลูกที่ต่างกันจะมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินที่ต่างกัน โดยถั่วลิสงที่ปลูกต้นฤดูฝนจะมีสารพิษอะฟลาทอกซินสูงกว่าที่ปลูกปลายฤดูฝน เนื่องจากช่วงเก็บเกี่ยวของถั่วลิสงที่ปลูกต้นฤดูฝนจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูง อีกทั้งอายุการเก็บเกี่ยวและพันธุ์ก็มีผลต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน โดยเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 90, 100 และ 110 วันจะมีปริมาณอะฟลาทอกซินมากขึ้นตามลำดับ และพบว่าพันธุ์มข. 1 มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินน้อยที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ไทนาน 9 และพันธุ์ขอนแก่น 4

2.4.1 การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินก่อนการเก็บเกี่ยว

ผลการศึกษาของอรุณศรี (2540) พบว่าปัญหาอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงของประเทศไทยมักเป็นปัญหาหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากไม่สามารถลดความชื้นลงได้ทันก่อนการเข้าทำลายและการสร้างสารพิษของเชื้อรา และสำหรับปัญหาการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงในไร่จะพบในกรณีที่ถั่วลิสงอยู่ในระยะพัฒนาฝัก และเกิดสภาวะกระทบแล้งอย่างรุนแรง โดยเฉพาะช่วง 30 วันก่อนเก็บเกี่ยว ทำให้การพัฒนาเนื้อเยื่อของฝักไม่สมบูรณ์จึงเป็นช่องทางให้เชื้อรา *A.flavus* ที่อยู่ในดินเข้าทำลายได้ง่าย และอีกสาเหตุเกิดกรณีฝักถั่วถูกแมลงในดินเข้าทำลายก็จะเกิดเป็นช่องเปิดให้เชื้อราเข้าทำลาย รวมถึงการที่เมื่อฝักถั่วแก่จนพร้อมที่จะเก็บเกี่ยวแล้วแต่ยังไม่เก็บก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อราเนื่องจากเมื่อฝักถั่วแก่เต็มที่แล้วจะมีการแตกออกตามธรรมชาติซึ่งจะเป็นช่องทางให้เชื้อราเข้าทำลาย ซึ่งจะเห็นได้ว่าโอกาสที่ เชื้อรา *A.flavus* จะเข้าทำลายและสร้างสารพิษในถั่วลิสงขณะอยู่ในไร่เป็นไปได้ยาก ถ้ามีการป้องกันเรื่องการขาดน้ำ การเข้าทำลายของแมลง และการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงให้ตรงตามอายุการเก็บเกี่ยว เพราะโดยธรรมชาติของพืชไร่ระหว่างที่มีการเจริญเติบโตจะมีการสร้างสารออกมาป้องกันตัวเองอยู่แล้ว ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ชนิดและจำนวนเชื้อราที่พบในถั่วลิสงในเวลาต่างๆ ตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนถึงระหว่างเก็บรักษา

ชนิดเชื้อรา	เชื้อรา (%)			
	เมื่อเก็บเกี่ยว	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
<i>A. 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 spp.</i>	-	17.1	20.3	26.5
<i>Fusarium spp.</i>	0.3	8.6	5.9	6.5
<i>Penicillium spp.</i>	-	0.7	3.5	8.5

ที่มา : จินตนา (2540)

ตารางที่ 5 ชนิดและจำนวนเชื้อราที่พบในถั่วลิสงประเภทต่างๆ

ชนิดเชื้อรา	เชื้อรา (%)		
	เมล็ดเต็ม	เมล็ดซีก	เมล็ดเน่า
<i>A. flavus</i>	21.5	54.5	87.5
<i>A. niger</i>	34.0	80.5	91.5
<i>A. glaucus</i>	3.5	23.0	36.5
<i>Rhizopus spp.</i>	21.0	57.0	80.5
<i>Fusarium spp.</i>	6.5	8.0	0.3
<i>Penicillium spp.</i>	5.0	10.3	21.5

ที่มา : จินตนา (2540)

การปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงก่อนการเก็บเกี่ยวได้มีรายงานของอรุณศรี และคณะ (2525) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่ปลูกในฤดูแล้ง ในเขตที่มีการชลประทานของจังหวัดลำปาง ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์จำนวน 40 ตัวอย่างพบเชื้อรา *A. flavus* 9% แต่ไม่พบสารพิษอะฟลาทอกซิน ซึ่งขัดแย้งกับการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในตัวอย่างถั่วลิสงที่เก็บจากไร่เกษตรกร และโกดังเก็บรักษาเมล็ดพืชเพื่อการส่งออก

ในปี พ.ศ. 2523 ของประเทืองศรี และ ไพจิตร (2530) พบว่าถั่วลิสงจำนวน 34 ตัวอย่างมีปริมาณอะฟลาทอกซิน อยู่ระหว่าง 0 – 1,980 ppb ซึ่งเป็นปริมาณอะฟลาทอกซินที่สูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกถั่วลิสงในฤดูแล้งจังหวัดกาฬสินธุ์ ของพวงทอง (2526) โดยตรวจพบเชื้อรา *A.flavus* ในระดับ 1-97% ถึง 165 ตัวอย่างจากถั่วลิสงจำนวน 166 ตัวอย่าง และจากการวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซิน 181 ตัวอย่าง พบตัวอย่างที่มีอะฟลาทอกซินมากกว่า 20 ppb เพียง 11 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อรา *A.flavus* กับการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินพบว่าการมีเชื้อราไม่ได้หมายความว่า จะมีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินเสมอไป และจากการศึกษาของบุญมี (2540) ซึ่งได้ศึกษาถึงการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงของ จังหวัดสุรินทร์ พบว่าถั่วลิสงในระยะเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกแมลงในดินทำลายตรวจไม่พบสารพิษอะฟลาทอกซินเลย แต่ตัวอย่างถั่วลิสงจากเกษตรกรที่ถูกแมลงในดินทำลายตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซินสูงถึง 1,000 ppb ส่วนถั่วลิสงจาก จังหวัดขอนแก่น พบว่าถั่วลิสงทั้งจากเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการภายใต้คำแนะนำการป้องกันการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงและไม่เข้าร่วมโครงการมีการตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซินเท่ากันคือ 12 ppb จากการตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงตั้งแต่ระยะเก็บเกี่ยวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเข้าทำลายของเชื้อราในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว แต่ขัดแย้งกับผลการศึกษาของวันทนา (2540) ที่ตรวจพบว่าถั่วลิสงที่มีบาดแผลมีปริมาณอะฟลาทอกซินได้สูงถึง 5,000 ppb ส่วนถั่วลิสงที่ไม่มีบาดแผลก็ตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซินได้สูงถึง 1,250 ppb เช่นกัน

2.4.2 การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินขณะเก็บเกี่ยว

การปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงขณะเก็บเกี่ยวได้มีรายงานของ อรุณศรี และคณะ (2525) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่ปลูกในฤดูแล้งในเขตที่มีการชลประทานของจังหวัดลำปาง ขณะเก็บเกี่ยวจำนวน 40 ตัวอย่าง พบเชื้อรา *A.flavus* 27% แต่พบสารพิษอะฟลาทอกซิน 3 ตัวอย่าง (20, 20 และ 30 ppb)

2.4.3 การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินหลังการเก็บเกี่ยว

วันทนา (2540) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงในขั้นของโรงงานกะเทาะเปลือก ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะฟลาทอกซิน โดยเฉพาะในฤดูฝนจะมีปริมาณอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้นมากกว่าในฤดูแล้ง

เนื่องจากในฤดูฝนมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา และการสร้างอะฟลาทอกซิน โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอุณหภูมิสูงสุดของการเก็บรักษาเท่ากับ 80% และ 27-35 ° C ตามลำดับ ในขณะที่ฤดูแล้งมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 70% และมีอุณหภูมิสูงสุด 30-40 ° C

การคัดแยกเกรดเมล็ดถั่วลิสงมีผลในการลดปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง แต่ไม่เด่นชัดว่าปริมาณอะฟลาทอกซินจะลดลงในถั่วเกรดใดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างถั่วลิสงแห้ง ซึ่งมีความชื้นเมล็ด 8.55% กับถั่วลิสงชื้น มีความชื้นเมล็ด 27% โดยไม่มีการปลูกเชื้อพบว่าเมื่อความชื้นเมล็ดเพิ่มขึ้น เชื้อรามีการเจริญเติบโตดีมากในถั่วที่มีบาดแผล และมีการสร้างอะฟลาทอกซินได้สูงถึง 5,000 ppb ส่วนในถั่วที่ไม่มีบาดแผลมีการตรวจพบอะฟลาทอกซินได้ถึง 1,250 ppb เช่นกัน

การปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงหลังการเก็บเกี่ยวได้มีรายงานของอรุณศรีและคณะ (2525) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่ปลูกในฤดูแล้งในเขตที่มีการชลประทานของจังหวัดลำปาง หลังการเก็บเกี่ยวโดยสุ่มเก็บตัวอย่างถั่วลิสงจากพ่อค้าคนกลาง 2 ลักษณะคือ ถั่วลิสงที่ยังไม่กะเทาะเปลือกและถั่วลิสงกะเทาะเปลือกชนิดต่างๆ โดยพบว่าถั่วลิสงที่ยังไม่กะเทาะเปลือกอายุ 1 สัปดาห์ 1 เดือน และ 1 ปี พบว่ามีอะฟลาทอกซินทุกอายุการเก็บในปริมาณ 30 – 75 ppb ส่วนถั่วลิสงที่กะเทาะเปลือกทำการสุ่มตัวอย่าง 3 ชนิด คือถั่วลิสงเมล็ดโต ถั่วชิก และถั่วเน่าพบว่ามีปริมาณอะฟลาทอกซิน 20-50 ppb, 30-350 ppb และ 75-1,350 ppb ตามลำดับ ซึ่งรายงานการติดตามการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในสภาพการเก็บรักษาของโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงที่ จังหวัดกาฬสินธุ์ เมื่อฤดูฝนปี 2537 ของวันทนา (2540) พบว่าถั่วลิสงที่นำเข้ามาในโรงงานมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินแล้วถึง 15.4 ppb และเมื่อเก็บใส่กระสอบวางซ้อนกันตามวิธีการเก็บของโรงงานปกติเมื่อเวลา 28 วัน ถั่วลิสงมีการปนเปื้อนสูงถึง 728 ppb จากการศึกษาเรื่องอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงของเกศรา (2526) พบว่าตัวอย่างถั่วลิสงที่เก็บจากโรงกะเทาะเปลือกถั่วลิสงจำนวน 6 แห่งในจังหวัดลำปาง 3 แห่งในจังหวัดศรีสะเกษ และ 2 แห่งในจังหวัดระยอง ช่วงธันวาคม 2525 – ธันวาคม 2526 พบว่าถั่วลิสงชั้น 1 และ 2 ที่เก็บในช่วงฤดูแล้ง (เดือนธันวาคม) มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินต่ำกว่า 20 ppb ส่วนถั่วลิสงในฤดูฝน โดยเฉพาะเดือนกันยายนจะมีปริมาณอะฟลาทอกซินสูง และจากการศึกษาของบุญมี (2540) ที่ตรวจสอบปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงหลังจากตากแห้งจนมีความชื้นน้อยกว่า 14% พบว่าตรวจไม่พบสารพิษอะฟลาทอกซิน แต่ถั่วลิสงที่มีความชื้นในเมล็ดระหว่าง 18-20% จะมี

ระดับสารพิษอะฟลาทอกซินสูงถึง 25 ppb และหากไม่มีการคัดเลือกเมล็ดเสียออกไปจะมีปริมาณอะฟลาทอกซินสูงถึง 102 ppb โดยเมื่อคัดเลือกเมล็ดจะแบ่งได้ 3 เกรดโดยถั่วลิสงเกรด 1 และ 2 พบปริมาณอะฟลาทอกซิน 44 และ 0 ppb ในขณะที่ถั่วลิสงเกรด 3 ที่เป็นถั่วที่ไม่มีการคัดเลือกเมล็ดเสียพบปริมาณอะฟลาทอกซินสูงถึง 350 ppb สำหรับปัญหาการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณของเชื้อราและสารพิษอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่อยู่บนลานตาก และระยะเวลาที่เก็บไว้ในโกดังของพ่อค้า (อรุณศรี, 2540)

2.4.4 การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินระหว่างการเก็บรักษา

การปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในขั้นการเก็บรักษาถั่วลิสงได้มีการศึกษาของ จวงจันทร และคณะ (2543ข) ได้ศึกษาคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 และเกษตร 1 ที่มีระดับการสุกแตกต่างกัน ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษาถั่วลิสงที่มีระดับการสุกแตกต่างกัน คือ สุกแก่ปานกลาง และอ่อน ทั้งที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้องและที่เก็บไว้ในห้องเก็บที่อุณหภูมิ 10 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ตรวจไม่พบการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน ส่วนความชื้นของเมล็ดพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษาไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยมีความชื้นในช่วง 5-6% และการเก็บถั่วลิสงไว้เป็นระยะเวลา 12 เดือน ตรวจไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าเมล็ดถั่วลิสงที่มีความชื้นต่ำและไม่มี การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินเมื่อบรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทก่อนการเก็บรักษา ช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในระหว่างการเก็บรักษาได้ และ จวงจันทร และคณะ (2543ก) ได้ศึกษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่างการเก็บรักษาในเมล็ดถั่วลิสงที่มีขนาดต่างกันของถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 เกษตร 1 และเกษตรศาสตร์ 50 พบว่าปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของเมล็ด โดยพบว่าถั่วลิสงลื้อดที่ตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซินตอนเริ่มต้น จะมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนลื้อดที่ตรวจไม่พบสารพิษอะฟลาทอกซินตั้งแต่แรกเริ่มจะไม่พบสารพิษอะฟลาทอกซินในระหว่างการเก็บรักษา และพบว่าการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินไม่มีความสัมพันธ์อย่างเด่นชัดกับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ แต่มีแนวโน้มว่าเมล็ดที่ปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินสูงมีความสามารถในการงอกต่ำและสูญเสียความสามารถในการงอกเร็วกว่าเมล็ดปกติและเมล็ดที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินต่ำ ส่วนเมล็ดขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าเมล็ดขนาดใหญ่และเมล็ดคละขนาด อีกทั้งยังพบว่าถั่วลิสงที่ได้มาจากแหล่งการปลูกที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม มีการจัดการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวไม่ถูกต้อง จะมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอก

จีนสูงกว่าถั่วลิสงที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และมีการจัดการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องเหมาะสม ส่วนการศึกษาคุณภาพเบื้องต้นและการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่เก็บไว้ทั้งฝักของถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 เกษตร 1 และเกษตรศาสตร์ 50 ของจวงจันท์ และคณะ (2543) พบว่าถั่วลิสงทุกล็อตทั้งที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 12 เดือนมีความชื้นเพิ่มขึ้น และมีคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่า การเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องจะทำให้เมล็ดถั่วลิสงมีความชื้นสูงกว่าการเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเก็บที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อีกทั้งจากการศึกษา ยังพบว่า สภาพแวดล้อมในการปลูก การจัดการในแปลง การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่าสภาพแวดล้อมและระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสรเสรีญ (2543) ที่ศึกษาถึงอิทธิพลของความชื้นเริ่มต้น วิธีการเก็บรักษา และขนาดเมล็ดต่อคุณภาพการเก็บรักษาของเมล็ดถั่วลิสง พบว่าความชื้นมีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินเมื่อเก็บรักษาเมล็ดในกระสอบปุย โดยมีค่าสหสัมพันธ์เป็น -0.81 และพบว่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดถั่วลิสง วิธีการเก็บรักษา และขนาดเมล็ดมีผลต่อความชื้นเมล็ดขณะเก็บรักษาและความสามารถในการงอกของเมล็ด ขณะที่วิธีการเก็บรักษาเท่านั้นที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในเมล็ด ดังนั้นการลดความชื้น วิธีการเก็บรักษา และการคัดขนาดเมล็ดที่เหมาะสมทำให้สามารถรักษาคุณภาพของถั่วลิสงไว้ได้

2.4.5 การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง

ส่วนการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงมีการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาซึ่งได้ศึกษาเฝ้าระวังความปลอดภัยด้านอาหารกลุ่มเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน โดยเก็บตัวอย่างถั่วลิสงจำนวน 130 ตัวอย่าง จากแหล่งแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 16 ตัวอย่าง ได้แก่ ถั่วลิสงดิบ 6 ตัวอย่าง ถั่วลิสงคั่ว 3 ตัวอย่าง ถั่วลิสงป่น 5 ตัวอย่าง และถั่วลิสงแปรรูป 2 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างจำนวน 221 ตัวอย่างจากแหล่งจำหน่าย พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 82 ตัวอย่าง ได้แก่ ถั่วลิสงดิบ 20 ตัวอย่าง ถั่วลิสงคั่ว 11 ตัวอย่าง ถั่วลิสงป่น 48 ตัวอย่าง และถั่วลิสงแปรรูป 3 ตัวอย่าง (วัฒนา, 2548) และจากการศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์ระหว่างปี 2537 – 2545 ของ ดวงจันทร์ และวนิดา (2547) พบว่าจากตัวอย่างถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 713 ตัวอย่างพบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินทั้งสิ้น 115 ตัวอย่างคิดเป็น 17% ที่ระดับ 0.7 – 3,238 ppb ซึ่งในตัวอย่างที่ตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซินนั้นมีอยู่ 63 ตัวอย่างคิดเป็น 9% ที่มีสาร

อะฟลาทอกซินเกินมาตรฐาน 20 ppb โดยพบว่าคั่วดิบเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากที่สุดซึ่งเมื่อเทียบกับการตรวจในปี 2525-2536 พบว่าขนมคั่วดิบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอในการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน คือพบในอัตราและปริมาณใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลา 21 ปีที่ผ่านมา เป็นไปได้ว่าขนมดังกล่าวผลิตจากผู้ผลิตกลุ่มเดิมที่ไม่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความปลอดภัยขึ้น ส่วนผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วลิสงที่ไม่ได้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์พบสารพิษอะฟลาทอกซินถึง 46.60 ppb ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของประเทืองศรี และไพจิตร (2530) ที่รายงานว่าน้ำมันพืชที่ขายตามท้องตลาดที่ใช้ถั่วลิสงเป็นวัตถุดิบ และสกัดน้ำมันโดยวิธีบีบแบบธรรมชาตินั้นมีสารพิษอะฟลาทอกซินในน้ำมันมากกว่า 25 ppb และมีการศึกษาของวิชัย และคณะ (2532) ที่ได้มีการสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงชุบแป้งทอดจำนวน 24 ตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพพบว่ามีสารพิษอะฟลาทอกซินเกือบทุกตัวอย่างและมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินเกินกว่ากำหนดมาตรฐาน 20 ppb ถึง 21 ตัวอย่าง เนื่องจากเมล็ดถั่วลิสงที่นำมาทำถั่วลิสงชุบแป้งทอดมีคุณภาพไม่เหมาะสม

2.5 ผลกระทบของสารพิษจากเชื้อราต่อเศรษฐกิจ

ปัญหาการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจทั่วโลกเพราะทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจเนื่องจากมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ผลผลิตของสัตว์ และการค้าทั้งภายในและระหว่างประเทศ ซึ่งองค์การ FAO ได้ประมาณการว่า 25% ของผลผลิตธัญพืชทั่วโลกจะได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราโดยเฉพาะสารพิษอะฟลาทอกซิน (Anonymous, 2005)

ความเสียหายทางเศรษฐกิจที่เกิดจากสารพิษอะฟลาทอกซินอาจแบ่งเป็นทางตรงกับทางอ้อม ความเสียหายทางตรงได้แก่ ผลผลิตลดลงไม่ว่าจะเป็นอาหารคนหรืออาหารสัตว์ สำหรับผู้ผลิตทำให้สัตว์เลี้ยงราคาตกต่ำหรือสัตว์เป็นโรคซึ่งมีผลกระทบกับผู้เลี้ยงโดยตรง ส่วนผลกระทบทางอ้อมเกิดจากการที่ปัจจุบันทางกลุ่มประเทศแถบยุโรปได้เอาปัญหาการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อรามาตั้งเป็นข้อกีดกันทางการค้าในการส่งออกสินค้าเกษตร เช่น EEC (European Economic Community) ที่กำหนดว่าถั่วลิสงที่นำเข้าจะต้องมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินไม่เกิน 5 ppb ทำให้ตลาดการค้าถูกจำกัด มูลค่าทางการตลาดของผลิตผลลดลง และยังต้องเพิ่มต้นทุนเกี่ยวกับการใช้สารป้องกันกำจัดเชื้อรา และศัตรูพืชอีกด้วย ซึ่งประเทศต่างๆ ได้กำหนดค่าต่ำสุดของปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่อนุญาตให้มีได้ในถั่วลิสงแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่ากำหนดค่าสูงสุดของปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่อนุญาตให้มีได้ในถั่วลิสงของประเทศต่างๆ

ประเทศ	ระดับที่ยอมรับได้สูงสุด (ppb)	หมายเหตุ
อาร์เจนตินา	5 อะฟลาทอกซิน B1	ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
ออสเตรเลีย	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
ออสเตรีย	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
เดนมาร์ก	4 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (2 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
	4 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (2 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
ฝรั่งเศส	4 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (2 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
	4 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (2 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
เยอรมนี	4 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (2 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
	4 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (2 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
ฮ่องกง	20 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	ถั่วลิสง , ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
อิสราเอล	20 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	ธัญพืช และ ถั่วลิสง
จอร์แดน	15 อะฟลาทอกซิน B1	ถั่วลิสง
	30 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	
ญี่ปุ่น	10 อะฟลาทอกซิน B1	ถั่วลิสง , ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
เคนยา	20 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
มลาวี	5 อะฟลาทอกซิน B1	ถั่วลิสงส่งออก

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ประเทศ	ระดับที่ยอมรับได้สูงสุด (ppb)	หมายเหตุ
เนเธอร์แลนด์	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
	4 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (2 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
นิวซีแลนด์	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	ถั่วลิสง , ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
ฟิลิปปินส์	20 อะฟลาทอกซิน B1	ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงส่งออก
สวีตเซอร์แลนด์	1 อะฟลาทอกซิน B1	ถั่วลิสง , ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
	5 อะฟลาทอกซิน B2+G1+G2	
ไทย	20 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	ถั่วลิสง , ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
อังกฤษ	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (8 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงดิบ
	4 อะฟลาทอกซินทั้งหมด (2 อะฟลาทอกซิน B1)	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
สหรัฐอเมริกา	15 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	ถั่วลิสงดิบ
	20 อะฟลาทอกซินทั้งหมด	ถั่วลิสงที่ผ่านการแปรรูป / ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง
ซิมบับเว	5 อะฟลาทอกซิน B1	ถั่วลิสง

ที่มา: คัดแปลงจาก อมรา (2547)

2.6 การป้องกันการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อรา

2.6.1 ช่วงการปลูกถึงการเก็บเกี่ยว (Production practice) (ปริศนา และสุกัตน์, 2532; จินตนา, 2540; โสภณ และ สนั่น, 2542; อมรา, 2547; Beasley *et al.*, 2002)

เกษตรกรสามารถลดปัญหาการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงได้โดยเริ่มจากการเลือกพื้นที่ในการปลูกที่ไม่เคยมีประวัติการระบาดของความเสียหายจากแมลงหรือศัตรูพืชในดิน เช่น ไล่เดือนฝอย ปลวก เสียนดิน หรือหนอนด้วง เป็นแปลงที่มีการปลูกพืชอื่นๆ สลับ

หมุนเวียนกับถั่วลิสง เป็นพื้นที่ที่น้ำเค็มท่วมขัง มีความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ระหว่าง 5.8-6.5 จากนั้นจึงเลือกพันธุ์ถั่วลิสงที่ต้านทานต่อการทำลายของแมลง เชื้อรา และการสร้างสารพิษ ในการปลูกควรหลีกเลี่ยงการปลูกพืชที่หนาแน่นเกินไป ควรหมั่นทำลายวัชพืช มีการให้น้ำที่เพียงพอ ระมัดระวังไม่ให้ถั่วลิสงกระทบแสง เนื่องจากถั่วลิสงที่กระทบแสงจะอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Aspergillus* และควรมีการระบายน้ำที่ดี ควรมีการควบคุมแมลงหรือศัตรูถั่วลิสงที่อยู่ในดิน โดยใส่สารเคมีฆ่าแมลง เช่น คาร์โบฟูแรน ใส่ลงในดินรอบโคนต้นก่อนเก็บเกี่ยวอย่างน้อย 40 วัน

2.6.2 ช่วงการเก็บเกี่ยวและการทำให้แห้ง (Harvest and drying) (ปริศนา และสุภัทน์, 2532; จินตนา, 2540; โสภณ และ สนั่น, 2542; อมรา, 2547)

ควรเก็บเกี่ยวถั่วลิสงเมื่อเมล็ดแก่เต็มที่แล้วโดยการสุ่มถอนฝักดูความแก่ก่อน ในการเก็บเกี่ยวควรระวังการเกิดบาดแผลกับฝักซึ่งอาจทำให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อรา ควรเก็บเกี่ยวในช่วงอากาศแห้ง โดยทั่วไปแล้ว *Aspergillus* ไม่สามารถสร้างสารพิษได้ในถั่วลิสงสด แม้ว่าเชื้อราจะเข้าไปอยู่ในฝักถั่วลิสงแล้วก็ตามเนื่องจากมีความชื้นสูงเกินไป ดังนั้นถั่วลิสงที่นำไปต้ม ขณะที่ความชื้นในฝักยังสูงจึงปลอดภัยต่อสารพิษอะฟลาทอกซิน ดังนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วควรจะรีบทำให้แห้ง ซึ่งอาจตากโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ หรือใช้เครื่องอบก็ได้ ซึ่งถั่วลิสงที่เก็บเกี่ยวมาแล้วควรลดความชื้นให้ต่ำลงจนถึงระดับที่ปลอดภัยที่เชื้อราไม่สามารถเจริญได้โดยเร็วที่สุด โดยเชื้อราจะเจริญอย่างรวดเร็วและสร้างสารพิษเมื่อความชื้นของถั่วลิสงลดลงต่ำกว่า 30% แต่จะหยุดการเจริญเติบโตที่ 12% ซึ่งที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 70% อุณหภูมิประมาณ 27°C ระดับความชื้นที่ปลอดภัยของถั่วลิสงทั้งเปลือกคือ 9% และถั่วลิสงกะเทาะเปลือกคือ 7% และแนะนำว่าควรตากถั่วให้แห้งภายใน 5 วัน ในการตากถั่วลิสงควรแผ่กระจายไม่ให้กองสูงเกินไป และควรมีวัสดุรองรับเพื่อป้องกันไม่ให้ถั่วดูดความชื้นกลับคืนมาจากผิวดิน เช่น ตากบนแคร่ หรือบนตาข่าย และในฤดูฝนหากระยะเก็บเกี่ยวมีฝนตกติดต่อกันอาจต้องนำถั่วเข้าอบในเครื่องอบ อุณหภูมิประมาณ 38-40°C จนถั่วลิสงมีความชื้นต่ำกว่า 9%

2.6.3 ช่วงการเก็บรักษา (Storage) (ปริศนา และศุภัตน์, 2532; จินตนา, 2540; โสภณ และ สนั่น, 2542; อมรา, 2547; Orloff, 2002)

เมื่อเก็บเกี่ยวและตากแห้งแล้วควรเก็บรักษามะลิไว้ในพื้นที่ที่แห้ง ป้องกันน้ำซึมได้ และมีการระบายอากาศที่ดี ควรวางมะลิให้เหนือพื้นผิว ควรมีการใช้สารเคมีด้วยเพื่อควบคุมแมลง มีการป้องกันนก หนูที่จะเข้ามาทำลาย และควรเลือกเอามะลิที่ไม่แก่ แดกหักและสิ่งแปลกปลอมทิ้ง โดยต้องมีสิ่งแปลกปลอมปนอยู่ได้ไม่เกิน 4% ในระดับไร (ปริศนา และ ศุภัตน์, 2532) รวมทั้งต้องควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ ส่วนถั่วลิสงที่จะเข้าสู่โรงงานกะเทาะเปลือกนั้น โรงงานควรรับซื้อและแยกเก็บถั่วลิสงตามคุณภาพเพื่อลดโอกาสการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินจากถั่วลิสงที่ด้อยคุณภาพ ฝักถั่วลิสงที่โรงงานรับเข้ามานั้นไม่ควรเก็บไว้นาน ควรรีบกะเทาะและนำไปใช้ประโยชน์โดยเร็วและควรมีระบบคัดแยกมะลิเสียออกขณะแยกขนาดมะลิ (Grading) ถั่วลิสงที่กะเทาะแล้วบางครั้งต้องมีการเก็บรักษาอีก โดยหลักการเก็บรักษาที่สำคัญคือการรักษาความชื้นในมะลิให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา และเก็บรักษาโดยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา แมลงและสัตว์อื่นๆ แต่เนื่องจากมะลิถั่วลิสงสามารถดูดความชื้นจากบรรยากาศได้ จึงต้องมีวิธีป้องกันที่เหมาะสม การป้องกันแมลงและรานนั้นทำได้โดยการฉีดพ่นยาก่อนเก็บรักษา และรมยาสม่ำเสมอระหว่างการเก็บ โดยถั่วลิสงที่เก็บควรมีระดับความชื้นไม่เกิน 13.5% และควรรักษาระดับความชื้นและอุณหภูมิในโรงเก็บให้คงที่ ให้มีการระบายอากาศของโรงเก็บอยู่เสมอ เพราะมะลิพืชที่เก็บยังมีชีวิต จึงมีการหายใจอาจเกิดการสะสมความร้อนและความชื้นขึ้นได้ ซึ่งโรงเก็บควรมีอุณหภูมิระหว่าง 34-41 °F และมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 55-70%

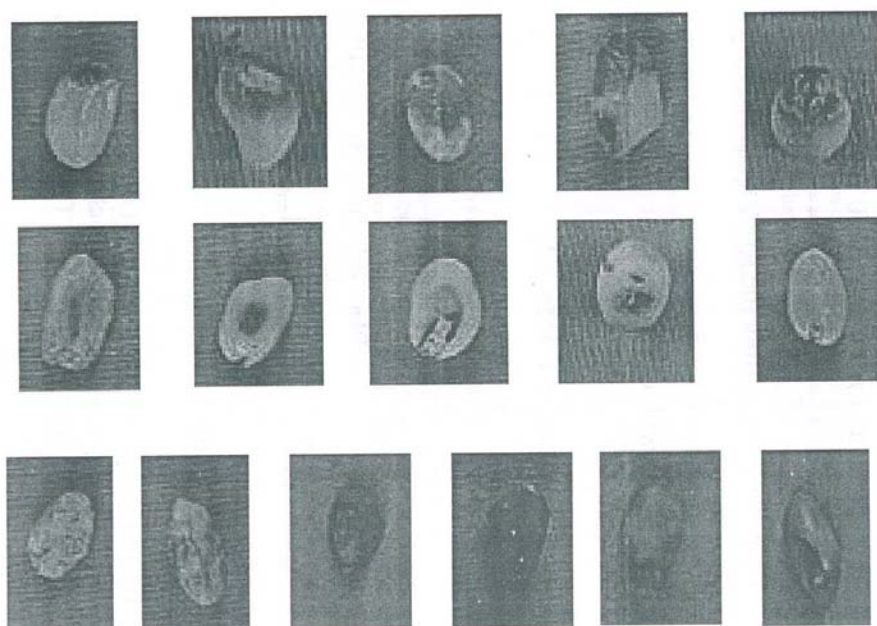
2.6.4 ช่วงการขนส่ง (Transportation) (ปริศนา และศุภัตน์, 2532; จินตนา, 2540; อมรา, 2547; Sweigart and Worsley, 2002)

ภาชนะที่ใช้ในการขนส่งควรเป็นภาชนะที่สะอาด ควรมีการทำความสะอาดรถบรรทุกให้ปราศจากแมลง ศัตรูอื่นๆ ก่อนขนถ่ายผลิตผล หรืออาจจะบรรจุในภาชนะที่ทนต่อการเข้าทำลายของแมลง อีกทั้งในการขนส่งยังต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในระดับปลอดภัยด้วย ในระหว่างการขนส่งต้องระวังเรื่องความชื้น โดยเฉพาะเมื่อทำการขนส่งในช่วงที่มีฝน อาจใช้ผ้าใบชุบน้ำมันคลุมหรือใช้ภาชนะบรรจุที่อากาศผ่านเข้าออกไม่ได้ การขนย้ายถั่วลิสงเพื่อขึ้นรถบรรทุกควรมีแท่นวางของ (Pallet) รองรับถั่วลิสงก่อนเพื่อไม่ให้ถั่วลิสงสัมผัสพื้นโดยตรง ใน

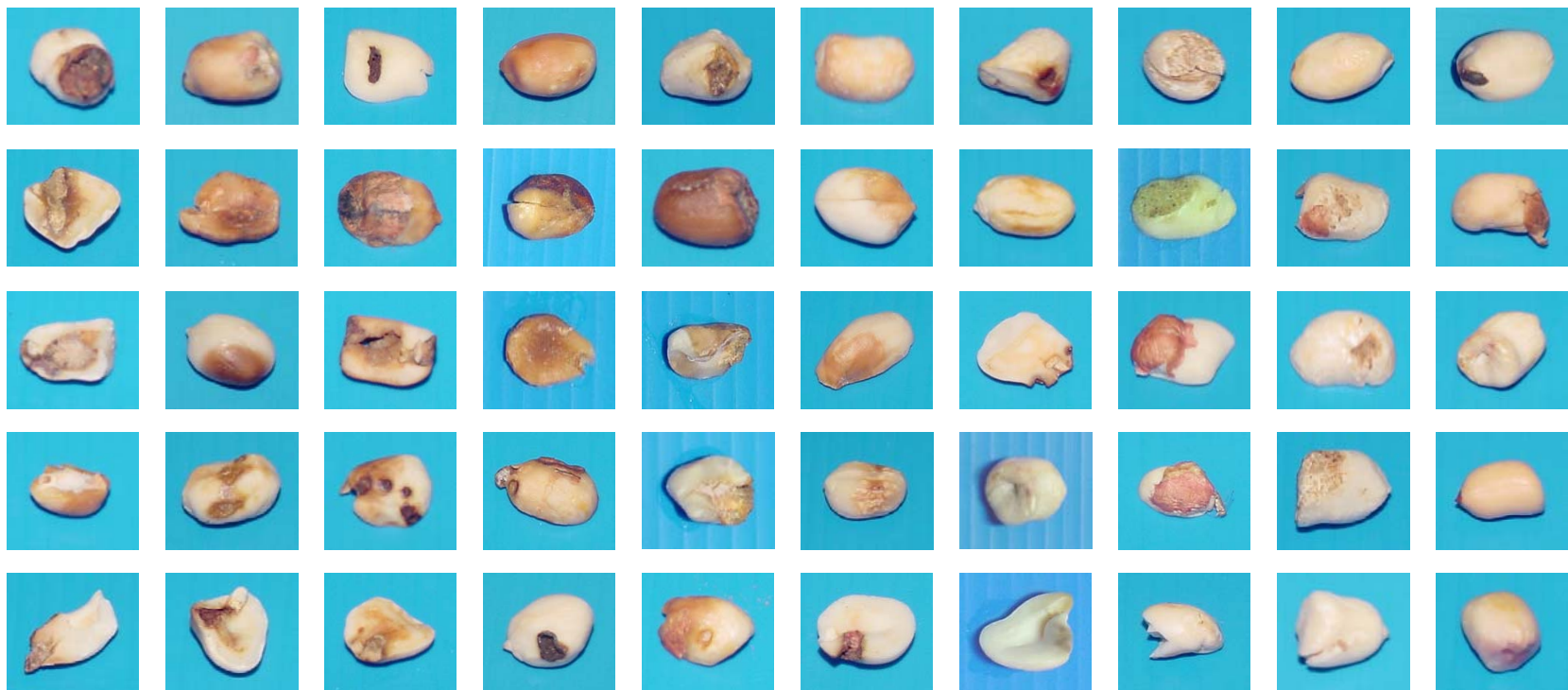
ส่วนของภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่งหลายๆ ครั้งอาจฉีดพ่นหรือรมด้วย Lindane malathion หรือ Ethylene dibromide และถ้าขนส่งเป็นระยะเวลานานควรรมยาเมื่อถึงปลายทาง

2.6.5 การรับถั่วลิสงของโรงงานแปรรูปและผู้บริโภค (โสภณ และสนั่น, 2542; Cowart, 2002)

ถั่วลิสงที่กะเทาะเปลือกแล้วจะถูกส่งต่อมายังโรงงานแปรรูปซึ่งถ้าโรงงานแปรรูปมีการจัดการที่ไม่ดีอาจได้รับการปนเปื้อนจากอะฟลาทอกซินได้อีก โดยโรงงานแปรรูปควรรีบแปรรูปทันทีที่ได้รับวัตถุดิบหรือหากจำเป็นต้องเก็บไว้ก่อนควรเก็บในห้องเย็น หรือโรงเก็บที่ถ่ายเทอากาศได้ดี และไม่มีศัตรูพืชในโรงเก็บ ควรมีมาตรการตรวจการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบก่อนนำไปแปรรูป ในการเก็บวัตถุดิบควรบรรจุในภาชนะบรรจุที่ป้องกันความชื้นจากบรรยากาศภายนอกได้ และควรมีการกำหนดระยะหมดอายุของผลิตภัณฑ์ ส่วนของผู้บริโภคนั้น ควรเลือกซื้อถั่วลิสงทั้งเมล็ดในการนำไปปรุงอาหารเนื่องจากสามารถสังเกตความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเมล็ดถั่วได้ ควรหลีกเลี่ยงการใช้ถั่วเก่า สังเกตจากสีเยื่อหุ้มเมล็ดที่จะเข้ม หมองคล้ำ ไม่สดใส ควรมีการคัดเลือกถั่วลิสงที่มีตำหนิหรือรอยทำลายจากแมลงหรือมีสีผิดปกติออกทิ้ง กรณีใช้ถั่วลิสงทั้งฝักก็ควรเลือกใช้ฝักที่ไม่มีรอยแมลงทำลายบนผิวเปลือก ในขั้นตอนนี้อาจมีการคัดแยกเมล็ดถั่วลิสงที่เสียออกโดยอาจดูจากลักษณะปรากฏ สี รูปร่างซึ่งอาจคัดเมล็ดถั่วที่มีลักษณะสีผิดปกติ มีร่องรอยของการถูกทำลาย แสดงดังภาพที่ 5 หรือในส่วนของเมล็ดที่มีการลอกเยื่อแล้วจะสามารถคัดแยกเมล็ดที่เสียและเมล็ดที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้ดังภาพที่ 6 หรืออาจจะใช้เทคนิคร่วมกันระหว่างวิธีการคัดเลือกสีทางอิเล็กทรอนิกส์แล้วตามด้วยการคัดแยกด้วยมือ ดังการศึกษาของ Dickens and Whistaker (1975) ที่ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของการคัดเลือกสีทางอิเล็กทรอนิกส์และการใช้มือเพื่อกำจัดเมล็ดถั่วลิสงที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจากถั่วลิสงไม่ลอกเยื่อ ในทางการค้า ผลการศึกษาพบว่า การคัดเลือกถั่วลิสงด้วยเครื่องคัดเลือกทางอิเล็กทรอนิกส์ด้วยสีเป็นจำนวน 5 ครั้ง แล้วตามด้วยการคัดแยกด้วยมือโดยการเลือกเอาเมล็ดที่มีสีผิดปกติออกสามารถคัดเอาเมล็ดที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินออกได้ถึง 72%



ภาพที่ 5 ตัวอย่างถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติและเมล็ดถูกทำลายที่ถูกตัดออกจากการคัดเลือกด้วยมือ
ที่มา : Galvez *et al.* (2002)



ภาพที่ 6 ตัวอย่างเมล็ดถั่วลิสงลอกเปลือกที่เสีย และมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน
ที่มา : วิจัย และคณะ (2550)

2.7 การลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน (Decontamination of mycotoxin)

Park (2002) กล่าวว่าวิธีที่กำจัดสารพิษอะฟลาทอกซินที่ดีต้องเป็นวิธีที่สามารถทำลายสารพิษได้ ไม่ทิ้งสารพิษอย่างอื่นไว้ โดยที่คุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้นยังคงอยู่ ไม่ทำการยอมรับผลิตภัณฑ์นั้นเปลี่ยนแปลงไป และควรจะทำลายสปอร์ของเชื้อราด้วย โดยทั่วไปการลดปริมาณสารพิษจากเชื้อราสามารถปฏิบัติได้ 3 วิธี ดังนี้

2.7.1 วิธีกล (physical methods)

ก. การทำความสะอาดและการคัดเลือก (อมรา, 2547 ; ศุภลักษณ์, 2548; Park, 2002)

โดยการคัดเลือกผลผลิตที่มีการปนเปื้อน เช่น เน่าเสีย มีเชื้อราขึ้นออก ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกสำหรับผู้ประกอบการควรทำเพราะสามารถลดการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินได้เป็นอย่างมาก วิธีการคัดเลือกนี้อาจทำได้โดยการทำมาสะอาด การแบ่งประเภท หรือการใช้มือในการเก็บแยก สอดคล้องกับการวิจัยของ Galvez *et al.* (2002) ที่ศึกษาการควบคุมการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบด้วยการใช้มือในการเก็บแยกที่พบว่า การคัดเลือกถั่วลิสงลอกเยื่อด้วยมือนั้นสามารถลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้ การลอยน้ำและการแยกด้วยความหนาแน่นสามารถนำมาใช้ในการคัดเลือกถั่วลิสงและข้าวโพดที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เน่าถั่วลิสงซึ่งจะไม่ใช้เพียงการคัดแยกเพื่อลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงแต่จะใช้วิธีการอื่นร่วมด้วย ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพของการจัดการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงหลังการเก็บเกี่ยวที่ระดับขั้นตอนต่างๆ ของขบวนการผลิต

เทคโนโลยี	ปริมาณสารพิษ อะฟลาทอกซิน (ppb)	ระดับการลด (%)	ระดับการลดสะสม (%)
การเก็บของเกษตรกร	217.9	-	-
สายพานแยก	140.0	36	35.0
โรงงานกะเทาะเปลือก	100.0	29	64.0
การคัดเลือkd้วยสี	30.0	70	86.0
การแยกด้วยความถ่วงจำเพาะ	25.0	16	88.0
การลวก และ การคัดเลือkd้วยสี	2.2	91	99.0
การคัดเลือkd้วยสี	1.6	27	99.3

หมายเหตุ ผลจากการคัดแยกถั่วลิสง 40,000 กิโลกรัม

ที่มา : คัดแปลงจาก Park (2002)

ข. การบดละเอียดแบบเปียก (ศุภลักษณ์, 2548; Park, 2002)

การบดหรือโม่โดยใช้น้ำมากเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเตรียมผลิตภัณฑ์ข้าวโพด จากการทดลองเพื่อศึกษาว่าสารพิษที่หายไปอยู่ที่ไหน พบว่า ในระหว่างการโม่ข้าวโพดสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 จะแยกชั้นอยู่ในส่วนชั้นบนสุด 39 – 42% และในชั้นที่เป็นเส้นใย 30 – 38% ส่วนสารพิษที่คงเหลืออยู่จะอยู่ในกลูเตน 13 – 17% ในต้นอ่อน 6 – 10% และในแป้ง 1%

ค. การบดละเอียดแบบแห้ง (ศุภลักษณ์, 2548; Park, 2002)

การบดแบบแห้งคล้ายกับการบดแบบเปียก จะมีการแยกสารพิษได้ในข้าวโพดจะพบสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 มากในต้นอ่อนและเปลือก ในการบดส่วนที่บดหยาบกับส่วนที่มีไขมันน้อยจะพบสารพิษ อะฟลาทอกซิน B1 6 – 10% สำหรับในข้าวและข้าวสาลีพบว่ามีอัตราส่วนของสารพิษที่ใกล้เคียงกัน ส่วนของรำจะพบสารพิษมากที่สุด ในอุตสาหกรรมจะการใช้การบดแบบแห้งในการลดปริมาณสารพิษขั้นต้นเช่น ในแป้ง เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ

ง. การใช้ความร้อน (อมรา, 2547; สุภลักษณ์, 2548; Park, 2002; Samarajeeva, 1991)

สารพิษอะฟลาทอกซินเสถียรเมื่ออยู่ได้ความร้อนและไม่สามารถถูกทำลายได้อย่างสมบูรณ์ในน้ำเดือด จากการศึกษาพบว่า การอบเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการลดระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การทอดและอบถั่วลิสงให้แห้ง การอบถั่วลิสงในเครื่องไมโครเวฟ รวมทั้งผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดและกาแฟ โดยการถั่วหรือทอดถั่วลิสงที่อุณหภูมิ 150-200 °C นาน 30 นาทีจะสามารถลดปริมาณอะฟลาทอกซิน B₁ ได้ 40-80% สอดคล้องกับการศึกษาของ Hwang and Lee (2005) ที่ศึกษาผลของการปรุงอาหารด้วยวิธีต่างๆ เพื่อลดสารพิษอะฟลาทอกซิน พบว่าสามารถลดสารพิษอะฟลาทอกซินในข้าวสาลีแห้งได้ 50 และ 90% เมื่อใช้ความร้อน 150 และ 200 °C ตามลำดับ และอมรา (2547) รายงานว่า การใช้ความร้อน เช่น ต้ม นึ่ง ด้วยความดันสูง การเผา และการพาสเจอร์ไรซ์ในเครื่องต้มที่ทำจากถั่วลิสงสามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ซึ่งถ้ามีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 10.2 และใช้อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 20 วินาที จะสามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ได้ถึง 73-83% โดยที่รสชาติไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ 120 °C 15 นาที จะลดการกลายพันธุ์ได้ถึง 82.5-92.5% แต่รสชาติจะไม่ดีเท่าเดิม การสลายตัวของสารพิษอะฟลาทอกซินจะแตกต่างกันตามกรรมวิธีการปรุงอาหารดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในอาหารเมื่อใช้กรรมวิธีการปรุงอาหารต่างๆ กัน

กรรมวิธีการปรุงอาหาร	การลดลงของสารพิษอะฟลาทอกซิน (%)
1. การหุงข้าวแบบธรรมดา ¹	49
2. การทำอาหารที่ใช้ความดัน ที่อุณหภูมิ 120 °C ¹	73
3. การทำอาหารที่ใช้ความดัน และมีน้ำเกินกำหนด ¹	82
4. การใช้หม้อนึ่งความดันที่ 120 °C เป็นเวลา 30 นาที สำหรับผลไม้และเครื่องเทศ ¹	9-39
5. การปิ้งที่ 145 - 165 °C เช่น ข้าวโพด ¹	40-81

ตารางที่ 8 (ต่อ)

กรรมวิธีการปรุงอาหาร	การลดลงของสารพิษอะฟลาทอกซิน (%)
6. การใช้ไมโครเวฟกับถั่วลิสง 6 kw. 4 นาที ¹	95
1.6 kw 16 นาที	95
0.7 kw 8.5 นาที	48-61
7. การต้มในน้ำเดือด 100 °C นาน 15 นาที ²	71
8. การนึ่งด้วยอุณหภูมิ 100 °C นาน 15 นาที ²	43
9. การอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 150 °C ²	50
10. การอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 200 °C ²	90

ที่มา : ¹ อมรา (2547) ; ² Hwang and Lee (2005)

นอกจากนี้ อมรา (2547) ได้รายงานว่าการลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงป่นและพริกป่นโดยใช้ไมโครเวฟสามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้ 71.4% ในถั่วลิสง และได้ 39.9% ในพริกป่น

จ. การฉายรังสีและการใช้แสง (อมรา, 2547; ศุภลักษณ์, 2548; Park, 2002; Samarajeewa, 1991)

การฉายรังสีและการใช้แสงเป็นวิธีที่ดีเนื่องจากสามารถใช้ได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นของแข็งและของเหลว แต่พบว่าการฉายรังสีแกมมา (2.5 Mrad) ไม่สามารถลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในอาหารจากถั่วลิสงได้อย่างมีนัยสำคัญ ตารางที่ 9 แสดงถึงผลของการฉายรังสีแกมมาเพื่อลดปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในตัวอย่างต่างๆ แต่เนื่องด้วยเป็นวิธีการที่มีการใช้ต้นทุนที่สูง และผู้บริโภคยังไม่ยอมรับวิธีการฉายรังสี ดังนั้นวิธีการฉายรังสีจึงไม่ใช่วิธีที่ใช้อย่างแพร่หลาย ในส่วนของการใช้แสงนั้นพบว่าสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ จะไม่เกิดปฏิกิริยาถ้าผ่านการฉายด้วยรังสียูวี โดยเฉพาะที่ pH ต่ำกว่า 3 หรือสูงกว่า 10 เนื่องจากการฉายรังสียูวีนี้นั้นจะไปทำปฏิกิริยากับ furan ring ของโมเลกุลอะฟลาทอกซิน จึงเป็นการกำจัดพันธะที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้

ตารางที่ 9 ผลของการฉายรังสีแกมมาเพื่อลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน

ตัวอย่าง	วิธีการ	ปริมาณอะฟลาทอกซินที่ลดลง
สารพิษบริสุทธิ์	7, 15, หรือ 30 Mrad บน TLC	ไม่ลด
สารพิษบริสุทธิ์	>30 Mrad บน TLC	บางส่วน
สารพิษบริสุทธิ์	0.25-1 Mrad, สารละลาย	บางส่วน
สารพิษบริสุทธิ์	>1 Mrad, สารละลาย	ทั้งหมด
อาหารจากถั่วลิสง	2.5 Mrad	ไม่ลด
ข้าว	3 Mrad, ที่ความชื้น 8, 16, หรือ 32%	ไม่ลด
ขนมปัง	0.25-0.50 Mrad, ส่วนผสมที่แห้ง	0 – 50%

ที่มา : Samarajeewa (1991)

จ. การดูดซับสารพิษ (อมรา, 2547; ศุภลักษณ์, 2548; Park, 2002; Huwig *et al.*, 2001; Phillips, 1999)

การใช้สารในการดูดซับหรือยับยั้งสารพิษอะฟลาทอกซินเป็นวิธีที่ดี โดยสารที่ใช้ในการดูดซับชนิดต่างๆ จะถูกใส่เข้าไปในอาหารที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน เพื่อที่จะป้องกันการดูดซึมสารพิษเข้าสู่ร่างกายในระบบย่อยอาหาร ซึ่งถือว่าเป็นการป้องกันโรคมากกว่าการบำบัดโรค ในปัจจุบันการใช้สารดูดซับเหล่านี้นิยมใช้เพื่อป้องกันอันตรายให้แก่สัตว์ที่เสี่ยงต่ออาหารที่มีการปนเปื้อนสารพิษ ซึ่งสารดูดซับสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ Activated charcoal, Aluminosilicates (Zeolite, HSCAS, Clays), Polymers และ ยีสต์และผลิตภัณฑ์จากยีสต์ โดยสารดูดซับนี้จะผสมกับอาหารสัตว์เพื่อดูดซับสารพิษในอาหารสัตว์เพื่อป้องกันการดูดซับสารพิษเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารของสัตว์ Aluminosilicates เป็นสารดูดซับที่นิยมมาก โดยเฉพาะ Activated charcoal ประสิทธิภาพของสารดูดซับจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของสารดูดซับและสารพิษ (Huwig *et al.*, 2001)

2.7.2 วิธีทางเคมี (Chemical methods) (อมรา, 2547; ศุภลักษณ์, 2548; Park, 2002)

การลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินด้วยวิธีทางเคมีจะเป็นการใช้สารเคมีพวก Oxidizing agent (hydrogen peroxide, Formaldehyde, Sodium หรือ Potassium bisulfite, Sodium

hydroxide, Sodium hypochloride, Methylamine และ Ammonia) พวก Hydrolytic agent (acid, alkalis, ammonia) พวก Chlorinating (sodium hypochlorite, gaseous chlorine) ซึ่งการเลือกใช้ชนิดของสารเคมีชนิดใดนั้นต้องคำนึงถึงการคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่ใช่ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารพิษ วิธีที่นิยมที่สุดคือการรมด้วยแอมโมเนีย ซึ่งการรมขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิที่ใช้ ช่วงระยะเวลาในการรม ขนาดของเมล็ดธัญพืช และระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จะใช้ การรมด้วยแอมโมเนียความเข้มข้น 0.5 – 2.0% ภายใต้สภาวะความดันสูง อุณหภูมิสูงและที่ความชื้น 12-16% ความดัน 45-55 psi และที่อุณหภูมิ 80-100°C เป็นเวลา 20-60 นาที จะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด การใช้กรดจะเป็นการทำลายกิจกรรมทางชีวภาพของอะฟลาทอกซิน B1 และ G1 ค่างอินทรีย์และอนินทรีย์เป็นการใช้เพื่อทำลายและลดระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งวิธีทางเคมีนี้จะทำให้ค่า PER (Protein efficiency ratio) ของอาหารต่ำลงและจะมีการตกค้างของสารเคมีในอาหารนั้นด้วย

2.7.3 ชีววิธี (Biological methods) (อมร, 2547; ศุภลักษณ์, 2548; Park, 2002)

จุลินทรีย์ที่ใช้เพื่อลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้แก่ ยีสต์ เชื้อรา แบคทีเรีย แอคติไมซีส และสาหร่าย และพบว่า *Flavobacterium aurantiacum* NRRL B-184 สามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 ในน้ำมัน น้ำมันข้าวโพด เนยถั่วลิสง ข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วลิสงได้ ซึ่งถ้าบ่มสารพิษไว้กับเซลล์ของแบคทีเรียนาน 68 ชั่วโมงจะสามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้ถึง 74% และสาร Aflastatin A ซึ่งสร้างโดย *Streptomyces sp.* สามารถยับยั้งการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินของ *A.paraciticus* ได้ นอกจากนี้ขบวนการหมักธัญพืชที่มีการปนเปื้อนก็สามารถลดปริมาณสารพิษได้เช่นกัน

วิธีที่ดีที่สุดในการลดหรือกำจัดสารพิษอะฟลาทอกซินก็คือ วิธีที่ไม่ผิดข้อกำหนด กฎหมาย ต้นทุนต่ำ และสามารถลดระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2.8 การสุ่มตัวอย่าง (อรุณศรี, 2547; Whitaker *et al.*, 1970; Whitaker, 2003)

เนื่องจากสารพิษอะฟลาทอกซินไม่ได้เกิดทั่วทุกแห่งในผลิตผลเกษตร แต่จะเกิดในบริเวณส่วนน้อย จึงต้องมีการวางแผนการสุ่มตัวอย่างให้เหมาะสม อรุณศรี (2547) ได้กล่าวถึงสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ไว้ดังนี้

- 1) ความผิดพลาดที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่าง
- 2) ขนาดของตัวอย่าง
- 3) วิธีการสุ่มตัวอย่าง
- 4) การปฏิบัติและการเก็บรักษาตัวอย่าง
- 5) การแบ่งตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

ความผิดพลาดที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่างเป็นไปตามสมการที่ 1 (อรุณศรี, 2547)

$$S \propto \frac{D \times M}{P \times I \times N} \quad \text{_____ (1)}$$

S = ความผิดพลาดที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของตัวอย่าง

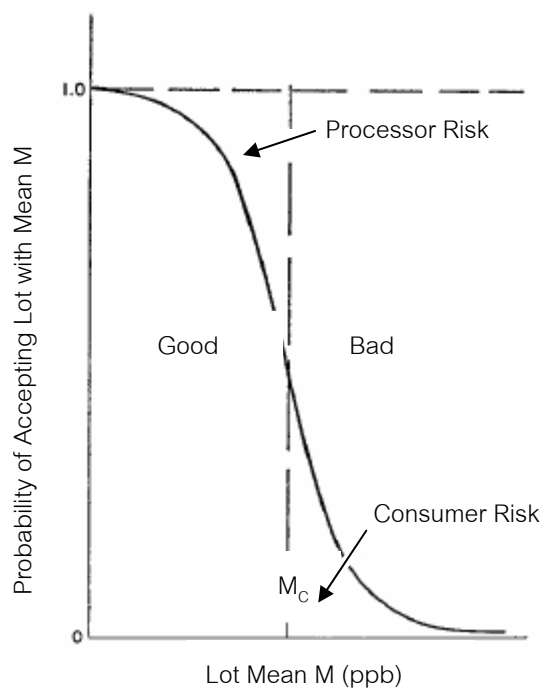
M = ปริมาณของสารพิษในกองที่สุ่มเก็บตัวอย่าง

I = จำนวนตัวอย่างย่อยๆ ที่สุ่มเก็บแต่ละครั้ง

P = สัดส่วนของเมล็ดที่มีปริมาณสารพิษ

D = ลักษณะการกระจายตัวของสารพิษในกอง

จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องและทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น ซึ่งถ้าการสุ่มตัวอย่างเกิดความผิดพลาดขึ้นแล้วจะทำให้การยอมรับหรือการปฏิเสธผลิตผลในกลุ่มนั้นๆ ผิดพลาด อันมีผลทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ขายหรือผู้ซื้อขึ้นดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การประเมินค่าของสารพิษผิดพลาด ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ขายหรือผู้ซื้อ
ที่มา: Whitaker *et al.* (1970)

ความเสี่ยงของผู้ขาย (Processor Risk) หมายถึง การปฏิเสธผลิตผลในกลุ่มที่ดีโดยความผิดพลาดจากการสุ่มตัวอย่าง ดังสมการที่ 2

$$(\%) \text{ ความเสี่ยงของผู้ขาย} = \frac{\text{จำนวนกลุ่มที่ดีแต่ถูกปฏิเสธ} \times 100}{\text{จำนวนกลุ่มทั้งหมดที่ยอมรับ}} \quad (2)$$

ความเสี่ยงของผู้ซื้อ (Consumer Risk) หมายถึง การยอมรับผลิตผลในกลุ่มที่เลว โดยความผิดพลาดจากการสุ่มตัวอย่าง ดังสมการที่ 3

$$(\%) \text{ ความเสี่ยงของผู้ซื้อ} = \frac{\text{จำนวนกลุ่มที่ยอมรับโดยการตรวจแต่มีสารพิษเกินกำหนด} \times 100}{\text{จำนวนกลุ่มทั้งหมดที่ยอมรับ}} \quad (4)$$

การกำหนดขนาดตัวอย่างขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) ลักษณะการกระจายตัวของสารพิษในผลิตภัณฑ์

ถ้าการกระจายตัวของสารพิษมีความสม่ำเสมอ ขนาดของตัวอย่างไม่จำเป็นต้องเป็นขนาดใหญ่ แต่ถ้าการกระจายตัวของสารพิษไม่สม่ำเสมอแล้ว จำเป็น ต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่

2) เป้าหมายในการนำตัวอย่างไปใช้

ในงานสำรวจหาข้อมูล จะพิจารณาจากจำนวนตัวอย่างที่จะสุ่มเก็บ ถ้าจำนวนตัวอย่างมากขนาดตัวอย่างไม่จำเป็นต้องใหญ่ แต่ถ้าจำนวนตัวอย่างน้อย ขนาดของตัวอย่างก็ต้องใช้ขนาดใหญ่ ในงานควบคุมคุณภาพ ขนาดของตัวอย่างขึ้นกับความต้องการความถูกต้อง โดยคำนึงถึงความเสี่ยงของผู้ขายและผู้ซื้อเป็นหลัก เช่น Preloading เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ต้องการความถูกต้องสูงควรเก็บตัวอย่างขนาดใหญ่ (10 กิโลกรัม/50 ตัน) ส่วนในขั้น Loading ต้องการความรวดเร็วมากกว่าขนาดตัวอย่างไม่จำเป็นต้องใหญ่ (5 กิโลกรัม/100 ตัน) ส่วนงานวิจัยด้านวิชาการ ต้องการความถูกต้องสูง จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่

3) ความเป็นไปได้ในการสุ่มเก็บตัวอย่าง

ในการสุ่มต้องคำนึงถึงการปฏิบัติจริงเป็นหลัก ซึ่งไม่มีประโยชน์อะไรที่จะกำหนดขนาดตัวอย่างให้ใหญ่มากจนไม่สามารถปฏิบัติได้จริง

4) การรู้ระดับสารพิษโดยประมาณ

ขนาดของตัวอย่างที่จะสุ่มขึ้นกับปริมาณสารพิษในกลุ่มตัวอย่างนั้น ถ้าปริมาณสารพิษสูงขนาดของตัวอย่างไม่จำเป็นต้องใหญ่ ถ้ามีปริมาณสารพิษในกลุ่มต่ำจำเป็นต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่

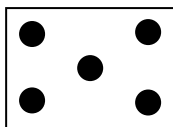
2.8.1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่าง

ในการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์เกษตร อรุณศรี (2547) ได้อ้างถึง International Association of Crushers ถึงการกำหนดปริมาณตัวอย่างที่จะเก็บในแต่ละจุด และขนาดตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวแทน ดังตารางที่ 10 และมีวิธีการสุ่มตัวอย่างจากพาหนะที่มีขนาดบรรทุกต่างๆ กันดังภาพที่ 8

ตารางที่ 10 เกณฑ์การสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์เกษตรขนาดต่างๆ

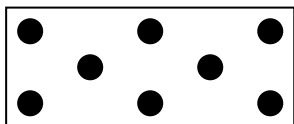
เมล็ด	ปริมาณผลิตผลทั้งหมด ที่จะสุ่ม (ตัน)	ตัวอย่างที่สุ่มเก็บ แต่ละจุด (กิโลกรัม)	ขนาดตัวอย่างที่ใช้ เป็นตัวแทน (กิโลกรัม)
ขนาดใหญ่ เช่น มะพร้าวตากแห้ง	ไม่เกิน 500	1	6
ขนาดกลาง เช่น ถั่วลิสง ข้าวโพด	ไม่เกิน 500	0.5	5
ขนาดเล็ก เช่น เมล็ดปอ	ไม่เกิน 100	0.1	2

ที่มา : อรุณศรี (2547)



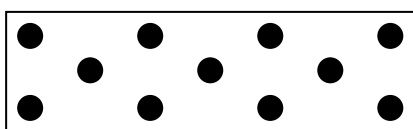
ขนาดบรรจุทุกไม่เกิน 15 คัน

เก็บจาก 5 จุด (จุดกลางและจุดห่างจากขอบริม 50 เซนติเมตร)



ขนาดบรรจุทุก 15-30 คัน

เก็บ 8 จุด



ขนาดบรรจุทุก 30-50 คัน

เก็บ 11 จุด

ภาพที่ 8 จุดที่ควรเก็บตัวอย่างจากพาหนะที่มีขนาดบรรจุต่างๆ
ที่มา: อรุณศรี (2547)

Whitaker and Wiser (1969) ได้ศึกษาแนวทางที่จะทำให้การสุ่มตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปลาทอกซินในถั่วลิสงทั้งเปลือกมีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้รูปแบบการกระจายตัวของปริมาณอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงแบบ Negative Binomial Distribution เนื่องจากการกระจายตัวของสารอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงนั้นมีลักษณะที่มีความน่าจะเป็นสูงที่จะไม่พบสารพิษอะฟลาทอกซินและมีความน่าจะเป็นต่ำที่จะพบสารพิษอะฟลาทอกซิน ผลการศึกษาพบว่า การสุ่มตัวอย่างเป็นจำนวนมากขึ้นจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในตัวอย่างถั่วลิสงใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประชากรนั้นๆ และพบว่ายังมีปริมาณถั่วลิสงที่ไม่ปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินน้อยลงจะทำให้ความถูกต้องในการสุ่มตัวอย่างสูงขึ้น ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Whitaker (2003) ที่ศึกษาเกี่ยวกับ มาตรฐานการสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารพิษจากเชื้อราในกรณีเร่งด่วน พบว่าการเพิ่มขนาดตัวอย่างที่สุ่มสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่างได้ เช่น ถ้าเพิ่มขนาดตัวอย่างจาก 5 กิโลกรัมเป็น 20 กิโลกรัมจะสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่างได้จาก 521.4 เหลือเพียง 130.4

2.8.2 การปฏิบัติและการเก็บรักษาตัวอย่าง (อรุณศรี, 2547; FAO/WHO, 2001)

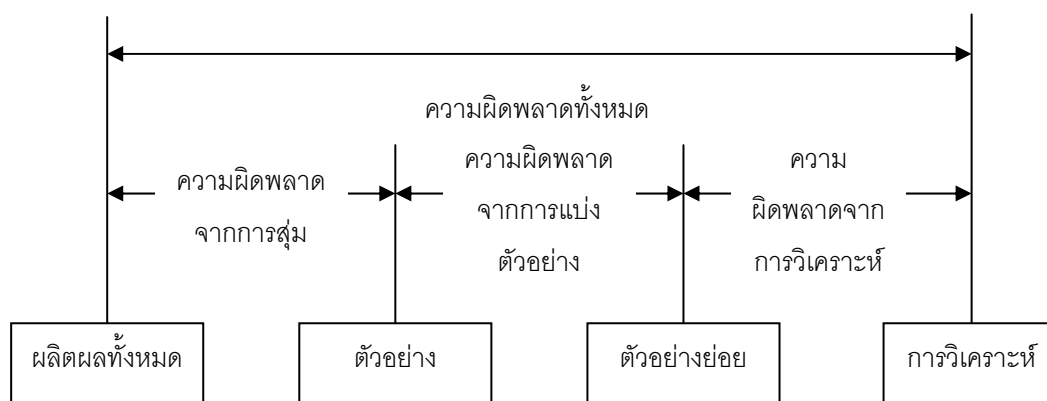
ตัวอย่างที่ได้สุ่มมาแล้วควรมีการปฏิบัติที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างในระหว่างการเก็บหรือการขนส่งก่อนการนำไปวิเคราะห์ โดยควรเก็บในภาชนะที่สะอาด ไม่สะสมความชื้นให้กับตัวอย่างที่เก็บ เช่น ถุงผ้า ซึ่งจะระบายความชื้นได้ ไม่ควรใช้ถุงพลาสติก นอกจากเป็นการเก็บตัวอย่างที่แห้งสนิทหรือต้องการเก็บในห้องเย็น ตัวอย่างควรเก็บไว้ในที่แห้ง เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอกถ่ายเทเข้าไปในตัวอย่าง ควรนำตัวอย่างเข้าวิเคราะห์ทันที แต่ถ้าไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันทีควรเก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิต่ำกว่า 10°C โดยเกลี่ยตัวอย่างให้บางจนความเย็นกระจายทั่วถึง และความชื้นไม่ควรเกิน 14% และถ้าต้องการเก็บไว้นานต้องรีบลดความชื้นให้ต่ำกว่า 12% แล้วใส่ในถุงพลาสติกปิดมิดชิด เก็บในห้องเย็น ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์นั้นควรหลีกเลี่ยงการถูกแสงแดด เพราะสารพิษอะฟลาทอกซินจะมีการเปลี่ยนแปลงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งอาจทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้

2.8.3 การเตรียมและการแบ่งตัวอย่าง (อรุณศรี, 2547; FAO/WHO, 2001; Whitaker, 2003)

ความคลาดเคลื่อนในการเตรียมตัวอย่างสามารถลดได้ด้วยการเพิ่มขนาดตัวอย่างย่อย และการบดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กมากๆ จากการศึกษาของ Whitaker (2003) พบว่าการเพิ่มขนาดตัวอย่างย่อยจาก 250 กรัมเป็น 1000 กรัม โดยใช้ United States Department of Agricultural, Agricultural Marketing Service (USDA/AMS) ในการบดตัวอย่างสามารถลดความคลาดเคลื่อนในการเตรียมตัวอย่างได้จาก 59.2 เหลือเพียง 14.8 แต่ถ้าใช้ Vertical Cutter Mixer ในการบดตัวอย่าง 100 กรัม แทนการบดด้วยเครื่องบด USDA/AMS 250 กรัม จะสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการเตรียมตัวอย่างได้จาก 59.2 เหลือ 25.5 ในขณะที่ FAO/WHO (2001) ได้แนะนำการบดตัวอย่างไว้ว่าควรใช้ Hammer Mill ตะแกรงเบอร์ 14 (เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.1 มิลลิเมตร) ขึ้น การแบ่งตัวอย่างเป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดความผิดพลาดได้มาก โดยเฉพาะการแบ่งตัวอย่างที่ยังเป็นเม็ดยังอยู่ ควรหลีกเลี่ยงเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยการแบ่งตัวอย่างหลังจากบดเม็ดย่อยและคลุกเคล้าอย่างดีแล้ว อรุณศรี (2547) กล่าวว่าในการแบ่งตัวอย่างกรณีไม่มีตัวแบ่งให้คลุกเคล้าตัวอย่างจนเข้ากันดี แล้วแบ่งเป็น 4 ส่วน เก็บ 2 ส่วนทแยงมุมไว้ แล้วผสมคลุกเคล้ากัน แบ่งเป็น 4 ส่วน ทำไปเรื่อยๆ จนได้ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

ในการสุ่มตัวอย่างพบว่าทุกชั้นตอนมีโอกาทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ดัง

ภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นตลอดการวิเคราะห์

ที่มา: อรุณศรี (2547); Campbell *et al.* (1986)

2.9 การวิเคราะห์สารพิษอะฟลาทอกซิน

สารพิษจากเชื้อราส่วนมากไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและรส จึงไม่สามารถบอกได้ด้วยสายตาถึง การปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราซึ่งรวมถึงสารพิษอะฟลาทอกซินด้วย อีกทั้งเพื่อความปลอดภัยของ คนและสัตว์จึงควรมีการวิเคราะห์การปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ให้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์การเกษตรให้ปลอดภัย การปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์สารพิษอะฟลาทอกซินมีหลายวิธีได้แก่ (อมรา, 2547)

2.9.1 วิธีทางชีวเคมี (Biological Methods)

วิธีทางชีวเคมีนี้ใช้สิ่งมีชีวิตที่อ่อนแอต่อสารพิษมาเป็นตัวชี้วัด โดยทั่วไปวิธีนี้ เหมาะกับการคัดเลือกว่าสิ่งที่ต้องการตรวจวิเคราะห์เป็นสารพิษหรือไม่มีความเป็นพิษมากนัก้อยแก่ ไหน สิ่งมีชีวิตที่นิยมใช้ในการทดสอบ สามารถแบ่งได้ 5 กลุ่ม คือ

ก. Micro-organisms เช่น พวกแบคทีเรีย *Bacillus sp.*

ข. Aquatic animal เช่น กุ้ง และปลา (ปลาเทราต์ ปลาม้าลาย) และ guppy

ค. Terstial animal เช่น พวกลูกเป็ด ตัวอ่อนของไก่

ง. Cell culture เช่น การใช้เซลล์ของตับ ไต และเซลล์กล้ามเนื้อ โดยการเติมสารพิษที่สังเคราะห์ในเซลล์ที่เลี้ยงไว้

จ. Plants เช่น การใช้สารพิษทดสอบการยับยั้งการงอกของเมล็ดพืช เป็นต้น

อนงค์ (2546) กล่าวว่า การทดสอบการเกิดพิษของสารพิษอะฟลาทอกซินมักใช้ ในสัตว์ทดลอง 2 ชนิด คือ พวกสัตว์ฟันแทะ ได้แก่ หนูถีบจักร หนูแรท และหนูแฮมสเตอร์ เป็นต้น โดยใช้จำนวนตั้งแต่ 10 ถึง 20 ตัวในแต่ละเพศ และใช้ทั้ง 2 เพศ อีกชนิดหนึ่งไม่เป็นพวกสัตว์กัดแทะ ได้แก่ สุนัขและลิง เป็นต้น โดยใช้จำนวนตั้งแต่ 6 ถึง 8 ตัว และใช้ทั้ง 2 เพศ สัตว์ที่นำมาทดลองควรมีอายุน้อย และสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้

2.9.2 วิธีทางเคมี (Chemical Methods)

การวิเคราะห์ทางเคมีมีขั้นตอนพื้นฐานดังนี้ การสุ่มตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ การสกัดตัวอย่าง การทำการสกัดตัวอย่างให้สะอาด การแยกสารพิษออกจากสารสกัดตัวอย่าง การวิเคราะห์ และการตรวจสอบ (อรุณศรี , 2540; อมรา, 2547) รูปแบบการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่

ก. Open Column Chromatography (minicolumn)

ข. Thin Layer Chromatography (TLC)

ค. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

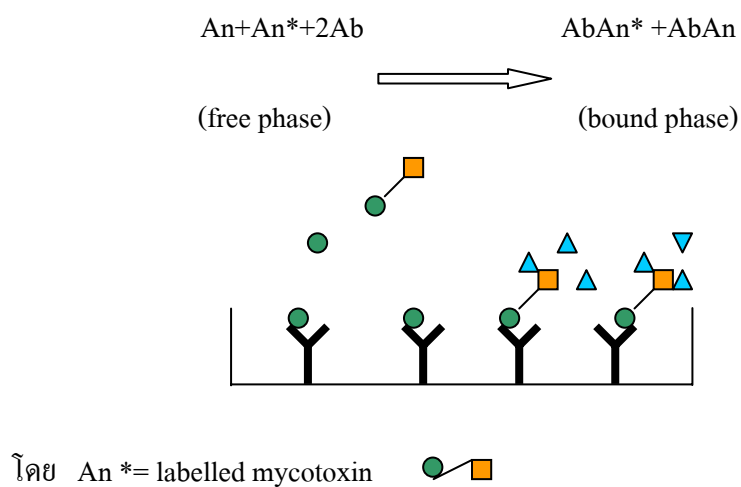
ง. Gas Chromatography (GC)

จ. Liquid Chromatography Mass Spectrometry (LC-MS)

การวิเคราะห์ทางเคมีเป็นวิธีการที่นิยมมากเพราะมีความไวในการตรวจจับและมีความคงตัวที่ดี (sensitivity and reproducibility) แต่ก็ยังมีปัญหาในการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีการทำให้บริสุทธิ์ก่อน ไม่สามารถวิเคราะห์ได้หลายตัวอย่างพร้อมๆ กัน เครื่องมือมีราคาแพง สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์มีอันตราย และผู้ทำการวิเคราะห์ต้องมีประสบการณ์และได้รับการฝึกอบรมอย่างดี ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารพิษจากเชื้อราเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และง่าย เพื่อจะได้ใช้ตัดสินผลิตผลทางการเกษตรว่ามีการปนเปื้อนหรือไม่และยอมรับได้หรือไม่ต่อไป Whitaker (2003) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ มาตรฐานการสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารพิษจากเชื้อราในกรณีเร่งด่วน พบว่าสามารถลดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์สารพิษจากเชื้อราได้โดยการเพิ่มจำนวนซ้ำในการวิเคราะห์จาก 1 เป็น 2 ครั้งด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ Thin Layer Chromatography (TLC) ซึ่งจะทำให้ความคลาดเคลื่อนลดลงจาก 50.1 เป็น 25.0 และการเปลี่ยนวิธีการวิเคราะห์จาก Thin Layer Chromatography (TLC) เป็น High Performance Liquid Chromatography (HPLC) จะทำให้ความคลาดเคลื่อนลดลงจาก 50.1 เป็น 20.1

2.9.3 วิธีทางอิมมูโนวิทยา (Immunological Assay Methods)

วิธีทางอิมมูโนวิทยาเป็นวิธีการที่อาศัยการทำปฏิกิริยาที่เฉพาะเจาะจงระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดี ซึ่งการวิเคราะห์จะเกี่ยวข้องกับการแข่งขันระหว่างสารพิษจากเชื้อราที่อยู่ในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์กับสารพิษจากเชื้อราที่ผูกติดกับเอนไซม์ตัวชี้บ่งในปริมาณที่กำหนด (Labeled mycotoxin) ในการเกาะจับหรือทำปฏิกิริยากับแอนติบอดีต่อสารพิษนั้นๆ ดังภาพที่ 10



Ab = antibody ต่อสารพิษนั้นๆ

An = สารพิษจากเชื้อราที่ต้องการวิเคราะห์

= เอนไซม์ชี้บ่ง = สารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ (Substrate)

ภาพที่ 10 การทำปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจงและแข่งขันระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดี
ที่มา: อมรา (2547)

ถ้าปริมาณสารพิษในตัวอย่างมีน้อย สารพิษที่ผูกติดกับตัวเอนไซม์ชี้บ่งก็มีโอกาสทำปฏิกิริยากะจับกับแอนติบอดีได้มากกว่า ถ้าสารพิษในตัวอย่างมีมากสารพิษที่ผูกติดกับเอนไซม์ก็จะมีโอกาสเกาะจับแอนติบอดีได้น้อย และปริมาณสารพิษในตัวอย่างสามารถวิเคราะห์ออกมาได้เป็นปริมาณส่วนในพันล้านส่วน (ppb) โดยการเทียบกับปฏิกิริยาของสารพิษมาตรฐาน (Standard mycotoxin) ที่ทราบปริมาณที่แน่นอน

ข้อดีของวิธีทางอิมมูโนวิทยา คือ

- 1) ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบไม่จำเป็นต้องทำให้สะอาดก่อน
- 2) ขั้นตอนการสกัดสารพิษจากตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ง่ายไม่ยุ่งยาก

จับซ้อน

- 3) วิธีนี้สามารถตรวจวิเคราะห์ได้หลายตัวอย่างพร้อมกัน
- 4) เวลาในการวิเคราะห์สั้นประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากเตรียมตัวอย่างแล้วก็
- จะทราบผล
- 5) เป็นวิธีที่ง่ายปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติ
- 6) ต้นทุนการวิเคราะห์ต่อตัวอย่างต่ำ
- 7) ไม่สร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเพราะใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายน้อย

คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิเคราะห์ทางอิมมูโนวิทยา

แอนติบอดี (Antibody) – เป็นสารพวก Immunoglobulin ที่ถูกสร้างขึ้นในสัตว์เลือดอุ่น เพื่อตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมที่เรียกว่า แอนติเจน (Antigen) ที่เข้าไปในร่างกายสัตว์และสามารถที่จะทำปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจงกับแอนติเจน นั้น ๆ การผลิตแอนติบอดีทำได้ในสัตว์หลายชนิด เช่น ม้า ลิง แพะ แกะ กระต่าย ไก่ หมู และหนู เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ กระต่าย แพะ และหนู

แอนติเจน (Antigen) – หมายถึงสารใด ๆ ก็ตามที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน ภายในตัวสัตว์เลือดอุ่น หรือสารที่สามารถทำปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจงกับแอนติบอดีนั้น ๆ โดยทั่วไปแอนติเจนต้องมีน้ำหนักโมเลกุลอย่างน้อยประมาณ 3000-5000 Kdal แอนติเจนอาจจะเป็นสารอินทรีย์ จุลินทรีย์ หรือผลผลิตของจุลินทรีย์ (สารพิษ) ก็ได้ คาร์โบไฮเดรตบางชนิดสามารถเป็นแอนติเจนได้เช่นกัน

อิมมูโนเจน (Immunogen) – หมายถึงสารที่สามารถชักนำให้ร่างกายสร้างแอนติบอดีและสามารถทำปฏิกิริยากับแอนติบอดีได้อย่างเฉพาะเจาะจง

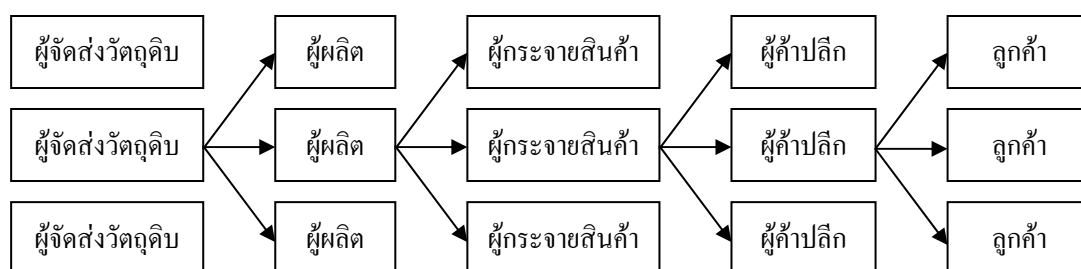
เฮปแทน (Heptane) – เป็นสาร โมเลกุลเล็ก ๆ ที่ไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างแอนติบอดีในสัตว์ได้โดยตรงด้วยตัวเอง แต่สามารถชักนำให้เกิดการสร้างแอนติบอดีได้ เมื่อ

นำสารนั้นไปผูกติดกับสารโมเลกุลใหญ่ที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ซึ่งเรียกว่า carrier เช่น โปรตีน สารพวกเฮปแทน ได้แก่ สารพิษ ฮอร์โมน ยา และสารเคมี เป็นต้น (อมรา, 2547)

อมรา และคณะ (2547) ได้ดำเนินโครงการทดสอบประสิทธิภาพชุดตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซินสำเร็จรูปเพื่อขยายผลการใช้งานสู่เกษตรกรและผู้ประกอบการส่งออก โดยในการศึกษานี้ได้ศึกษาถึงการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในผลิตผลเกษตร 17 ชนิด ที่จำหน่ายตามตลาดและซูเปอร์มาร์เก็ต 10 แห่ง เก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้งระยะเวลาห่างกันครั้งละ 1 เดือน ในแต่ละครั้งเก็บตัวอย่างละ 5-10 ซ้ำ รวมตัวอย่างที่นำมาศึกษาทั้งสิ้น 3,958 ตัวอย่าง ซึ่งผลการวิเคราะห์สารพิษอะฟลาทอกซินพบว่าถั่วลิสงเป็นผลิตผลเกษตรที่มีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินสูงที่สุด โดยพบตั้งแต่ 0.4 – 38,731.4 ppb และมีจำนวนตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนของสารพิษเกินมาตรฐานที่กำหนดสูงถึง 19.63% รองลงมาได้แก่พริกป่นละเอียดมีตัวอย่างที่มีสารพิษเกินมาตรฐาน 13.68% พริกป่นหยาบ 3.53%

3. ห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain)

ห่วงโซ่อุปทาน ประกอบด้วย ขั้นตอนต่างๆ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมที่มีต่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้า ซึ่งไม่เพียงแต่อยู่ในส่วนของผู้ผลิตและผู้จัดส่งวัตถุดิบเท่านั้น แต่รวมถึงส่วนของผู้ขนส่ง คลังสินค้า พ่อค้าคนกลางและลูกค้าอีกด้วย (วิทยา, 2545) ดังแสดงในภาพที่ 11 แต่ห่วงโซ่อุปทานก็ไม่จำเป็นต้องประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังภาพที่ 11 เสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับห่วงโซ่อุปทานของสินค้าแต่ละชนิดหรือแต่ละประเภท



ภาพที่ 11 ขั้นตอนต่างๆ ในห่วงโซ่อุปทาน
ที่มา: วิทยา (2545)

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) หมายถึง กระบวนการบูรณาการ ประสานงาน และควบคุมเริ่มต้นตั้งแต่กระบวนการจัดซื้อ (Procurement) การผลิต (Manufacturing) การจัดเก็บ (Storage) เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) การจัดจำหน่าย (Distribution) และการขนส่ง (Transportation) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้จะจัดระบบให้ประสานกัน อย่างคล่องตัว เพื่อลดต้นทุน สร้างกำไรให้ธุรกิจ และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน นอกจากนี้ การจัดการห่วงโซ่อุปทานไม่ได้ครอบคลุมเฉพาะหน่วยงานต่าง ๆ ภายในองค์กรเท่านั้น แต่ที่สำคัญจะสร้างความสัมพันธ์เชื่อมต่อกับองค์กรอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ผู้จัดการวัตถุดิบ หรือสินค้า (Suppliers) บริษัทผู้ผลิต (Manufactures) บริษัทผู้จำหน่าย (Distribution) รวมถึงลูกค้า ของบริษัท (Customers) จึงเป็นการเชื่อมโยงกระบวนการดำเนินธุรกิจทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องด้วยกัน เป็นห่วงโซ่หรือเครือข่ายให้เกิดการประสานงานกันอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการ ผลิตสินค้าหรือบริการ สร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้าสูงสุด โดยใช้ต้นทุนน้อยที่สุด แต่ละหน่วยงาน จึงมีความเกี่ยวเนื่องกันเหมือนห่วงโซ่ เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค (คำนาย, 2546; ชูเกียรติ, 2547; นิรินาม, 2548)

ในการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคนั้นมีตั้งแต่ การได้รับสินค้าถูกต้อง ตรงตาม เวลา การบริการลูกค้า ซึ่งรวมไปถึงการที่ผู้บริโภคได้รับสินค้าที่ปลอดภัย ในขณะที่ถ้าผู้ผลิตมีการ ปั่นเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินอยู่ตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยวจนไปถึงมือผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องมี การศึกษาห่วงโซ่อุปทานของผู้ผลิตรวมถึงการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อน และมีการ ป้องกันการปนเปื้อนเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

4. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยง เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเพื่อประโยชน์ของมนุษย์ในด้านการค้า และ กิจกรรมต่างๆ (Ross and Summer, 2002) โดยเป้าหมายของการประเมินความเสี่ยงคือการประมาณ ตัวเลขของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เช่น อุบัติเหตุที่เกิดในการทำงาน การเสียของเครื่องจักร รวมทั้งภัยทางธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว พายุ เป็นต้น (Paustenbach, 2002) การอธิบายความเสี่ยงเชิงคุณภาพสามารถเปลี่ยนให้เป็นเชิงปริมาณได้โดยการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์เข้ามาร่วมด้วย วิธีการที่มักนำมาใช้ส่วนมากเรียกว่า “Stochastic” และ “Probabilistic” (Ross and Summer, 2004)

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน (Paustenbach, 2002; Jouve *et al.*, 2002)

4.1 การระบุอันตราย (Hazard Identification)

การระบุถึงอันตรายเป็นขั้นที่ง่ายที่สุดในการประเมินความเสี่ยง โดยเริ่มจากการอธิบายขั้นตอนกระบวนการ และพิจารณาว่าจะมีอะไรที่เป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์บ้าง

4.2 ลักษณะของอันตราย (Hazard Characterization)

เป็นการประมาณผลของอันตรายที่จะมีต่อสุขภาพทั้งการประเมินเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพ

4.3 การประเมินความเสี่ยงต่ออันตราย (Exposure Assessment)

เป็นขั้นตอนที่เริ่มนำความรู้ทางคณิตศาสตร์เข้าใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากอันตรายทั้งเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพ

4.4 การระบุลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization)

เป็นขั้นสุดท้ายที่สำคัญที่สุด โดยจะมีการประมวลผลรวมระหว่างอันตรายที่ระบุไว้ ข้อมูลลักษณะของอันตราย และการประเมินความเสี่ยง เพื่อประมาณระดับความเสี่ยง ความไม่แน่นอน ความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นกับสุขภาพมนุษย์

ในการประเมินความเสี่ยงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลายด้าน เช่น การศึกษาของ Ross and Summer (2002) ที่ศึกษาเกี่ยวกับ เครื่องมืออย่างง่ายในการประเมินความเสี่ยง ในด้านความปลอดภัยของอาหาร ซึ่งเครื่องมือที่ใช้เป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ การคำนวณด้วย spreadsheet ซึ่งสามารถเปลี่ยนข้อมูลเข้าที่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพให้เป็นตัวเลขแล้วนำไปรวมกับข้อมูลเข้าเชิงปริมาณ แล้วผ่านการคำนวณออกมาเป็นความเสี่ยงด้านสุขภาพ Larsen (2006) ได้ศึกษาถึงการประเมินความเสี่ยงทางเคมีในอาหารพื้นบ้านยุโรป พบว่าการประเมินความเสี่ยงต้องเริ่มจากปัจจัยที่มีผลต่อความ

ปลอดภัย วิธีการประเมินความเสี่ยงที่รวมถึงความเป็นพิษต่อพันธุกรรม และมะเร็ง และระดับเริ่มต้นของความเป็นพิษที่ต้องระวัง และ Aven และ Kvaloy (2002) ได้กล่าวถึงการนำหลักการแบบเบเยเซียน (Bayesian) มาใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยง เนื่องจากในการวิเคราะห์ความเสี่ยงนั้น จะมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นมาก่อนเพื่อมาวิเคราะห์ถึงการเกิดเหตุการณ์ต่อมา โดยหลักการเบเยเซียนนั้นก็เป็นการศึกษาถึงความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์หลังเมื่อทราบความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์แรก แต่ในการนำหลักการเบเยเซียนมาใช้ในชีวิตจริงนั้นพบว่าเป็นไปได้ยากเนื่องจากปัญหานั้นจะซับซ้อนมาก ทำให้มีการคำนวณที่ซับซ้อนมาก และยังขึ้นอยู่กับภาระการกระจายตัวของเหตุการณ์ก่อนหน้านี้ด้วย ดังนั้นการกระจายตัวของเหตุการณ์ที่จะเกิดภายหลังอาจต้องมีการใช้ห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) มอนติคาร์โล (Monte Carlo) ร่วมด้วย และมีการศึกษาของ Liao และ Chen (2005) ในหัวข้อการใช้รูปแบบความน่าจะเป็นในการประเมินความเสี่ยงของมนุษย์ที่จะหายใจรับสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 เข้าไปทางอากาศ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งทำการหารูปแบบการกระจายของ *Aspergillus spp.* ที่เกิดในการทำกิจกรรมในที่ร่มและที่แจ้ง ทำการหารูปแบบการกระจายที่เหมาะสมด้วยการใช้ค่าสถิติ Komogorov-Smirnov ขั้นที่สองเป็นการประมาณความเข้มข้นของสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 ในเนื้อเยื่อปอด ขั้นที่สามเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบ และขั้นสุดท้ายเป็นการประเมินผลกระทบเชิงปริมาณ ซึ่งในการศึกษานี้พบว่ารูปแบบความน่าจะเป็นที่มีการกระจายตัวแบบลอคนอร์มอล (Lognormal Distribution) เป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการประเมินความเสี่ยงมากที่สุด และ Cho *et al.* (2002) ได้ศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนด้วยการใช้หลักการคลุมเครือหรือฟัซซี่ (fuzzy) ซึ่งในที่นี้ใช้หลักการคลุมเครือเนื่องจากในการประเมินค่าต่างๆ มักประเมินค่าออกมาเป็นภาษาพูดที่ไม่ชัดเจน จึงใช้หลักการคลุมเครือในการสร้างสมาชิกคลุมเครือ (Fuzzy membership) จากการศึกษาของ Gaag *et al.* (2004) ที่ได้ศึกษาถึงการแพร่กระจายเชื้อ *Salmonella* ในห่วงโซ่อุปทานของเนื้อหมู ซึ่งได้มีการใช้ stochastic state-transition simulation model สำหรับอธิบายการแพร่เชื้อ *Salmonella* โดยมีการศึกษาถึงโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของเนื้อหมูก่อนและศึกษาถึงความเสี่ยงที่จะเกิดการปนเปื้อนเชื้อ *Salmonella* ในแต่ละขั้นของห่วงโซ่อุปทานโดยใช้หลักความน่าจะเป็น ซึ่งพบว่าขั้นการฆ่าเป็นขั้นที่ควรระวังที่สุดเพราะมีโอกาสปนเปื้อนจากขั้นนี้มากที่สุด ขณะที่การศึกษาของ Sauli *et al.* (2005) ได้ศึกษาถึงการประมาณความน่าจะเป็นและระดับการปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella* ในอาหารที่ใช้เลี้ยงหมูในประเทศสวีเดนและผลกระทบต่อการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อประมาณความน่าจะเป็นและระดับการปนเปื้อนเชื้อ *Salmonella* ในอาหารเลี้ยงหมู เพื่อประมาณประสิทธิภาพของขั้นตอนที่กระทำเพื่อลดการปนเปื้อนเชื้อ *Salmonella* ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้การจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo) เพื่อประเมินความเสี่ยงของการ

ปนเปื้อน และจากการศึกษาของ Linko (1998) ที่ได้ศึกษาถึงการนำระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) เข้ามาช่วยในอุตสาหกรรมอาหาร โดยการศึกษาพบว่าระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถนำเข้ามาช่วยในอุตสาหกรรมอาหารได้โดยมีการใช้เครื่องมือเช่น เซตคลุมเครือ (Fuzzy Set) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) โดยพบว่าระบบผู้เชี่ยวชาญนี้สามารถเข้าไปช่วยได้ทั้ง การควบคุมการผลิตอาหาร การควบคุมการหมัก การควบคุมการผลิตด้วยเอ็กซ์ทรูชัน การวิเคราะห์ความผิดพลาด การวางแผนการผลิต การควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ และในด้านเกษตรกรรม เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งในด้านนี้มีการนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาใช้เช่น การจัดการข้าวโพดไร่ การระวังแมลงและศัตรูพืช การควบคุมการเก็บรักษาแบบปรับสภาวะบรรยากาศในแอปเปิ้ล ซึ่งในการนำไปใช้นี้มีการใช้เครื่องมือต่างๆ เข้ามาช่วย เช่น ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประเมินและทำนายความเสี่ยง

ในการประเมินและทำนายความเสี่ยงสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

5.1 ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic)

5.1.1 พื้นฐานแนวคิดแบบคลุมเครือหรือฟัซซี่ (Ross, 2004)

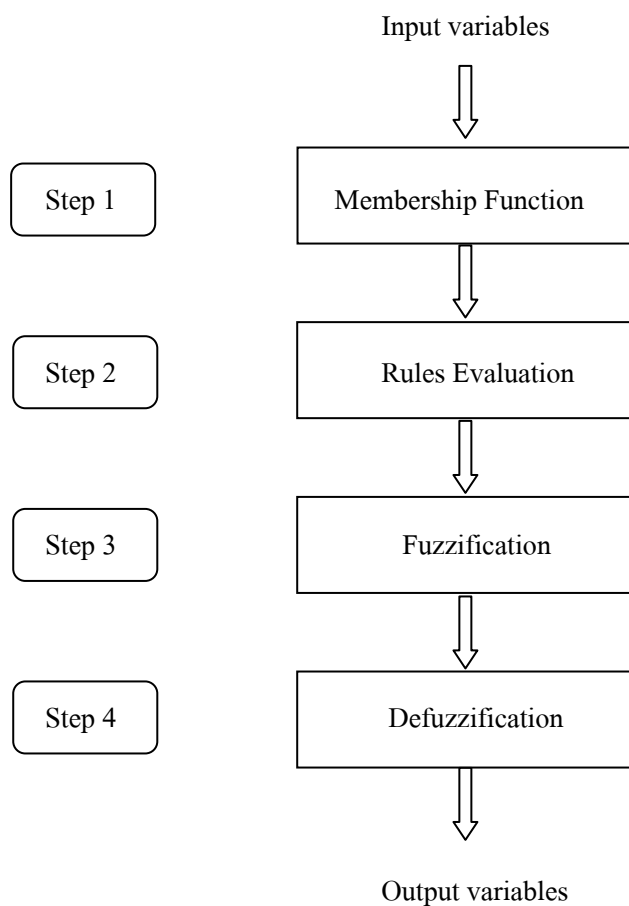
ทฤษฎีของเซตคลุมเครือ (Fuzzy set) นั้นเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์รูปแบบหนึ่งที่ได้ให้ความหมายในการที่จะสื่อถึงคำว่า “ความไม่แน่นอน” (Uncertainty) แต่โดยที่ทราบกันแล้วว่า ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability theory) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์แรกที่ใช้แสดงและแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับความไม่แน่นอน ด้วยเหตุนี้ทุกความไม่แน่นอนจะถูกมองเป็นความไม่แน่นอนแบบสุ่ม (Random uncertainty) โดยที่กระบวนการสุ่ม (Random process) สนใจผลที่เกิดขึ้นซึ่งให้ความสัมพันธ์ที่โอกาสสำหรับครั้งนั้นๆ โดยไม่สามารถคาดเดาถึงผลที่จะเกิดขึ้นได้ แต่สามารถให้ค่าซึ่งเป็นสถิติจากการทดสอบ และเก็บข้อมูลตัวอย่างมาเป็นจำนวนมาก (Ross, 2004) แต่แท้จริงแล้วไม่ใช่ทุกความไม่แน่นอนจะมีลักษณะเป็นรูปแบบสุ่ม เพราะฉะนั้นความไม่แน่นอนที่ไม่ได้มีลักษณะแบบสุ่มจึงไม่เหมาะที่จะใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น ซึ่งโดยมากแล้วความไม่แน่นอนที่เกี่ยวกับระบบที่ซับซ้อนซึ่งเกี่ยวเนื่องกับมนุษย์จะมีลักษณะแบบไม่สุ่ม (Nonrandom)

เซตคลุมเครือ เป็นเครื่องมือที่สามารถสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่แม่นยำ (Imprecision) และความไม่ครบถ้วนของข้อมูล โดยทฤษฎีเซตคลุมเครือนั้น จะใช้ในลักษณะความหมายของตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร เช่น การระบุถึงความหมายของคนที่มี “สูง” เราไม่สามารถนิยามค่าความสูงที่ตรงกันเป็นหนึ่งเดียวได้ สำหรับนาย ก. คนสูงอาจหมายถึงคนที่มีความสูงมากกว่า 180 เซนติเมตร หรือนาย ข. อาจหมายถึงคนที่มีความสูงมากกว่า 175 เซนติเมตร ซึ่งทั้งสองคนให้ความหมายของคนที่สูงแตกต่างกันตามมุมมองของตนเอง ในการทำงานที่มองแบบฐานสอง (Binary sense) จะได้ผลแค่ใช่ กับ ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่สูงคือ คนที่สูงมากกว่า 180 เซนติเมตร คอมพิวเตอร์จะตัดสินใจตัดสินคนที่สูง 179 เซนติเมตร ว่าไม่เป็นคนที่สูง และถึงแม้อีกคนหนึ่งจะสูง 180 เซนติเมตร แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่สูงเฉลี่ย 190 เซนติเมตร บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่สูง แสดงให้เห็นว่า ความสูงไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาต่างๆ ไป จะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา จะเห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมด มีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอน ซึ่งยังประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นแบบคลุมเครือ หรือเลือนราง ซึ่งมีมากกว่า 40% ทั้งนี้เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดตน (Ross, 2004)

5.1.2 การประมวลผลแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

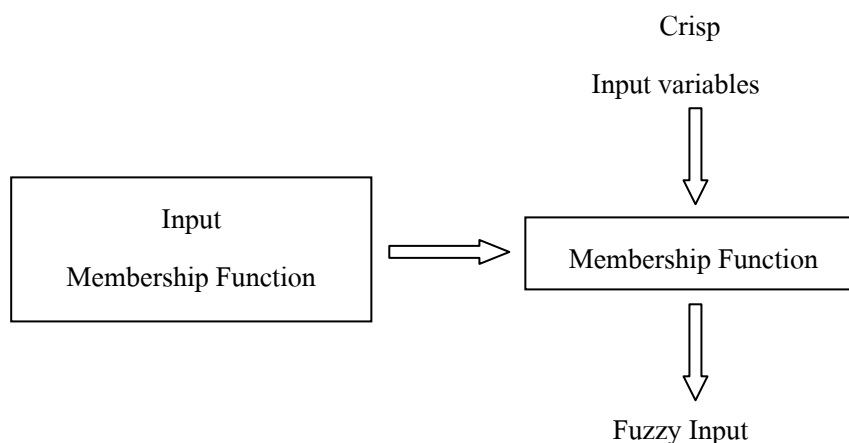
การประมวลผลแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือจะต้องเริ่มจากการศึกษาระบบก่อน โดยระบุตัวแปรเข้า และตัวแปรออกของระบบ ถ้าตัวแปรเข้าของระบบเป็นคริปสเซต (Crisp Set) ต้องแปลงให้เป็นตัวแปรเข้าแบบคลุมเครือก่อน ซึ่งเมื่อต้องการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือก็จะมีกระบวนการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเข้ากับตัวแปรออกให้อยู่ในรูปกฎของการควบคุม แล้วนำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกันเพื่อหาการตัดสินใจของระบบ ซึ่งกฎต่างๆ นี้จะเขียนขึ้นในรูปแบบของภาษาธรรมชาติต่างๆ ไป เช่น If x is a1 and y is a2, then output is b1. เป็นต้น เห็นได้ว่าการควบคุมแบบนี้มีความยืดหยุ่นสูง สามารถควบคุมระบบได้ในหลายสถานการณ์ แล้วแต่ผู้ควบคุมกำหนดกฎพื้นฐานให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์นั้นๆ (นันทพร, 2545)

ขั้นตอนใหญ่ๆ ของการควบคุมด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือแสดงได้ดังภาพที่ 12



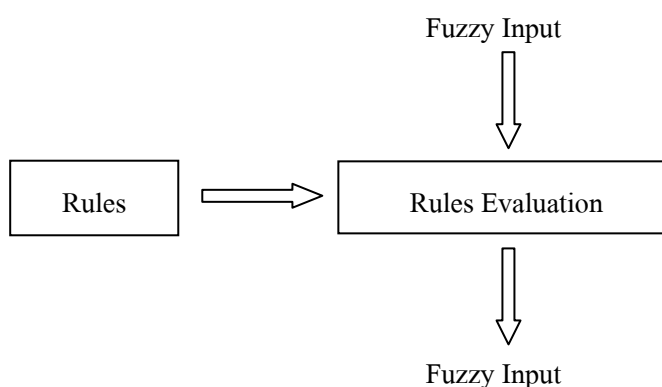
ภาพที่ 12 ขั้นตอนหลักการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ
ที่มา: Ross (1995)

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงตัวแปรเข้าที่เป็นคริสพเซตให้เป็นตัวแปรเข้าแบบคลุมเครือ โดยใช้ฟังก์ชันการสร้างความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีรูปแบบเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละตัวแปรเข้า และความสำคัญต่อตัวแปรออกที่สนใจ โดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดโดยภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นตัวแปรเข้าดังภาพที่ 13



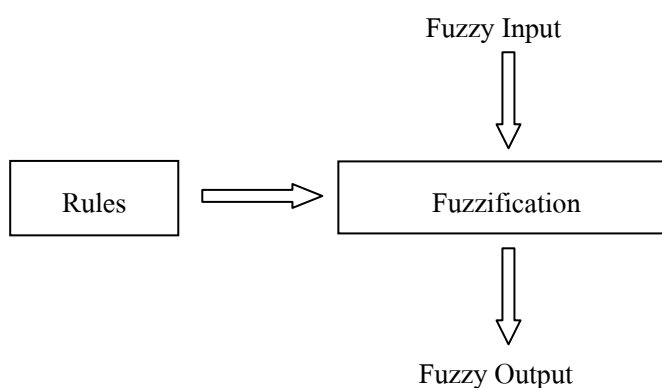
ภาพที่ 13 ขั้นตอนที่ 1 ในการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ
ที่มา: Ross (1995)

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเข้าทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรออกที่สนใจโดยอาศัยหลักของเหตุและผล อาจจะสร้างจากการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือตามค่าที่ได้จากการทดลอง โดยจะเขียนเป็นกฎการควบคุม ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูป ถ้า และ หรือ แล้ว ซึ่งเป็นภาษาสามัญ ซึ่งจะนำกฎเหล่านี้ไปประมวลผลรวมกันเพื่อหาการตัดสินใจที่เหมาะสมกับการควบคุมอีกครั้งหนึ่งดังภาพที่ 14



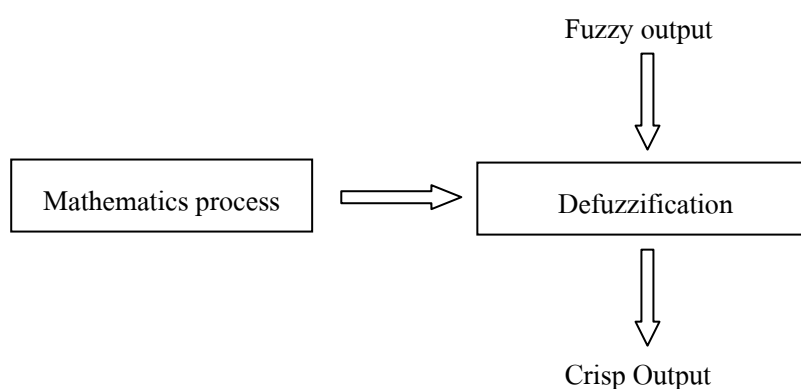
ภาพที่ 14 ขั้นตอนที่ 2 ในการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ
ที่มา : Ross (1995)

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาตัวแปรออกแบบคลุมเครือ โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับตัวแปรเข้าแบบคลุมเครือโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำค่าที่ได้ไปประมวลผลในขั้นต่อไปดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ขั้นตอนที่ 3 ในการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ
ที่มา : Ross (1995)

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้าย โดยจะแปลงตัวแปรออกแบบคลุมเครือให้เป็นตัวแปรออกแบบคริสด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น การหาจุดถ่วงน้ำหนัก หรือจุดที่มีความเป็นสมาชิกมากที่สุดของตัวแปรออกแบบคลุมเครือ เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ขั้นตอนที่ 4 ในการประมวลผลด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ
ที่มา: Ross (1995)

5.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) คือ แบบจำลองระบบประสาทของมนุษย์ จำลองโดยใช้อุปกรณ์พิเศษ หรือโปรแกรมที่เหมาะสม มีระดับชั้นในการประมวลผลหลายระดับ แต่ละชั้นประกอบด้วยหน่วยประมวลผลพื้นฐานที่เรียกว่า หน่วยประสาท (Neuron) หน่วยประสาทแต่ละตัวจะเชื่อมโยงกับหน่วยประสาทที่อยู่ใกล้เคียงกัน มีค่าน้ำหนัก (Weight) ในการเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน การเรียนรู้ทำได้โดยการปรับค่าความสำคัญเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ (Littman, 1999)

เซลล์ประสาทมนุษย์มีคุณสมบัติและขั้นตอนการทำงานเหมือนกับเซลล์ประสาทเทียม (Fausett, 1994) โดยทั้งสองมีความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 การเปรียบเทียบโครงข่ายเซลล์ประสาทมนุษย์กับเซลล์ประสาทเทียมดังภาพที่ 17 คุณสมบัติและกระบวนการทำงานของเซลล์ประสาทมนุษย์ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. เซลล์ประสาทสามารถรับสัญญาณ (Input) ได้จำนวนมาก

ข. สัญญาณต่างๆ ถูกปรับโดยค่า Weight ที่ได้รับจาก Synapse

ค. เซลล์ประสาททำการรวมค่า Weight และสัญญาณแล้วส่งผลลัพธ์ไปยัง

Axon

ง. ผลลัพธ์จากเซลล์ประสาทหนึ่งเซลล์ สามารถส่งไปที่เซลล์ประสาทหลายเซลล์ได้

จ. Synapse Strength มีความสามารถในการเรียนรู้แบบอัตโนมัติ ดังนั้นจึงสามารถปรับได้จากประสบการณ์ในการเรียนรู้

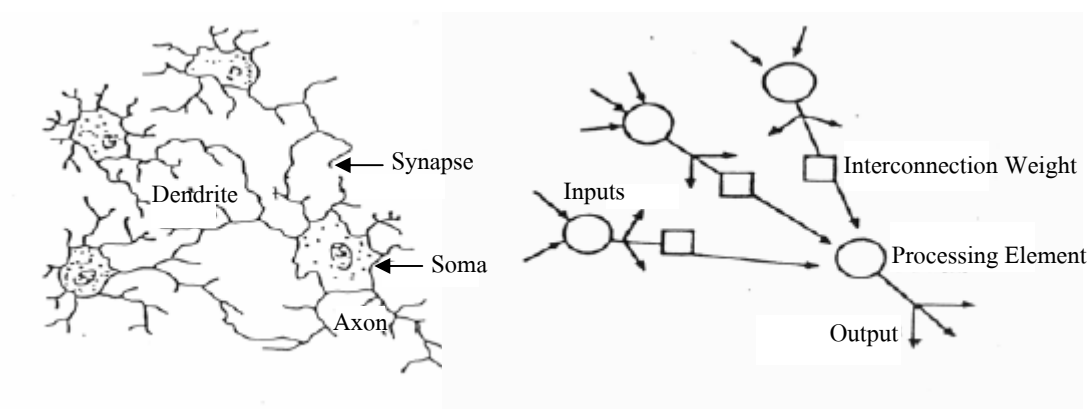
ฉ. การกระจายความจำของเซลล์ประสาทประกอบด้วย 2 ลักษณะ ได้แก่ Long Term Memory คือ การกระจาย Weight ที่อยู่ใน Synapse และ Short Term Memory คือ การกระจายสัญญาณที่ถูกส่งมาโดยเซลล์ประสาท

ข. การส่งสัญญาณของเซลล์ประสาทจาก Synapse แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะของการกระตุ้น (Excitation) เป็นการทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านเข้ามามีความถี่สูงขึ้น และ ลักษณะของการยับยั้ง (Inhibitory) เป็นการทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านเข้ามามีความถี่ต่ำลง

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทมนุษย์กับเซลล์ประสาทเทียม

เซลล์ประสาทมนุษย์	เซลล์ประสาทเทียม
Dendrite	Input Node
Soma	Hidden Node
Axon	Output Node
Synapse	Weight

ที่มา : สมยศ (2547)



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบโครงข่ายเซลล์ประสาทมนุษย์ (ซ้าย)
กับโครงข่ายเซลล์ประสาทเทียม (ขวา)

ที่มา: สมยศ (2547)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นกระบวนการประมวลผลทางคณิตศาสตร์และกระจายข้อมูลด้วยความเท่าเทียมกันระบบมีวิธีที่แน่นอนเหมือนสมองมนุษย์ ใช้ในการประมาณค่า ซึ่งระบบจะมีความสามารถในการจำการกำหนดความสัมพันธ์ของตัวแปรเข้าและตัวแปรออก จากรูปแบบที่กำหนดทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถแก้ปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากๆ ได้ เช่น รูปแบบของการบันทึกความจำแบบจำลองไม่เชิงเส้น การจำแนกแยกแยะ และอื่นๆ ซึ่งข้อดี

ของการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมที่เห็นชัดคือความสามารถในการแก้ไขปัญหาที่ไม่จำเป็นต้องมีนิยามที่เด่นชัดเหมือนปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ทั่วไป ในทางตรงกันข้ามระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะแก้ไขปัญหาที่เพียงแต่มีการรวบรวมชุดของตัวอย่างของปัญหาและคำตอบ และระบบจะพยายามปรับปรุงข้อมูลความรู้ภายใน แต่ก็เป็นการยากในการเลือกค่าพารามิเตอร์ เช่น จำนวนของหน่วยประสาทในชั้นซ่อน (Hidden Nodes), อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) และ ค่าน้ำหนักเริ่มต้น (Initializing Weight) ไม่มีทฤษฎีที่จะสามารถบอกได้ว่าจะมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนเท่าไร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประมาณค่าเริ่มต้นต่างๆ (สมนึก, 2538)

5.2.1 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

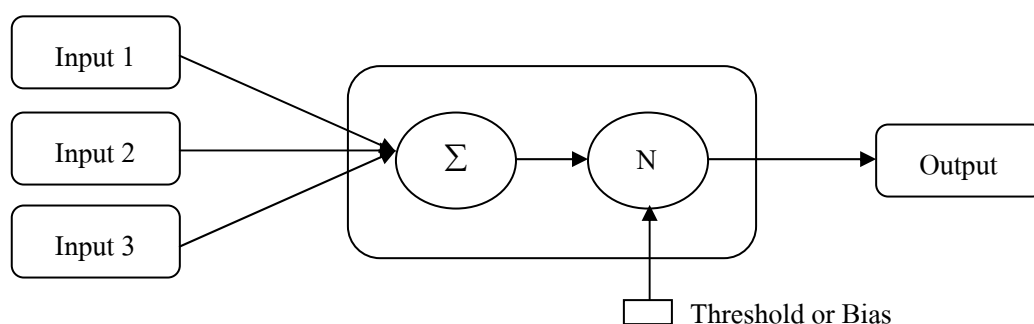
รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยหน่วยประสาทในแต่ละชั้นและความเชื่อมต่อกันภายในระหว่างชั้นดังนี้ (สมยศ, 2547)

ก. ชั้นแรกจะเป็นชั้นของตัวแปรเข้า (Input Layer) จะมีเพียงชั้นเดียว จำนวนหน่วยประสาทจะมีเท่ากับจำนวนของข้อมูลตัวแปรเข้า (Input Data) การคำนวณในชั้นตัวแปรเข้า (Input Node) จะเป็นเพียงการแปลงค่าข้อมูลให้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เนื่องจากข้อมูลดิบจะเป็นตัวเลขที่มีค่ามาก และหน่วยของข้อมูลมีรูปแบบที่ไม่เหมือนกันจึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบและช่วงของข้อมูลเดียวกัน

ข. ชั้นซ่อน (Hidden Layer) โดยทั่วไปจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาท (Node) จะเป็นเท่าใดไม่มีข้อจำกัดแน่นอน แต่ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทมากๆ จะทำให้ช้ามากในการคำนวณ และผลที่ได้ดีหรือไม่ดีไม่อาจทราบได้ (Overfitting) และถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทน้อยเกินไป จะทำให้ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนไม่ลู่เข้าจุดต่ำสุด (Convergent) และผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ถูกต้อง จึงต้องทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อนต่างๆ กัน และจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนนั้นๆ ว่ามีจำนวนเท่าไรจะทำให้การคำนวณได้ผลดีกว่ากัน

ค. ชั้นตัวแปรออก (Output Layer) จะมีชั้นเดียวและจะมีจำนวนหน่วยประสาทเท่ากับจำนวนตัวแปรออก (Output) ที่ต้องการ

การคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมจะอยู่ที่หน่วยประสาทในชั้นซ่อน และชั้นตัวแปรออกเป็นหลัก สำหรับหน่วยประสาทในชั้นตัวแปรเข้าจะเป็นเพียงกระบวนการปรับข้อมูล (Data Processing) เท่านั้น โดยตัวแปรเข้าจะมารวมเข้ากันที่หน่วยประสาทแล้วผ่านขั้นตอนความสัมพันธ์ ซึ่งมีน้ำหนัก (Connecting Weight) และค่า Bias รวมด้วย (Patterson, 1996) ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม
ที่มา : สมยศ (2547)

5.3 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ (สมยศ, 2547)

5.3.1 ขั้นตอนการเรียนรู้ ซึ่งเรียนรู้จากข้อมูลของตัวแปรเข้าและตัวแปรออก โดยใช้ทฤษฎีการประมวลผลแบบย้อนกลับ (Backpropagation) แล้วทำการออกแบบโครงข่าย เพื่อหาความสัมพันธ์ภายในของข้อมูลตัวแปรเข้าและตัวแปรออก

5.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ จะนำโครงข่ายที่ได้ออกแบบและฝึกฝนแล้ว มาใช้งานต่อ โดยจะใช้ตัวแปรเข้าชุดใหม่ใส่เข้าไป (มีไม่มากกว่า 70% ของชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝน) เพื่อหาตัวแปรออกที่เราต้องการ

5.4 กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมมี 3 ลักษณะ คือ (สมยศ, 2547)

5.4.1 การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised Learning) เป็นการใช้รูปแบบของชุดข้อมูลคู่ตัวแปรเข้า-ตัวแปรออก เพื่อให้โครงข่ายได้เรียนรู้หาความสัมพันธ์ภายในของ Input ต่างๆ เพื่อให้ได้ Output ของโครงข่ายใกล้เคียง หรือตรงกับ Output ที่กำหนดให้ ดังนั้นการเรียนรู้แบบนี้ ถ้า Output ที่ได้ไม่ตรงกับค่า Target Output โครงข่ายจะส่งข้อมูลความคลาดเคลื่อนกลับไปปรับแก้ค่าต่างๆ ที่เชื่อมโยงในโครงข่าย เพื่อให้ได้ Output ที่มีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับค่า Target Output

5.4.2 การเรียนรู้แบบเสริม (Reinforcement) แม้ว่าโครงข่ายถูกฝึกฝนแล้วก็ตาม แต่คำตอบที่ถูกต้องหรือ Target Output ไม่ได้ถูกนำมาแสดงในโครงข่าย ดังนั้นผลการคำนวณจึงแสดงออกมาในรูปถูกหรือผิด โครงข่ายจึงต้องใช้ประโยชน์จากข้อมูลต่างๆ เพื่อนำไปปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้น

5.4.3 การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised Learning) ในโครงข่ายของการเรียนรู้แบบนี้จะปรับตัวเองหรือหาความสัมพันธ์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เองโดยไม่ต้องการความช่วยเหลือจากภายนอก และไม่รับรู้ความผิดพลาดที่เกิดจากข้อมูลเป้าหมาย การเรียนรู้แบบนี้จะใช้วิธีการสร้างความเข้มแข็งให้กับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงกับ Input ที่ตอบสนองได้ดีกับค่า Target output

5.5 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Patterson, 1996)

5.5.1 การตอบสนองข้อจำกัด (Constraint Satisfaction)

ปัญหาที่ตัวแปรต่างๆ มีข้อจำกัด เช่น การทำงานชิ้นหนึ่ง ซึ่งงานนั้นเกิดจากการรวมกันของงานย่อยๆ หลายงาน เช่น การตัด การบด การล้าง การทำ เป็นต้น โดยแต่ละงานจะต้องใช้เครื่องมือเพียง 1 ครั้ง จึงทำให้เกิดข้อจำกัดขึ้น หรือปัญหาการจัดเส้นทางรถของพนักงานขาย ที่ต้องไปพบลูกค้าทุกคนคนละ 1 ครั้ง ก็จะมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาและระยะทางที่ใช้ในการเดินทางที่ต้องใช้น้อยที่สุด และมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดเช่นกัน

5.5.2 การจดจำรายละเอียด (Content Addressable Memories)

โครงข่ายประสาทเทียมบางชนิดสามารถเรียนรู้และจดจำรูปแบบ ซึ่งเมื่อมีการพบรูปแบบเดิมที่เคยเรียนรู้ก็จะมีการเชื่อมโยงกับรูปแบบเดิมที่เคยเรียนรู้ ในการนี้ถึงรูปแบบที่เคยเจอมาจะมีทั้งการพบรูปแบบที่เคยเจอมาโดยตรง หรือการพบกับรูปแบบที่มีการบิดเบือน และแตกต่างออกไป ซึ่งเมื่อพบกับรูปแบบที่เคยเจอแล้วได้เรียนรู้ไว้แล้ว ระบบนี้จะถูกเรียกว่า การเชื่อมโยงอัตโนมัติ แต่ถ้าพบกับรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ระบบจะถูกเรียกว่า การเชื่อมโยงที่ต่างกัน

5.5.3 การควบคุม (Control)

โครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการควบคุมเนื่องจากมีประสิทธิภาพ เช่น การควบคุมหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ การขับเคลื่อน โดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกฝนในเรื่องของการขับเคลื่อน โดยฝึกการควบคุมตำแหน่ง ซึ่งโรงงานที่มีการใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น และโรงงานเคมีก็มีการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต การใช้วัตถุดิบ โดยบริษัทในประเทศญี่ปุ่นได้มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการควบคุมเพื่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีขึ้น

5.5.4 การบีบอัดข้อมูลและการทำแผนภาพ (Data Compression and General Mapping)

โครงข่ายบางชนิดถูกฝึกให้เรียนรู้การคำนวณเพื่อใช้ลดรูปแบบของตัวแปรเข้า เช่น ตัวแปรเข้ามี n มิติ แต่เมื่อผ่านโครงข่ายประสาทเทียมจะทำให้เหลือ m มิติ ($m < n$) ซึ่งเป็นการแปลงให้อยู่ในรูปสัญลักษณ์ของกลุ่มที่เหมือนกัน การบีบอัดข้อมูลมักนำไปใช้ในการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งนำไปใช้ในกรณีของการประมวลผลภาพ

5.5.5 การวินิจฉัย การวิเคราะห์ (Diagnostics)

โครงข่ายประสาทเทียมมีการนำไปใช้ในการวินิจฉัย หรือวิเคราะห์ เช่น ทางยา ทางวิศวกรรม หรือในโรงงาน ใช้ในการแก้ปัญหาคำถาม ที่ต้องอาศัยการเชื่อมโยงที่ถูกต้อง

ระหว่างรูปแบบของตัวแปรเข้า ที่อาจเป็นตัวแทนของโรค หรือพฤติกรรมที่ผิดปกติที่อาจเป็นผลมาจากความผิดปกติของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเป็นผลจากการขาดสารอาหาร

5.5.6 การคาดการณ์ พยากรณ์ (Forecasting)

การพยากรณ์ถูกนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น บริษัทที่ผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคที่ต้องการทราบอัตราการเติบโตของยอดขายของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่จะนำออกสู่ตลาด นักอุตุนิยมวิทยาที่ต้องการพยากรณ์สภาพอากาศ ธนาคารที่ต้องการคาดการณ์ความน่าเชื่อถือของลูกค้าเพื่อใช้ตัดสินใจในการปล่อยกู้ หรือ บริษัทที่ต้องการทราบความต้องการของลูกค้าในอนาคต โดยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเครื่องมือที่ถูกนำไปใช้แล้วได้ผลสำเร็จเป็นอย่างดี โดยโครงข่ายประสาทเทียมใช้ทำนายการเกิดของเหตุการณ์ว่าเหตุการณ์นั้นจะเกิดหรือไม่เกิด การคาดการณ์เวลาที่จะเกิดเหตุการณ์นั้น การคาดการณ์ระดับของเหตุการณ์ที่จะเกิด โดยการคาดการณ์นั้นต้องอยู่ในระดับความถูกต้องที่ยอมรับได้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกฝนจากตัวอย่างรูปแบบผลลัพธ์ที่ผ่านมาในอดีต โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการเชื่อมโยงเพื่อทำนายผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำไปใช้มากในสถาบันทางการเงิน เพื่อดูแนวโน้มการซื้อขาย แลกเปลี่ยนเงินตรา การซื้อขายหุ้น โดยมีงานวิจัยของ Henderson *et al.* (2000) ที่ได้ศึกษาถึงการพยากรณ์ปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมพบว่า การพยากรณ์ปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงขึ้นกับข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์ปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีตัวแปรเข้า ได้แก่ อุณหภูมิดิน ระยะเวลาการตากแห้ง อายุที่เก็บเกี่ยว และความชื้นสะสม ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation และวิธีการแบบ Genetic Algorithm เป็นวิธีที่สามารถใช้พยากรณ์ปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้

5.5.7 การรวบรวมคำสั่งของเครื่องส่งสัญญาณหลายเครื่อง (Multisensor Data Fusion)

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถใช้ในการรวบรวมข้อมูลของเครื่องส่งสัญญาณหลายๆ แหล่งได้ โดยนำมาประมวลผลร่วมกัน กระบวนการรวม ได้แก่ การตรวจจับ การเชื่อมโยง การสัมพันธ์ การประมาณ และการรวมข้อมูล เช่น มนุษย์มีการรวมกันของข้อมูลที่ได้รับจาก

ประสาทสัมผัสต่างๆ ได้แก่ การสัมผัส ได้ยิน ได้เห็น ได้กลิ่น ซึ่งมนุษย์จะรับทุกประสาทสัมผัสเข้าด้วยกันเพื่อประมวลผลรวมกันให้รับรู้ถึงสภาวะแวดล้อม

5.5.8 การหาจุดที่เหมาะสม (Optimization)

โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำไปใช้ในการหาวิธีการที่ดีที่สุด หรือจุดที่เหมาะสม เช่น การหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดของสายการบินที่จะให้เกิดระยะทางที่สั้นที่สุด แต่มีการบินผ่านเมืองต่างๆ มากที่สุด ซึ่งอาจจะมีข้อจำกัดเรื่องลำดับในการบินว่าต้องบินผ่านเมืองใดก่อนหลัง และต้องมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดด้วย การใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะต้องเขียนข้อจำกัด และความต้องการเป้าหมายให้แก่โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ระบบเรียนรู้

5.5.9 การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition)

โดยทั่วไปโครงข่ายประสาทเทียมจะเป็นระบบที่มีการเรียนรู้ที่ดี จดจำเก่ง แม้จะเป็นรูปแบบที่ซับซ้อน เช่น ภาพที่เห็น ลักษณะตัวพิมพ์ ลายมือ ลำเนียงพูด เป็นต้น มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งานวิจัยทางด้านการจดจำภาพ ลำเนียงพูด ลายมือ หุ่นยนต์ การควบคุมกระบวนการ เป็นต้น

5.5.10 การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงเป็นรูปแบบหนึ่งของการจดจำรูปแบบและลักษณะทั่วไป โดยจะบอกออกมาในรูปความเสี่ยงน้อย-เสี่ยงมาก หรือความน่าเชื่อถือมาก-น้อย โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะเรียนรู้จากตัวอย่างสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถคาดการณ์สถานการณ์ใหม่ที่ไม่รู้จักได้ โดยอาศัยข้อมูลจากสถานการณ์ที่เคยได้เรียนรู้มา มีธุรกิจหลายประเภทที่นำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ธนาคาร หรือบริษัทที่ผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค นายหน้าหุ้น นักเศรษฐศาสตร์ ผู้ค้าเงินสกุลต่างๆ นักอุดมศึกษา วิศวกร เป็นต้น ซึ่งบุคคลเหล่านี้จะนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้เพื่อให้มีโอกาสประสบความสำเร็จมากที่สุด

5.6 การประมวลผลแบบย้อนกลับ (Backpropagation) (Kulkarni, 2001)

การประมวลผลแบบย้อนกลับ (Backpropagation หรือ Feed-Forward Network) เป็นกระบวนการเรียนรู้แบบมีครูสอน รูปแบบการฝึกฝนพื้นฐานของการประมวลผลแบบย้อนกลับคือการคำนวณแบบลาดชันลง (gradient descent algorithm) การประมวลผลแบบย้อนกลับมีขั้นตอนดังนี้

5.6.1 ขั้นที่ 1

ขั้นแรกของการประมวลผลแบบย้อนกลับจะต้องสร้างโครงข่าย (Creating a Network) ก่อน ซึ่งกำหนดค่าทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ ค่าสูงสุด-ต่ำสุดของแต่ละปัจจัยในตัวแปรเข้า ขนาดของแต่ละชั้น ซึ่งหมายถึงจำนวนหน่วยประสาทในแต่ละชั้น ฟังก์ชันการเปลี่ยน (Transfer Function) และ ชนิดของฟังก์ชันการฝึกฝน (Training Function)

5.6.2 ขั้นที่ 2

ก่อนการฝึกฝน น้ำหนักและค่า Bias เบื้องต้นจะถูกกำหนดค่าเริ่มต้น (Initializing Weights) ขึ้นมาก่อน ซึ่งจะมาจากการสุ่ม

5.6.3 ขั้นที่ 3

ตัวแปรเข้าที่ป้อนเข้าไปครั้งแรกนั้นจะเป็นตัวแปรเข้าของชั้นที่ 1 เมื่อผ่านการคำนวณในชั้นที่ 1 ร่วมกับน้ำหนักและค่า Bias ก็จะได้ตัวแปรออกของชั้นที่ 1 ซึ่งตัวแปรออกของชั้นที่ 1 นี้จะเป็นตัวแปรเข้าของชั้นที่ 2 และตัวแปรออกของชั้นที่ 2 ก็จะเป็นตัวแปรเข้าของชั้นถัดไป เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

5.6.4 ขั้นที่ 4

การปรับน้ำหนักและค่า Bias นั้นจะคำนวณจากตัวแปรออกของขั้นสุดท้ายเปรียบเทียบกับตัวแปรออกของข้อมูลจริง ซึ่งความคลาดเคลื่อนของตัวแปรออกที่ได้นั้นจะถูกส่งกลับไปเพื่อปรับค่าน้ำหนักและค่า Bias

5.6.5 ขั้นที่ 5

การปรับค่าน้ำหนักและค่า Bias โดยค่าน้ำหนักและค่า Bias เดิมจะถูกปรับจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ในขั้นที่ผ่านมา

5.6.6 ขั้นที่ 6

ทำซ้ำในขั้นที่ 1-5 ของทุกๆ ตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกฝน

5.7 กระบวนการฝึกฝน (Kulkarni, 2001; Demuth and Beale, 2002)

ระหว่างการฝึกฝนน้ำหนักและค่า Bias ของโครงข่ายจะถูกปรับเพื่อให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายสูงที่สุด รูปแบบการวัดค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายที่ประมวลผลแบบย้อนกลับ คือ Mean Squared Error (MSE) ซึ่งคือ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนระหว่างตัวแปรออกจากโครงข่ายกับตัวแปรออกจริงๆ ยกกำลังสอง

5.7.1 การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent (Traingd)

การฝึกฝนแบบนี้จะเป็นการฝึกฝนที่ค่าน้ำหนักและค่า Bias จะถูกปรับจากผลต่างของค่า Mean Squared Error

5.7.2 การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent with Momentum (Traingdm)

เป็นรูปแบบการฝึกฝนที่พัฒนาให้มีความเร็วในการไปถึงจุดที่เหมาะสมเร็วกว่าการฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent (Traingd) โดยมีการใช้โมเมนตัมเข้ามาช่วย ซึ่งโมเมนตัมจะเข้ามาช่วยเพิ่มการเรียนรู้แบบย้อนกลับโดยการเปลี่ยนน้ำหนักให้เท่ากับผลรวมสัดส่วนระหว่างน้ำหนักสุดท้ายที่เปลี่ยนกับน้ำหนักที่ต้องการให้เปลี่ยน ขนาดการเปลี่ยนน้ำหนักขึ้นกับค่าโมเมนตัมที่ตั้งไว้ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

5.7.3 การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent with Adaptive Learning Rate (Traingda)

ประสิทธิภาพของการคำนวณขึ้นกับอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ถ้าตั้งอัตราการเรียนรู้ไว้สูงการคำนวณจะแกว่งและไม่เสถียร แต่ถ้าตั้งอัตราการเรียนรู้ไว้ต่ำการคำนวณให้ถึงก็จะใช้เวลานานกว่าจะถึงจุดที่เหมาะสม ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกได้ว่าควรจะต้องอัตราการเรียนรู้ไว้ที่เท่าใด แต่ความจริงแล้วอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมควรจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ระหว่างการฝึกฝน การเปลี่ยนแปลงอัตราการเรียนรู้ต้องพยายามรักษาราคาการเรียนรู้ที่เป็นไปได้ เพื่อให้การเรียนรู้เสถียร การเปลี่ยนค่าอัตราการเรียนรู้จะต้องดูจากสภาพแวดล้อมทั่วไปด้วย ถ้าอัตราการเรียนรู้มากขึ้นแต่ผลการเรียนรู้ค่อนข้างคงที่ อัตราการเรียนรู้ก็จะถูกเพิ่มขึ้นไปอีก แต่ถ้าเพิ่มอัตราการเรียนรู้แล้วความคลาดเคลื่อนลดลง อัตราการเรียนรู้ก็จะถูกลดลงจนกระทั่งความคลาดเคลื่อนค่อนข้างคงที่

5.7.4 การฝึกฝนแบบ Resilient Backpropagation (Trainrp)

จุดประสงค์ของการฝึกฝนแบบ Resilient Backpropagation คือ เพื่อกำจัดผลของการลดอนุพันธ์ ซึ่งสัญลักษณ์ของอนุพันธ์จะบอกทิศทางการปรับน้ำหนัก แต่ขนาดของอนุพันธ์ไม่มีผลต่อการปรับขนาดน้ำหนัก

5.7.5 การฝึกฝนแบบ Conjugate Gradient Descent Backpropagation

การฝึกฝนแบบนี้จะต่างจากการคำนวณทั่วไป เนื่องจากการคำนวณทั่วไปจะมุ่งถึงอัตราการเรียนรู้เท่านั้น แต่การฝึกฝนแบบ Conjugate Gradient Descent Backpropagation จะมุ่งถึงขนาดในการขยับแต่ละครั้ง ซึ่งมีรูปแบบการหาขนาดในการขยับมีหลายแบบ เช่น Fletcher-Reeves Update (Traincgrf), Polak-Ribiere Update (Traincgp), Powell-Beale Restarts (Traincgb) และ Scaled Conjugate Gradient (Trainscg)

5.7.6 การฝึกฝนแบบ Quasi-Newton

การคำนวณของ Newton เป็นรูปแบบที่แตกต่างออกมาจากแบบ Conjugate Gradient Descent เพื่อให้มีความเร็วที่สูงขึ้น แต่การคำนวณจะยากและซับซ้อนขึ้น รูปแบบการคำนวณ เช่น BFGS Algorithm (Trainbgf) และ One Step Descent Algorithm (Trainoss)

5.7.7 การฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt (Trainlm)

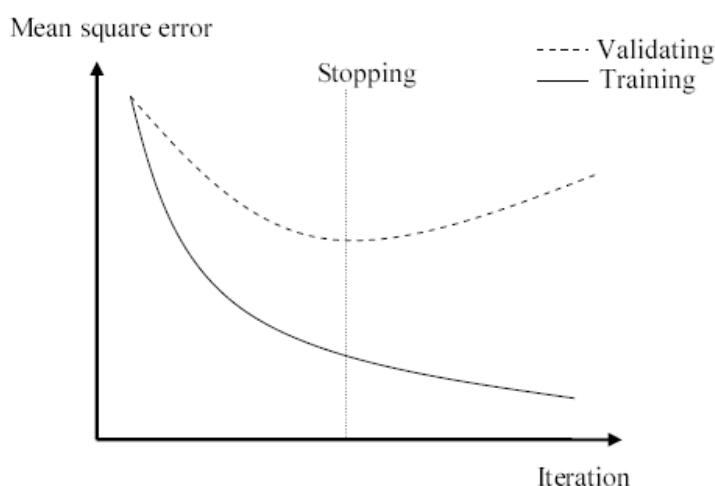
จากวิธีการของ Newton ที่เป็วิธีที่ดีเนื่องจากเป็นวิธีการคำนวณที่จะทำให้โครงข่ายถึงจุดที่เหมาะสมได้เร็วขึ้น แต่ก็มีข้อเสียคือใช้วิธีการคำนวณที่ซับซ้อนมาก ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีใหม่ต่อจากวิธีของ Newton วิธีใหม่นั้นคือการคำนวณแบบ Levenberg-Marquardt

5.8 การหยุดการฝึกฝน (Stopping Rules)

กระบวนการฝึกฝนจะหยุดลงต่อเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลง Mean Squared Error ต่อ Epoch เท่ากับ 0.1 ถึง 1% หรือ 0.01% หรือพิจารณาจากผลสรุปของตัวแปรออกที่ได้มาจากตัวแปรเข้าที่ไม่ใช่สำหรับการฝึกฝน ถ้าโครงข่ายประสาทเทียมมีการระบุตัวแปรเข้าและออกมากเกินไปจะเกิดข้อสรุปที่ผิดพลาด (Poor Generalization) ซึ่งวิธีกำจัดการเกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดก็คือ การทวนสอบ (Cross-Validation)

5.9 การทวนสอบ (Cross-Validation)

การทวนสอบ เริ่มจากการแบ่งข้อมูลแบบสุ่มเป็นกลุ่มข้อมูลสำหรับการฝึกฝนและกลุ่มข้อมูลสำหรับการทวนสอบ ข้อมูลสำหรับการฝึกฝนก็จะใช้ในกระบวนการฝึกฝน และข้อมูลสำหรับการทวนสอบจะใช้เพื่อการพิจารณาตัดสินใจหยุดการฝึกฝน โดยดูจากความคลาดเคลื่อนของโครงข่ายประสาทเทียม โดยทั่วไปแล้วความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดฝึกฝนและชุดทวนสอบจะลดลงระหว่างการฝึกฝน แต่อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดทวนสอบอาจขึ้นสูงได้เมื่อมีการฝึกฝนมากขึ้น ซึ่งควรจะหยุดการฝึกฝน ณ จุดที่มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดทวนสอบสูงขึ้น (Thaksinpattanaphong, 2005)



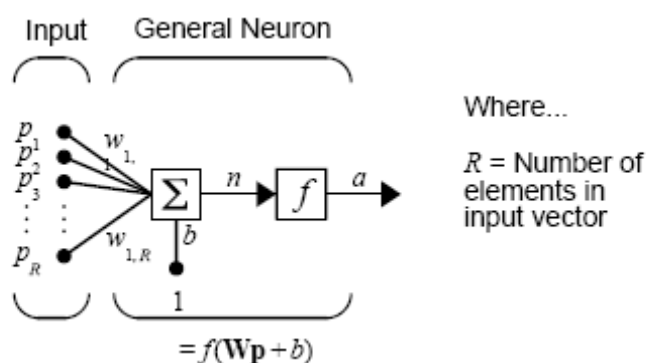
ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดฝึกฝนชุดทวนสอบ และจุดที่ควรหยุดการฝึกฝน

ที่มา : Thaksinpattanaphong (2005)

5.10 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียม (Thaksinpattanaphong, 2005)

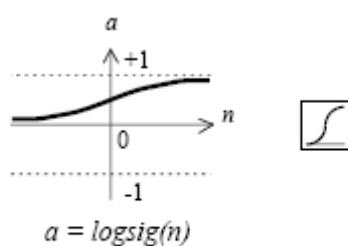
5.10.1 ฟังก์ชันการเปลี่ยน (Transfer Function)

ฟังก์ชันการเปลี่ยนจะนำผลรวมของค่าน้ำหนักและค่า Bias ของตัวแปรเข้าเข้าสู่ฟังก์ชันการเปลี่ยน โดยหน่วยประสาทแต่ละหน่วยจะมีฟังก์ชันการเปลี่ยนที่แตกต่างกันเพื่อคำนวณค่าตัวแปรออก ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 รูปแบบฟังก์ชันการเปลี่ยนของโครงข่ายประสาทเทียม
ที่มา : Demuth and Beale (2002)

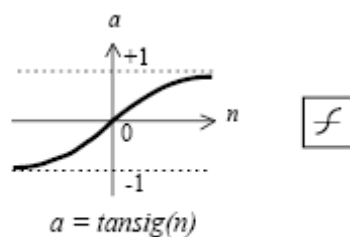
ฟังก์ชันการเปลี่ยนของโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้กัน ได้แก่ Log-Sigmoid Transfer Function (Log-Sig) ซึ่งผลการคำนวณตัวแปรที่ออกมาจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขณะที่ตัวแปรเข้ามีค่าอะไรก็ได้ ดังภาพที่ 21 ฟังก์ชัน Tan-Sigmoid Transfer Function (Tan-Sig) ผลการคำนวณตัวแปรออกจะมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง +1 ดังภาพที่ 22 และฟังก์ชัน Linear Transfer Function (Purelin) ซึ่งค่าตัวแปรออกจะมีค่าเป็นอะไรก็ได้ ดังภาพที่ 23



$a = \text{logsig}(n)$
Log-Sigmoid Transfer Function

ภาพที่ 21 Log-Sigmoid Transfer Function

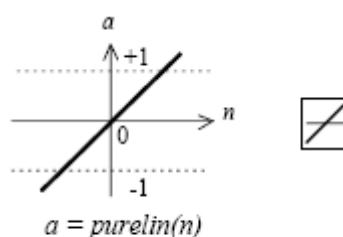
ที่มา : Demuth and Beale (2002)



Tan-Sigmoid Transfer Function

ภาพที่ 22 Tan-Sigmoid Transfer Function

ที่มา : Demuth and Beale (2002)



Linear Transfer Function

ภาพที่ 23 Linear Transfer Function

ที่มา : Demuth and Beale (2002)

จากการศึกษาของ Thaksinpattanaphong (2005) พบว่าเมื่อจำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) น้อย ฟังก์ชันการเปลี่ยนแบบ Log-Sigmoid Transfer Function จะให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าฟังก์ชันการเปลี่ยนแบบ Tan-Sigmoid Transfer Function และเมื่อจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน (Hidden Node) มากขึ้นฟังก์ชันการเปลี่ยนแบบ Log-Sigmoid Transfer Function จะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าฟังก์ชันการเปลี่ยนแบบ Tan-Sigmoid Transfer Function

5.10.2 จำนวนหน่วยประสาท (Number of Nodes)

จำนวนหน่วยประสาทที่จะใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นอยู่กับชนิดของปัญหา ถ้าจำนวนหน่วยประสาทน้อยเกินไปก็จะไม่สามารถเรียนรู้ได้ แต่ถ้าหน่วยประสาทมากเกินไปก็จะใช้เวลาในการคำนวณนาน แต่จากการศึกษาของ Thaksinpattanaphong (2005) พบว่าการเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน (Hidden Node) มากขึ้นจะทำให้ค่า Mean Squared Error ลดต่ำลง แต่ประสิทธิภาพของโครงข่ายจะลดต่ำลงเมื่อจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน (Hidden Node) มากหรือน้อยเกินไป

5.10.3 จำนวนชั้นซ่อน (Number of Hidden Layers)

ในกรณีปัญหาที่ซับซ้อนการมี 2 ชั้นก็จะดีกว่าการมีชั้นเดียว ซึ่งแต่ละหน่วยในชั้นที่ 2 ก็จะช่วยให้การคำนวณให้เหมาะสมมากขึ้น จากการศึกษาของ Thaksinpattanaphong (2005) พบว่าประสิทธิภาพของโครงข่ายจะสูงขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) สูงขึ้น แต่การมีจำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) มากเกินไปก็จะลดประสิทธิภาพลงด้วยเช่นกันเนื่องจากเกิดการฝึกฝนมากเกินไป (Overfitting)

5.10.4 ช่วงกว้างของตัวแปรเข้า (Input Variable Range)

ในการทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบจะถูกสุ่มมาจากข้อมูลทั้งหมด ถ้าขอบเขตของตัวแปรเข้าแตกต่างกันไปจากขอบเขตของตัวแปรเข้าที่ใช้ในการฝึกฝนจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่สูงขึ้น (Thaksinpattanaphong, 2005)

5.10.5 จำนวนรอบในการฝึกฝน (Number of Training Iterations)

การที่จะได้ผลสรุปที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีรอบการฝึกฝนที่น้อย ซึ่งการมีรอบการฝึกฝนที่มากเกินไปจะทำให้เกิดข้อมูลที่แน่นจนเกินไป และยังเป็นการใช้เวลามากเกินไปด้วย (Thaksinpattanaphong, 2005)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

- 1.1 ถั่วลิสงทั้งเปลือก
- 1.2 ถั่วลิสงกะเทาะเปลือกพันธุ์ไทนาน 9
- 1.3 เมทานอล
- 1.4 กระดาษกรอง
- 1.5 สารเคมีของชุดวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป (DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit)

2. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพ

2.1 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- 2.1.1 เครื่องอบลมร้อน
- 2.1.2 ชุดวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป (DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit)
- 2.1.3 เครื่องปั่นสำหรับบดตัวอย่าง National รุ่น MX-5080 ความจุ 800 มิลลิลิตร
- 2.1.4 เครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์
- 2.1.5 ไมโครปิเปตขนาด 50-200 และ 100-1,000 ไมโครลิตร พร้อมปิเปตทิป
- 2.1.6 เครื่อง Micro ELISA Reader อ่านที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

2.2 อุปกรณ์สำหรับการคัดแยกถั่วลิสง

- 2.2.1 กะละมัง
- 2.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

2.3.2 โปรแกรม SPSS Version 12.0

2.3.3 โปรแกรม Matlab version 6.5.0

วิธีการ

1. การศึกษาโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบไม่ลอกเยื่อในประเทศไทย

1.1 การสำรวจโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย ตลาดค้าส่งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และตลาดค้าปลีกในกรุงเทพมหานคร

1.1.1 การสำรวจโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย

ทำการสำรวจโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย ด้วยข้อมูลทุติยภูมิของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

1.1.2 การสำรวจตลาดค้าส่งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ทำการสำรวจตลาดค้าส่งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ด้วยการสัมภาษณ์จากผู้ค้าถั่วลิสง และผู้เชี่ยวชาญ

1.1.3 การสำรวจตลาดค้าปลีกในกรุงเทพมหานคร

ทำการสำรวจตลาดค้าปลีกในกรุงเทพฯ ด้วยการแบ่งพื้นที่ของกรุงเทพฯ ตามเขตการปกครอง และสอบถามจากประชาชนในเขตการปกครองนั้นๆ ถึงตลาดสดที่อยู่ในพื้นที่นั้น

1.2 การสอบถามถึงแหล่งที่มาของถั่วลิสงจากโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย ตลาดค้าส่งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล และตลาดค้าปลีกในกรุงเทพฯ ด้วยการสัมภาษณ์

1.2.1 การสอบถามถึงแหล่งที่มาของถั่วลิสงของโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย

จากข้อมูลโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงในประเทศไทยที่ได้จากกรมโรงงานอุตสาหกรรมดังข้อ 1.1.1 ทำการจำแนกกลุ่มโรงงานตามจังหวัดที่อยู่ จากนั้นสุ่มเลือกจังหวัดตามวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบใช้ความน่าจะเป็น (Probability Sampling) ด้วยวิธีการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster Sampling) (ศิริวรรณ และคณะ, 2540) โดยเลือกจังหวัดที่มีจำนวนโรงงานกะเทาะเปลือกมากที่สุดมาใช้ในการศึกษา และเลือกโรงงานตามวิธีการสุ่มแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Nonprobability Sampling) ด้วยวิธีการสุ่มแบบตามสะดวก (Convenience Sampling) (ศิริวรรณ และคณะ, 2540) ทำการสอบถามกลุ่มของโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงที่สุ่มตัวอย่างได้ตามข้างต้น ด้วยการสัมภาษณ์แบบตัวต่อตัวกับเจ้าของโรงงาน เกี่ยวกับแหล่งที่มาของถั่วลิสง

1.2.2 การสอบถามถึงแหล่งที่มาของถั่วลิสงของตลาดค้าส่งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล

จากการสำรวจตลาดค้าส่งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ดังข้อ 1.1.2 ทำการสัมภาษณ์แบบตัวต่อตัวกับผู้ค้าส่งทุกราย เกี่ยวกับแหล่งที่มาของถั่วลิสง

1.2.3 การสอบถามถึงแหล่งที่มาของถั่วลิสงของตลาดค้าปลีกในกรุงเทพฯ

จากการสำรวจตลาดค้าปลีกในกรุงเทพฯ ดังข้อ 1.1.3 ทำการจำแนกตลาดค้าปลีกตามเขตการปกครอง จากนั้นสุ่มตัวอย่างตลาดค้าปลีกในแต่ละเขตการปกครองตามวิธีการสุ่มแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Nonprobability Sampling) ด้วยวิธีการสุ่มแบบสองขั้นตอนคือ การสุ่มแบบโควต้า (Quota Sampling) โดยสุ่มเขตการปกครองละ 1 ตลาด และการสุ่มแบบตามสะดวก (Convenience Sampling) (ศิริวรรณ และคณะ, 2540) ทำการสำรวจร้านขายถั่วลิสงในตลาดนั้นๆ โดยในแต่ละตลาดจะมีการสุ่มตัวอย่างร้านค้าปลีกถั่วลิสง 1 ร้านเพื่อทำการสัมภาษณ์โดยทำการสุ่มแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Nonprobability Sampling) แบบใช้ความสะดวก (Convenience

Sampling) (ศิริวรรณ และคณะ, 2540) แล้วทำการสอบถามกลุ่มของผู้ค้าปลีก โดยทำการสัมภาษณ์แบบตัวต่อตัวกับผู้ค้าปลีก เกี่ยวกับแหล่งที่มาของถั่วลิสง

1.3 การสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบ

จากข้อมูลการสำรวจ และข้อมูลทุติยภูมิในข้อ 1.1 – 1.2 นำมาสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบตามลำดับเส้นทางการเดินทางของถั่วลิสงจากเกษตรกรมาจนถึงผู้บริโภค

2. การพัฒนาวิธีการในการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

2.1 การศึกษาวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง จากข้อมูลทุติยภูมิต่างๆ ว่ามีปัจจัยใดที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพถั่วลิสงในด้านการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซิน

2.2 การศึกษาปริมาณสารอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่มีลักษณะไม่พึงประสงค์

2.2.1 การคัดเลือกถั่วลิสงที่มีลักษณะผิดปกติ

จากโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงที่สุ่มได้ในข้อ 1.2.1 ทำการสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงที่กะเทาะแล้วแต่ยังไม่มีคัดเลือกคุณภาพ แล้วคัดเลือกถั่วลิสงที่มีลักษณะที่ผิดปกติออกโดยการสังเกตด้วยสายตา จำแนกลักษณะที่ผิดปกติออกเป็นประเภทต่างๆ ทำการคัดแยก 2 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าไว้

2.2.2 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซิน

จากถั่วลิสงที่สุ่มได้จากโรงงานกะเทาะเปลือก และถั่วลิสงที่คัดเลือกออกมาในข้อ 2.2.1 ที่จำแนกออกเป็นประเภทต่างๆ และถั่วลิสงที่มีลักษณะปกติ นำมาวิเคราะห์หาปริมาณอะฟลาทอกซินโดยใช้ชุดตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป ตามวิธีการของอมรา และ ขวเลิศ (2547) และวันทนา (2540)

2.3 การจัดทำวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

เมื่อได้ลักษณะของถั่วลิสงที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินแล้วนำมาจัดทำวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง โดยเริ่มตั้งแต่การได้รับถั่วลิสงเข้ามา คัดเลือก จนได้ถั่วลิสงที่มีคุณภาพดี โดยดัดแปลงจาก Galvez *et al.* (2002) และปริมาณอะฟลาทอกซินของถั่วลิสงชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้ในข้อ 2.2.2

2.4 การปรับปรุงวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

ปรับปรุงวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง จากปริมาณอะฟลาทอกซินที่วิเคราะห์ได้ในขั้นการทวนสอบ

2.4.1 การทวนสอบวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

ทวนสอบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงโดยดัดแปลงวิธีการทวนสอบจาก Galvez *et al.* (2002) ด้วยการสุ่มตัวอย่างจากกลุ่มผู้ค้าปลีกที่สุ่มได้ในข้อ 1.2.3 โดยดัดแปลงวิธีการเก็บตัวอย่างของ International Association of Crushers (อรุณศรี, 2547) จำนวน 5 กิโลกรัม แล้วแบ่งตัวอย่างเป็นตัวอย่างย่อยๆ ตัวอย่างละ 1.5 กิโลกรัม จำนวน 3 ตัวอย่าง และแบ่งตัวอย่าง 1.5 กิโลกรัมออกมา 0.5 กิโลกรัมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินของถั่วลิสงก่อนคัดเลือกคุณภาพ และอีก 1 กิโลกรัมสำหรับการคัดแยกคุณภาพตามวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นในข้อ 2.3 ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ และถั่วลิสงที่มีลักษณะต่างๆ จากนั้นนำถั่วลิสงก่อนคัดเลือกคุณภาพ ถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏที่ดี และถั่วลิสงที่ชนิดต่างๆ ที่คัดเลือกตามวิธีการที่พัฒนาขึ้น ไปวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินตามวิธีการของอมรา และ ชวเลศ (2547) และวันทนา (2540)

3. การศึกษาคุณภาพถั่วลิสงจากผู้ค้าปลีก

3.1 การสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงจากผู้ค้าปลีก

จากกลุ่มตัวอย่างของผู้ค้าปลีกทั้ง 44 เขต ที่ได้ในข้อ 1.2.3 ดังตารางที่ 12 ทำการสุ่มตัวอย่างโดยดัดแปลงวิธีการเก็บตัวอย่างของ International Association of Crushers (อรุณศรี, 2547) โดยสุ่มตัวอย่าง 5 ครั้ง ครั้งละ 1 กิโลกรัมในแต่ละเขตการปกครอง

ตารางที่ 12 รายชื่อเขตที่ทำการสุ่มตัวอย่างถั่วลิสง

เขตที่สุ่ม	
เขตวังทองหลาง	เขตวัฒนา
เขตบางกะปิ	เขตคลองเตย
เขตบึงกุ่ม	เขตสวนหลวง
เขตคันนายาว	เขตประเวศ
เขตปทุมวัน	เขตจตุจักร
เขตบางรัก	เขตหลักสี่
เขตสาทร	เขตคูสิต
เขตดินแดง	เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย
เขตราชเทวี	เขตธนบุรี
เขตยานนาวา	เขตบางกอกน้อย
เขตบางเขน	เขตบางกอกใหญ่
เขตสายไหม	เขตคลองสาน
เขตลาดพร้าว	เขตภาษีเจริญ
เขตคลองสามวา	เขตบางพลัด
เขตมีนบุรี	เขตสัมพันธวงศ์
เขตหนองจอก	เขตพระนคร
เขตดอนเมือง	เขตบางขุนเทียน
เขตพญาไท	เขตหนองแขม
เขตพระโขนง	เขตบางแค
เขตบางซื่อ	เขตทุ่งครุ
เขตบางนา	เขตบางบอน
เขตลาดกระบัง	เขตบางคอแหลม

3.2 การเก็บข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา

เก็บข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในแต่ละวัน และข้อมูลย้อนหลังก่อนวันที่เก็บตัวอย่างถั่วลิสง 30 วันจากกรมอุตุนิยมวิทยา

3.3 การคัดแยกคุณภาพถั่วลิสง

จากถั่วลิสงที่สุ่มมาในข้อ 3.1 แบ่งตัวอย่างถั่วลิสงเป็นตัวอย่างย่อยๆ ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม แล้วทำการคัดแยกถั่วลิสงตามวิธีการคัดเลือกคุณภาพที่ได้พัฒนาขึ้นในข้อ 2.4

3.4 การวัดค่าคุณภาพถั่วลิสง

จากถั่วลิสงที่สุ่มมาในข้อ 3.1 แบ่งเป็นตัวอย่างย่อยๆ วัดค่าคุณภาพด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.4.1 ค่าคุณภาพทางกายภาพ

วัดค่าสี L^* a^* b^* ของถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ โดยเครื่องวัดสี Automatic Reflectance Colorimeter ยี่ห้อ Tintomer, รุ่น Lovibond RT 100, United Kingdom แหล่งกำเนิดแสงคือ D 65 วัดค่าในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ (Billmeyer and Saltzman, 1981) โดยค่า L^* จะอธิบายความสว่างของผลิตภัณฑ์ ($L^* = 100$ คือสีขาว, $L^* = 0$ คือสีดำ) ส่วนค่า a^* ใช้กำหนดความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a^* เป็นบวก = สีแดง, a^* เป็นลบ = สีเขียว) และค่า b^* ใช้กำหนดความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (b^* เป็นบวก = สีเหลือง, b^* เป็นลบ = สีน้ำเงิน) คัดเลือกเมล็ดถั่วลิสงจำนวน 20 เมล็ด มาวัดค่าทีละเมล็ดต่อตัวอย่างถั่วลิสง 1 กิโลกรัม (สุทธาสินี, 2549)

3.4.2 ค่าคุณภาพทางเคมี

ก. ปริมาณความชื้น ของถั่วลิสงก่อนการคัดเลือกคุณภาพ ด้วยวิธี Hot air oven วัดค่าตัวอย่างละ 3 ซ้ำ (จวงจันทร, 2529)

ข. ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน ของถั่วลิสงก่อนการคัดเลือกคุณภาพ ถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ และถั่วลิสงที่มีลักษณะต่างๆ ที่ได้จากการคัดเลือกโดยใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป ตามวิธีการของอมรา และ ชวเลศ (2547) โดยดัดแปลงวิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์จากวันทนา (2540) ที่ทำการสุ่มตัวอย่างที่บดมาแล้ว 20 กรัมเป็นจำนวน 5 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์สารพิษอะฟลาทอกซิน

4. การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบจากผู้ค้าปลีก

จากข้อมูลปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงโดยรวม และถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติที่ได้จากการคัดเลือกด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้น ที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 3.3 นำมาสร้างกราฟรูปแบบการแจกแจงการพบปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในถั่วลิสงที่มาจากผู้ค้าปลีกด้วยโปรแกรม MATLAB Version 6.5.0 พิจารณาเลือกรูปแบบการแจกแจงที่เป็นไปได้มากที่สุดด้วยค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov เมื่อได้รูปแบบการแจกแจงแล้วทำการประเมินความน่าจะเป็นที่จะพบถั่วลิสงที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 20 ppb (กระทรวงสาธารณสุข, 2529) จากกราฟ Cumulative Probability ที่ได้

5. การสร้างแบบจำลองทำนายความเสี่ยงของการพบสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบจากผู้ค้าปลีก

นำข้อมูลจากการศึกษาในข้อ 3 มาสร้างเป็นตัวแปรเข้าและตัวแปรออกเพื่อใช้ในการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ในโปรแกรม MATLAB Version 6.5.0 ดังขั้นตอนต่อไปนี้

5.1 การศึกษาโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม

ศึกษาโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม ทั้งนี้กำหนดให้มีชั้นซ่อน 1 ชั้น ซ่อน และใช้ฟังก์ชันการเปลี่ยนก่อนชั้นซ่อนเป็น Log-Sigmoid Transfer Function และฟังก์ชันการเปลี่ยนหลังชั้นซ่อนเป็น Linear Transfer Function และทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ วิธีการฝึกฝนและจำนวนหน่วยประสาท โดยการจัดสิ่งทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Block Design ดังนี้

1) วิธีการฝึกฝน ได้แก่ การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent with Momentum และ การฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt

2) จำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน 4 ระดับ คือ 10, 15, 20 และ 25 หน่วย

จำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง โดยแต่ละสิ่งทดลองทำการทดลอง 5 การทดลอง (Experimental number) ซึ่งมีชุดข้อมูลในการฝึกฝนและทดสอบต่างกัน และในแต่ละการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยเริ่มต้นในแต่ละ Experimental number แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สิ่งทดลองสำหรับการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียม

สิ่งทดลอง	วิธีการฝึกฝน	จำนวนหน่วยประสาท
1	traingda	10
2	traingda	15
3	traingda	20
4	traingda	25
5	trainlm	10
6	trainlm	15
7	trainlm	20
8	trainlm	25

หมายเหตุ traingda หมายถึง การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent with Momentum

trainlm หมายถึง การฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt

ในการประมวลผลทำการแบ่งข้อมูลเป็น 3 ชุด ได้แก่ ข้อมูลชุดฝึกฝน 69.70% ข้อมูลชุดทดสอบ 15.15% และข้อมูลชุดทดสอบ 15.15% โดยในการฝึกฝนใช้ข้อมูลชุดฝึกฝนและชุดทดสอบ และประเมินประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมโครงสร้างต่างๆ ด้วยข้อมูลชุดทดสอบโดยหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะใช้วิธี Duncan's New Multiple's Range Test เพื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ย

5.2 การวิเคราะห์ความไวของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม

จากโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมจากข้อ 5.1 ทำการวิเคราะห์ความไวของโครงข่ายด้วยการเปลี่ยนรูปแบบฟังก์ชันการเปลี่ยนก่อนชั้นซ่อน (Hidden Layer) โดยใช้แบบ Log-Sigmoid Transfer Function กับแบบ Tan-Sigmoid Transfer Function แล้วพิจารณาความไวของโครงข่ายประสาทเทียม ประเมินประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 แบบด้วยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องด้วยวิธี t-test

5.3 การใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ

จากโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมจากข้อ 5.2 นำมาหาค่าน้ำหนักและค่า Bias ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินของข้อมูลชุดทดสอบในแต่ละการทดลอง

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบไม่ลอกเยื่อในประเทศไทย

1.1 การสำรวจโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย ตลาดค้าส่งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และตลาดค้าปลีกในกรุงเทพมหานคร

1.1.1 การสำรวจโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย

จากการสำรวจโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย โดยข้อมูลจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) พบว่ามีโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงที่ขึ้นทะเบียนไว้กับกรมโรงงานทั้งสิ้น 35 โรงงาน ซึ่งมีโรงงานตั้งอยู่ใน จังหวัดลำปาง มากที่สุด คือ 21 โรงงาน ใน จังหวัดระยอง 3 โรงงาน จังหวัดอุดรธานี 2 โรงงาน จังหวัดเชียงใหม่ 2 โรงงาน จังหวัดนครสวรรค์ 2 โรงงาน จังหวัดกาฬสินธุ์ 1 โรงงาน จังหวัดนครราชสีมา 1 โรงงาน จังหวัดสุรินทร์ 1 โรงงาน จังหวัดศรีสะเกษ 1 โรงงาน และ จังหวัดอุบลราชธานี 1 โรงงาน ซึ่งจำนวนรายชื่อโรงงานที่ได้จากกรมโรงงานอุตสาหกรรมนั้นเป็นรายชื่อของวันที่ 12 มกราคม 2550 โดยไม่รวมถึงโรงงานเล็กประกอบกิจการ

1.1.2 การสำรวจตลาดค้าส่งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

จากการสำรวจตลาดค้าส่งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ด้วยการสัมภาษณ์จากผู้ค้าถั่วลิสง และผู้เชี่ยวชาญพบว่าตลาดค้าส่งถั่วลิสงในกรุงเทพฯ คือ ถนนทรงวาด เขตสัมพันธวงศ์ ซึ่งมีร้านค้าส่งอยู่ 5 ร้าน และตลาดค้าส่งในปริมณฑล คือ ตลาดไท จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีร้านค้าส่งอยู่ 2 ร้าน

1.1.3 การสำรวจตลาดค้าปลีกในกรุงเทพมหานคร

จากการสำรวจตลาดค้าปลีกในกรุงเทพฯ ด้วยการแบ่งพื้นที่ของกรุงเทพฯ ตามเขตการปกครอง มีทั้งสิ้น 50 เขต เมื่อสอบถามจากประชาชนในเขตการปกครองนั้นๆ ถึงตลาดสดที่

อยู่ในพื้นที่นั้น พบว่า มีเพียง 44 เขตดังตารางที่ 14 เท่านั้นที่มีตลาดสดภายในเขต ซึ่งในเขตสะพานสูง เขตคลองสามวา เขตจอมทอง เขตราชบุรีบูรณะ เขตทวีวัฒนา และเขตคลองสาน ไม่มีตลาดสดทำให้ประชาชนในเขตพื้นที่นั้นต้องทำการซื้ออาหารสดต่างๆ ในตลาดของเขตใกล้เคียงแทน เขตที่ไม่มีตลาดสด เช่น เขตสะพานสูงและเขตคลองสามวาที่ประชาชนในพื้นที่นั้นจะต้องซื้ออาหารสดจากตลาดในเขตมีนบุรีแทนซึ่งเป็นเขตที่อยู่ติดกัน เป็นต้น

1.2 การสอบถามถึงแหล่งที่มาของถั่วลิสงจากโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย ตลาดค้าส่งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล และตลาดค้าปลีกในกรุงเทพฯ ด้วยการสัมภาษณ์

1.2.1 การสอบถามถึงแหล่งที่มาของถั่วลิสงของโรงงานกะเทาะเปลือกในประเทศไทย

จากข้อมูลโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงในประเทศไทยที่ได้จากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อจำแนกตามจังหวัดที่อยู่แล้วพบว่า จังหวัดลำปาง มีโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงมากที่สุด คือ 21 โรงงาน ดังนั้นจึงเลือก จังหวัดลำปาง เป็นกลุ่มตัวอย่าง จากการสุ่มตัวอย่างโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงจำนวน 5 โรงงานแล้วสัมภาษณ์พบว่าโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงทั้งหมดมีการรับถั่วลิสงดิบมาจากพ่อค้าคนกลางโดยมาจาก จังหวัดลำปาง จังหวัดแพร่ จังหวัดพะเยา จังหวัดเชียงใหม่ และ จังหวัดตาก แต่มีโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงอยู่ 2 โรงงานที่มีการรับถั่วลิสงดิบโดยตรงมาจากเกษตรกร จังหวัดลำปาง จังหวัดเชียงใหม่ และ จังหวัดแพร่ด้วย ถั่วลิสงดิบที่รับเข้ามานั้นจะถูกบรรจุมาในกระสอบป่าน และกระสอบปุ๋ย และขนส่งมาด้วยรถกระบะ โดยจะมีถั่วลิสงดิบเข้าสู่โรงงานกะเทาะทั้งสิ้น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน ช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม และช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม เมื่อโรงงานกะเทาะเปลือกได้รับถั่วลิสงมาแล้วก็จะทำการตากแห้งก่อนโดยจะตากแดดบนพื้นซีเมนต์ ดังภาพที่ 24 เนื่องจากถั่วลิสงที่เกษตรกรหรือผู้รวบรวมส่งมานั้นยังมีความชื้นค่อนข้างสูง ถ้าเก็บเลยเชื้อราอาจขึ้น และโรงงานกะเทาะจะเก็บถั่วลิสงที่ตากแห้งแล้วไว้ทั้งเปลือกโดยจะกองสุ่มไว้แล้วมีผ้าใบปิดเพื่อป้องกันไม่ให้นกมากิน หรือมีการเก็บใส่กระสอบป่านไว้ โรงงานกะเทาะเปลือกจะทำการกะเทาะเมื่อมีการสั่งซื้อเข้ามา เนื่องจากถ้ากะเทาะแล้วจะเก็บไว้ได้ไม่นานเพราะจะขึ้น ถั่วลิสงที่กะเทาะแล้วนั้น โรงงานจะส่งไปยังโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร บริษัทผู้จัดจำหน่าย และ ตลาดค้าถั่วลิสง เช่น ตลาดถั่วลิสงในท้องถิ่น ตลาดถั่วลิสงในจังหวัดใกล้เคียง ตลาดถั่วลิสงในกรุงเทพฯ (ถนนทรงวาด) และ ตลาดไท เป็นต้น ซึ่งการส่งถั่วลิสงนี้อาจเป็นการส่งจากโรงงานโดยตรง หรือส่งผ่านพ่อค้าคนกลาง

ซึ่งพ่อค้าคนกลางจะทำหน้าที่รวบรวมเมล็ดถั่วลิสงที่กะเทาะเปลือกแล้วจากโรงงานต่างๆ เพื่อบรรจุให้เต็มคันรถและได้ตามน้ำหนักที่ถูกค้าส่งเข้ามา โดยจะบรรจุในกระสอบป่านขนาด 100 กิโลกรัม และขนส่งไปด้วยรถบรรทุก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สุทัต และคณะ (2545) ที่กล่าวว่าผลผลิตถั่วลิสงกะเทาะเปลือกมาจากการปลูก 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ปลายฤดูฝน (ถั่วเหมย) และฤดูแล้ง (ถั่วหนาว) โดยมีแหล่งปลูกที่สำคัญ คือ จังหวัดลำปาง จังหวัดเชียงราย จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดน่าน จังหวัดอุดรธานี จังหวัดตาก จังหวัดลพบุรี จังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดกาฬสินธุ์ และจังหวัดสระแก้ว ซึ่งหลังจากเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิต พ่อค้าท้องถิ่นจะรวบรวมผลผลิตถั่วลิสงฝักแห้งจากแหล่งผลิตต่างๆ แล้วส่งให้โรงงานกะเทาะเปลือกที่ อำเภอมือง จังหวัดลำปาง เมล็ดถั่วลิสงที่กะเทาะเปลือกแล้วจะนำไปจำหน่ายที่ตลาดขายส่ง คือ ตลาดท้องถิ่น ตลาดในจังหวัดใกล้เคียง และตลาดกรุงเทพฯ (ถนนทรงวาด) และขายตามแหล่งผู้บริโภคในจังหวัดต่างๆ



ภาพที่ 24 การตากถั่วลิสงบนพื้นซีเมนต์

1.2.2 การสอบถามถึงแหล่งที่มาของถั่วลิสงของตลาดค้าส่งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล

จากการสำรวจตลาดค้าส่งในกรุงเทพฯ และปริมณฑล ทำการสัมภาษณ์แบบตัวต่อตัวกับทุกร้านค้า ดังข้อ 1.1.2 พบว่าผู้ค้าส่งที่ถนนทรงวาดนั้นจะมีการรับเมล็ดถั่วลิสงดิบมาจากพ่อค้าคนกลางที่รวบรวมเมล็ดถั่วลิสงมาจากโรงงานกะเทาะ โดยมีจาก จังหวัดลำปาง จังหวัดเชียงใหม่ และ จังหวัดเชียงราย ถั่วลิสงจะบรรจุมาในกระสอบป่าน ขนส่งด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ อีกทั้งยังมีการรับถั่วลิสงที่ยังไม่ลอกเปลือก และถั่วลิสงที่ลอกเปลือกแล้วจากต่างประเทศ เช่น พม่า จีน และเวียดนาม เป็นต้น จากนั้นจะมีการขายเมล็ดถั่วลิสงดิบให้แก่พ่อค้าปลีกที่มาซื้อที่ร้านค้าเอง รวมถึง

การส่งให้กับตลาดถั่วลิสงในจังหวัดใกล้เคียง เช่น สระบุรี นครราชสีมา เป็นต้น อีกทั้งยังมีการส่งไปยังอุตสาหกรรมรายย่อยที่มีการใช้ถั่วลิสงในผลิตภัณฑ์ ส่วนผู้ค้าส่งที่ตลาดไทนั้นจะมีการรับเมล็ดถั่วลิสงมาจากโรงงานกะเทาะที่ จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยตรง เมล็ดถั่วลิสงจะบรรจุมาในกระสอบป่าน และขนส่งมาด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ ลูกค้าของร้านค้าส่งในตลาดไทมักจะเป็นการมาซื้อของลูกค้าเองที่ร้านค้าเนื่องจากตลาดไทเป็นแหล่งของการขายผลิตผลทางการเกษตร ลูกค้าส่วนมากจึงเข้าไปซื้อเองที่ร้านค้า และจะมีการส่งไปยังอุตสาหกรรมการแปรรูปในจังหวัดใกล้เคียงเช่นเดียวกับตลาดค้าส่งบนถนนทรงวาด

1.2.3 การสอบถามถึงแหล่งที่มาของถั่วลิสงของตลาดค้าปลีกในกรุงเทพฯ

จากการสำรวจตลาดค้าปลีกในกรุงเทพฯ แล้วจำแนกตลาดค้าปลีกตามเขตการปกครองทั้งหมด 44 เขตจากนั้นสุ่มตัวอย่างตลาดค้าปลีก และร้านค้าปลีกถั่วลิสงในเขตนั้นๆ จำนวน 1 ร้าน ผลจากการสัมภาษณ์พบว่าผู้ค้าปลีกส่วนมากถึง 70.45% รับถั่วลิสงมาจากบริษัทผู้จัดจำหน่าย รองลงมาคือรับจากตลาดค้าส่ง และพ่อค้าคนกลาง เป็น 22.73% และ 6.82% ตามลำดับ โดยผู้จัดจำหน่ายจะจัดส่งให้แก่ร้านค้าปลีกในรูปแบบถุงพลาสติกขนาด 10 กิโลกรัมดังภาพที่ 25 และลูกค้าของร้านค้าปลีกจะมีทั้งผู้บริโภคที่ซื้อไปปรุงอาหารเอง และร้านอาหารที่มีการใช้ถั่วลิสง เช่น ส้มตำ ก๋วยเตี๋ยวต้มยำ ผัดไท เป็นต้น ซึ่งการซื้อถั่วลิสงของร้านอาหารนั้นจะมีทั้งการซื้อในรูปแบบถั่วลิสงดิบ ซึ่งร้านอาหารจะนำไปคั่ว หรือทอดเอง และมีการซื้อในรูปแบบถั่วลิสงที่สุกแล้ว ซึ่งร้านค้าปลีกบางร้านจะมีการทอดถั่วลิสงไว้ก่อนแล้วเพื่อความสะดวกของลูกค้า



ภาพที่ 25 ถุงขนาด 10 กิโลกรัมที่ผู้ค้ารับจากบริษัทไร่ทิพย์ จำกัด

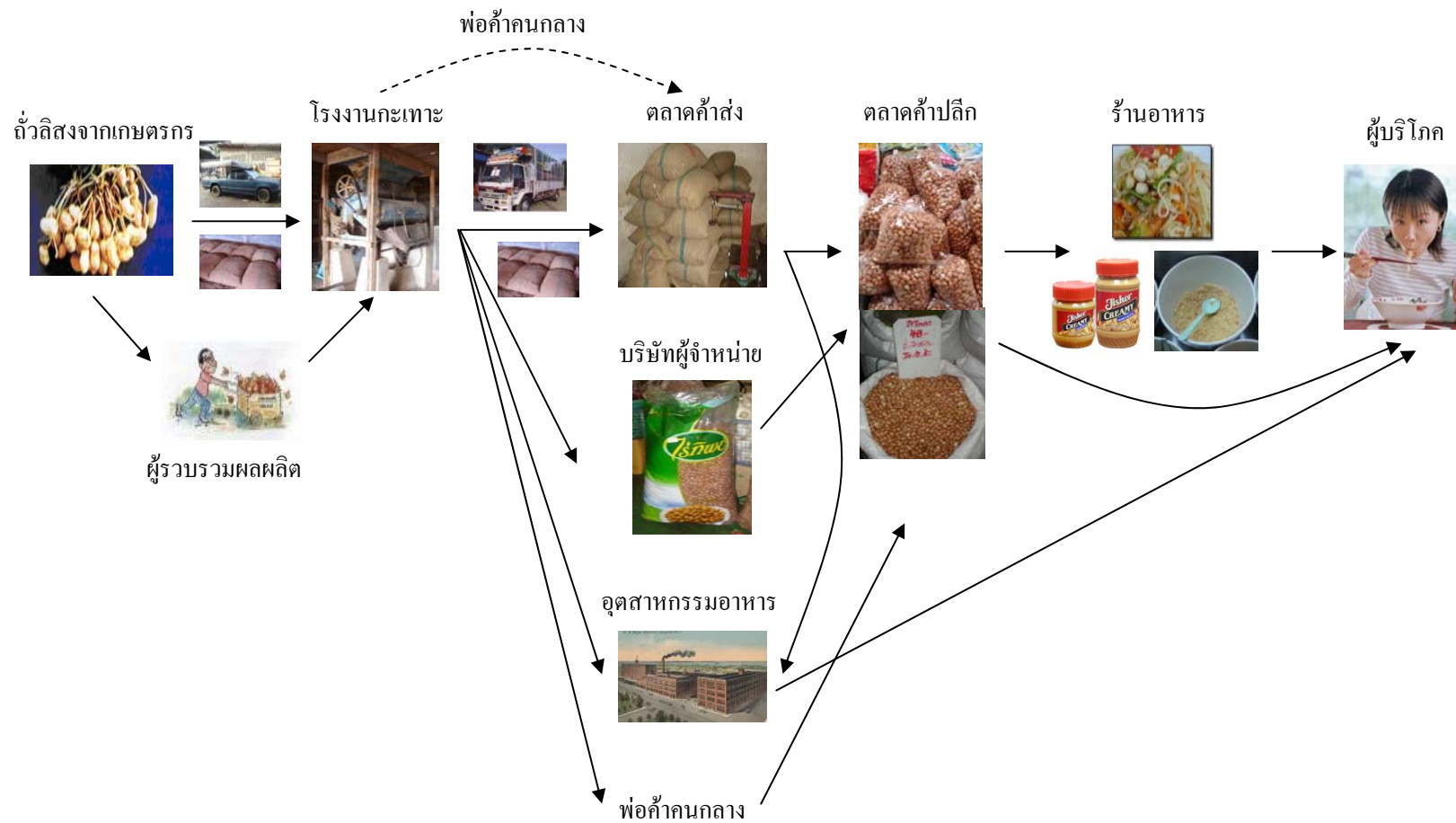
1.3 การสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบ

จากข้อมูลการสัมภาษณ์โรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง ผู้ค้าส่ง ผู้ค้าปลีกถั่วลิสง และข้อมูลทุติยภูมิการศึกษาเส้นทางการผลิตและการตลาดถั่วลิสงในภาคเหนือตอนบนของ สutsch และคณะ (2545) สามารถลำดับเส้นทางการเดินทางของถั่วลิสงไม่ลอกเยื่อในประเทศไทยได้ดังนี้

เกษตรกรผู้ปลูกถั่วลิสงเมื่อเก็บเกี่ยวถั่วลิสงแล้วก็จะส่งให้โรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงโดยตรง และบางครั้งก็จะมีผู้รวบรวมถั่วลิสงจากเกษตรกรหลายๆ แหล่งมาส่งให้แก่โรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง ถั่วลิสงที่ส่งมานั้นจะบรรจุมาในกระสอบป่านหรือกระสอบปุย ขนส่งมาโดยรถกระบะ เมื่อโรงงานกะเทาะเปลือกได้รับถั่วลิสงมาแล้วก็จะทำการตากแห้งก่อนเนื่องจากถั่วลิสงที่เกษตรกรหรือผู้รวบรวมส่งมานั้นยังมีความชื้นค่อนข้างสูง ถ้าเก็บเลยเชื้อราอาจขึ้น และโรงงานกะเทาะจะเก็บถั่วลิสงที่ตากแห้งแล้วไว้ทั้งเปลือกโดยจะกองสุ่มไว้แล้วมีผ้าใบปิดเพื่อป้องกันไม่ให้ฝนมาโดน หรือมีการเก็บใส่กระสอบป่านไว้ โรงงานกะเทาะเปลือกจะทำการกะเทาะเมื่อมีการสั่งซื้อเข้ามา

เนื่องจากถ้ากะเทาะแล้วจะเก็บไว้ได้ไม่นานเพราะสีจะเข้มขึ้น ถั่วลิสงที่กะเทาะแล้วนั้นโรงงานจะส่งไปยังโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร บริษัทผู้จัดจำหน่าย และ ตลาดค้าถั่วลิสง เช่น ตลาดถั่วลิสงในท้องถิ่น ตลาดถั่วลิสงในจังหวัดใกล้เคียง ตลาดถั่วลิสงในกรุงเทพฯ (ถนนทรงวาด) และตลาดไท เป็นต้น โดยจะบรรจุมาในกระสอบป่าน และขนส่งโดยรถบรรทุก ซึ่งการส่งถั่วลิสงกะเทาะเปลือกจากโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงอาจมาจากโรงงานโดยตรงหรือผ่านพ่อค้าคนกลาง หลังจากนั้นถั่วลิสงดิบจะถูกซื้อไปโดยผู้ค้าปลีก โดยผู้ค้าปลีกจะอยู่ในตลาดสด ซูเปอร์มาร์เก็ต และไฮเปอร์มาร์เก็ต ซึ่งผู้ค้านั้นจะมีทั้งส่วนที่ซื้อจากตลาดค้าส่ง หรือซื้อจากบริษัทผู้จัดจำหน่าย จากนั้นร้านอาหารที่มีการใช้ถั่วลิสงจะซื้อถั่วลิสงจากตลาดค้าปลีกไปประกอบอาหาร และสุดท้ายผู้บริโภคก็จะบริโภคถั่วลิสงในรูปอาหารต่างๆ ทั้งจากร้านอาหาร และอุตสาหกรรมอาหาร หรือเป็นการซื้อถั่วลิสงดิบจากตลาดค้าปลีกไปประกอบอาหารเอง ดังภาพที่ 26 ซึ่งโครงสร้างของห่วงโซ่อุปทานในภาพที่ 26 นั้นเป็นเพียงโครงสร้างของถั่วลิสงดิบไม่ลอกเยื่อภายในประเทศไทยเท่านั้น แต่ในความจริงแล้วโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงมีความซับซ้อนมากเนื่องจากการนำเข้าถั่วลิสงจากต่างประเทศด้วย เช่น นำเข้าจากจีน พม่า เวียดนาม (Sutsch และคณะ, 2545) ซึ่งถั่วลิสงที่นำเข้าจากต่างประเทศจะมีทั้งถั่วลิสงที่กะเทาะเปลือกแล้วแบบที่ยังไม่ลอกเยื่อ และถั่วลิสงที่ลอกเยื่อแล้ว โดยถั่วลิสงจากต่างประเทศนั้นจะมีการรับโดยพ่อค้าท้องถิ่นใน จังหวัดมุกดาหาร แล้วมีการส่งไปยังตลาดถั่วลิสงกะเทาะท้องถิ่น ตลาดถั่วลิสงกะเทาะต่างจังหวัด ตลาดถั่วลิสงกะเทาะในกรุงเทพฯ อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร (Sutsch และคณะ, 2545) และการรับโดยตรงของตลาดค้าส่ง ซึ่งการรับถั่วลิสงจากต่างประเทศนั้นมีผลกระทบต่อผู้ประกอบการ และเกษตรกรผู้ปลูกถั่วลิสง

เนื่องจากการนำเข้าอย่างเสรี มีการลดภาษีการนำเข้าเมล็ดธัญพืชจาก 25% เป็น 5% ทำให้ธัญพืชจากต่างประเทศมีต้นทุนการนำเข้าที่ต่ำกว่าต้นทุนการผลิตธัญพืชภายในประเทศ (สุหัตถ์ และคณะ, 2545) ทำให้ผู้ประกอบการธุรกิจ และเกษตรกรผู้ปลูกธัญพืชประสบภาวะขาดทุนและเกษตรกรขายผลิตผลได้ในราคาต่ำ



ภาพที่ 26 โครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบไม่ลอกเปลือกภายในประเทศไทย

2. การพัฒนาวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

2.1 การศึกษาวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

2.1.1 จากข้อมูลทุติยภูมิที่ศึกษาถึงการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงพบว่าวิธีการคัดเลือกทางกายภาพโดยใช้มือเลือกหยิบเมล็ดที่น่าสงสัยว่าจะปนเปื้อนออกนั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด (West and Bullerman, 1991) โดยการพิจารณาจากสีของถั่วลิสงทุกเมล็ดเทียบกับสีมาตรฐาน อีกทั้งยังพบว่า การคั่วถั่วลิสงแล้วลอกเชื้อออกจะทำให้ประสิทธิภาพการคัดเลือกดีขึ้น (West and Bullerman, 1991) โดยคั่วถั่วลิสงด้วยอุณหภูมิ 140°C นาน 25 นาที (Galvez *et al.*, 2002) เนื่องจากความร้อนจากการคั่วจะทำให้เมล็ดที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมีสีเข้มขึ้นกว่าเมล็ดที่มีคุณภาพดี ทำให้มีความแตกต่างของสีชัดเจนมากขึ้น (West and Bullerman, 1991) ลักษณะของเมล็ดที่มีสีผิดปกติแสดงดังภาพที่ 5 และ 6 และ การใช้เครื่องแยกแบบซิกแซก (Zig-Zag Separator) ในการแยกจะช่วยแยกถั่วลิสงที่ยังไม่แก่เต็มที่ ถั่วลิสงที่มีบาดแผล และถั่วลิสงที่เหี่ยว เนื่องจากถั่วลิสงเหล่านี้จะมีน้ำหนักที่น้อยกว่าถั่วลิสงที่มีเมล็ดสมบูรณ์จึงใช้หลักการของความแตกต่างของน้ำหนักมาใช้ในการคัดแยก

2.1.2 จากข้อกำหนดของกระทรวงอุตสาหกรรม (2544), FAO/ WHO (2001), วิชัย (2546) และ West and Bullerman (1991) ที่บอกถึงลักษณะของถั่วลิสงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปเพื่อบริโภคว่าต้องเป็นถั่วลิสงที่มีเมล็ดสมบูรณ์ เนื้อเมล็ดมีสีขาวนวล โดยเมล็ดถั่วลิสงที่ควรคัดเลือกรวมมีลักษณะดังต่อไปนี้ เมล็ดถั่วลิสงที่มีรอยย่น เมล็ดถั่วลิสงที่ลีบ เมล็ดมีขนาดเล็ก รูปร่างผิดปกติ เมล็ดที่มีรอยแผลที่ถูกทำลายจากศัตรูพืช แมลงหรือสิ่งอื่นๆ มีรอยขีดข่วนและรอยชำ เมล็ดที่เน่าเสีย ซึ่งมักจะมีสีเทา น้ำตาล และดำ เมล็ดที่มีสีผิดปกติไปจากธรรมชาติของถั่วลิสง ซึ่งมักเป็นสีน้ำตาลเข้ม สีเทา สีน้ำเงินเข้ม หรือสีดำมากกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด เยื่อหุ้มเมล็ดมีรอยถลอก เมล็ดมีการงอก เมล็ดที่มีเชื้อรา ซึ่งได้กล่าวว่าเมล็ดที่มีลักษณะเหล่านี้เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน

ดังนั้นในการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงเพื่อให้เหมาะกับการนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคและเพื่อลดโอกาสการพบสารพิษอะฟลาทอกซินนั้นสามารถสังเกตได้จากลักษณะปรากฏ โดยมีปัจจัยที่อาจเป็นดัชนีบ่งชี้ได้แก่

1. ลักษณะผิวของถั่วลิสง เช่น การย่น เหี่ยว
2. สีของถั่วลิสง เช่น สีเทา น้ำตาล ดำ น้ำเงิน
3. การปรากฏของเชื้อรา
4. การมีบาดแผลของถั่วลิสง ทั้งสาเหตุจากแมลง ศัตรูพืช และเครื่องจักรต่างๆ
5. ขนาด รูปร่างของถั่วลิสง
6. ความสมบูรณ์ของถั่วลิสง เช่น เมล็ดลีบ
7. ความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มถั่วลิสง
8. การงอกของถั่วลิสง

2.2 การศึกษาปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่มีลักษณะไม่พึงประสงค์

2.2.1 การคัดเลือกถั่วลิสงที่มีลักษณะผิดปกติ

จากการสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงดิบที่กะเทาะเปลือกแล้วแต่ยังไม่มีการคัดเลือกคุณภาพจาก จ.ลำปาง จำนวน 10 กิโลกรัม จำนวน 2 ซ้ำ มาทำการคัดเลือกถั่วลิสงที่มีลักษณะผิดปกติออกโดยการสังเกตด้วยสายตา ซึ่งทำการคัดแยก 2 ซ้ำ สามารถจำแนกถั่วลิสงตามลักษณะปรากฏได้ 11 ประเภท ได้แก่ ถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติดังภาพที่ 27 ถั่วลิสงที่เมล็ดมีลักษณะเหี่ยว ถั่วลิสงที่มีบาดแผลที่เกิดจากเครื่องจักร โดยยังคงสภาพเต็มเมล็ดอยู่ และที่เมล็ดมีการแตกหรือหัก ถั่วลิสงที่เยื่อหุ้มไม่สมบูรณ์ ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติโดยมีสีเข้มน้อยกว่า 25% และที่มีสีเข้มน้ำเงินมากกว่า 25% ถั่วลิสงที่มีรูปร่างผิดปกติ ถั่วลิสงที่มีบาดแผลอันเกิดจากการทำลายของแมลง ถั่วลิสงที่มีการงอก และถั่วลิสงที่มีการปรากฏของเชื้อรา โดยพบว่ามีถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏที่ดีอยู่เฉลี่ย 49.45% มีถั่วลิสงที่เมล็ดมีลักษณะเหี่ยวอยู่ 25.29% ถั่วลิสงที่มีบาดแผลอันเกิดจาก

เครื่องจักรแต่ยังคงสภาพเต็มเมล็ดอยู่ 10.41% และมีถั่วลิสงที่มีบาดแผลอันเกิดจากการทำลายของแมลงอยู่ 0.14% ซึ่งเป็นจำนวนน้อยที่สุด น้ำหนักของถั่วลิสงแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 14



ภาพที่ 27 ตัวอย่างถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ

ตารางที่ 14 น้ำหนักของถั่วลิสงดิบจากโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง จ.ลำปาง แต่ละประเภทเมื่อทำการคัดแยกด้วยสายตามลักษณะปรากฏ

ชนิดของถั่วลิสง	น้ำหนัก (%)
ถั่วลิสงรวม	100.00
ถั่วลิสงลักษณะปรากฏปกติ	49.45 ± 0.63
ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ (มีสีเข้มน้อยกว่า 25%)	2.01 ± 0.40
ถั่วลิสงที่เชื้อหุ้มไม่สมบูรณ์	0.52 ± 0.17
ถั่วลิสงเขียว	25.29 ± 0.01
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักร (คงสภาพเต็มเมล็ดอยู่)	10.41 ± 0.78
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักร (เมล็ดแตก หรือ หัก)	2.14 ± 0.07
ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ (มีสีเข้ม หรือ ดำมากกว่า 25%)	2.47 ± 0.10
ถั่วลิสงรูปร่างผิดปกติ	2.28 ± 0.36
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากการทำลายของแมลง	0.14 ± 0.05
ถั่วลิสงที่มีการงอก	3.00 ± 0.31
ถั่วลิสงที่มีการปรากฏของเชื้อรา	2.44 ± 0.21

2.2.2 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน

เมื่อนำถั่วลิสงแบบรวมและถั่วลิสงประเภทต่างๆ ที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 2.2.1 ไปวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินพบว่าถั่วลิสงแบบที่ยังไม่ได้คัดคุณภาพมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่าง 26.25 – 5,080.00 ppb ซึ่งปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ตรวจพบในการสุ่มตัวอย่างซ้ำที่ 1 แตกต่างจากซ้ำที่ 2 มากทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงนั้นมีการกระจายแบบไม่สม่ำเสมอ จะมีอยู่ในถั่วลิสงบางเมล็ดเท่านั้น (เกสร, 2526) ทำให้ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ตรวจพบในถั่วลิสงซ้ำที่ 1 มีเพียง 26.25 ppb แต่ถั่วลิสงจากซ้ำที่ 2 พบสารพิษอะฟลาทอกซินสูงถึง 5,080 ppb และเมื่อทำการคัดเลือกถั่วลิสงที่สุ่มได้จากโรงงานกะเทาะเปลือกเป็นประเภทต่างๆ แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน พบว่าถั่วลิสงที่มีลักษณะปกติมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่าง 6.65 – 9.75 ppb ในส่วนของถั่วลิสงที่มีลักษณะที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินพบว่าถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติโดยมีสีเข้มน้อยกว่า 25% มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินน้อยที่สุด คือ มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่าง 7.05 – 8.90 ppb และถั่วลิสงที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากที่สุด คือ ถั่วลิสงที่มีการปรากฏของเชื้อรา ซึ่งมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่าง 4,138.00 – 16,024.00 ppb ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ตรวจพบในถั่วลิสงชนิดต่างๆ จากโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง จ.ลำปาง

ชนิดของถั่วลิสง	ปริมาณอะฟลาทอกซิน (ppb)
ถั่วลิสงรวม	26.25 – 5,080.00
ถั่วลิสงลักษณะปรากฏปกติ	6.65 - 8.90
ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ (มีสีเข้มน้อยกว่า 25%)	7.05 – 8.90
ถั่วลิสงที่เชื้อหุ้มไม่สมบูรณ์	12.05 – 13.40
ถั่วลิสงเหี่ยว	13.20 – 13.55
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักร (ยังคงเต็มเมล็ดอยู่)	11.75 – 20.10
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักร (เมล็ดแตก หรือ หัก)	18.75 – 19.30
ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ (มีสีเข้มน้อยกว่า 25%)	23.95 – 24.75
ถั่วลิสงรูปร่างผิดปกติ	16.55 – 28.50
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากการทำลายของแมลง	386.00 - 646.00
ถั่วลิสงที่มีการงอก	468.00 – 6,020.00
ถั่วลิสงที่มีการปรากฏของเชื้อรา	4,138.00 – 16,024.00

จากปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงชนิดต่างๆ สามารถแบ่งกลุ่มถั่วลิสงได้เป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ ที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินต่ำกว่า 20 ppb ซึ่งสามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารเพื่อการบริโภคได้ กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มของถั่วลิสงที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินต่ำกว่า 20 ppb แต่มีลักษณะเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน อันได้แก่ ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติโดยมีสีเข้มน้อยกว่า 25% ถั่วลิสงที่มีเชื้อหุ้มไม่สมบูรณ์ และถั่วลิสงที่มีลักษณะเหี่ยว และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มของถั่วลิสงที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินสูงกว่า 20 ppb ได้แก่ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักรหรือแมลง ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติโดยมีสีเข้มน้อยกว่า 25% ถั่วลิสงที่มีรูปร่างผิดปกติ ถั่วลิสงที่มีการงอก และมีการปรากฏของเชื้อรา ซึ่งถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักรแบบที่เมล็ดมีการแตก หรือหักนั้นถึงแม้มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินไม่ถึง 20 ppb แต่เนื่องจากมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังคำนึงถึงถั่วลิสงที่เหมาะสมกับการนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคจึงจัดให้ถั่วลิสงกลุ่มนี้ไม่เหมาะสมกับการนำไปแปรรูปและมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน

สารพิษอะฟลาทอกซินเกินเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจากเชื้อหุ้ม ได้ถูกทำลายจึงมีโอกาสนในการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินสูง

2.3 การจัดทำวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

จากปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่วิเคราะห์ได้ในถั่วลิสงแต่ละชนิดและวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงของ Galvez *et al.* (2002) นำมาจัดทำวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงสำหรับนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคได้ดังนี้

- 1) เทถั่วลิสงลงบนพื้นสีอ่อน
- 2) กระจายถั่วลิสงให้ทั่วพื้นเพื่อให้เห็นเมล็ดอย่างชัดเจน
- 3) คัดเลือกสิ่งแปลกปลอม เช่น หิน ดิน ทราช เปลือกถั่วลิสงออกก่อน
- 4) คัดเลือกถั่วลิสงที่มีลักษณะผิดปกติออก ซึ่งได้แก่ ถั่วลิสงที่มีบาดแผลอันเกิดจากเครื่องมือหรือ แมลง ถั่วลิสงที่มีสีเข้มผิดปกติ ถั่วลิสงที่เหี่ยว มีรูปร่างผิดปกติ มีเชื้อหุ้มไม่สมบูรณ์ มีการงอกและมีการปรากฏของเชื้อรา ชั่งน้ำหนักถั่วลิสงที่มีลักษณะผิดปกติ และถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ ซึ่งถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติสามารถนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคได้

2.4 การปรับปรุงวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

2.4.1 การทวนสอบวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสง

จากการสุ่มถั่วลิสงจากตลาดค้าปลีก 44 แห่งแล้วคัดเลือกเป็นชนิดต่างๆ พบว่าถั่วลิสงส่วนใหญ่จะมีลักษณะเหี่ยว และถั่วลิสงที่มีบาดแผลจากการทำลายของแมลงจะพบน้อยที่สุด ซึ่งปริมาณของถั่วลิสงแต่ละชนิดที่พบแสดงดังตารางที่ 16 เช่นเดียวกับถั่วลิสงจากโรงงานกะเทาะเปลือก แต่พบว่าถั่วลิสงที่ซื้อจากตลาดค้าปลีกนั้นมีปริมาณของถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ ถั่วลิสงที่มีบาดแผลจากเครื่องจักรที่มีการแตกหรือหัก ถั่วลิสงที่มีการงอก ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากการทำลายของแมลง และถั่วลิสงที่มีการปรากฏของเชื้อรา น้อยกว่าปริมาณที่พบในถั่วลิสงที่สุ่มจากโรง

กะเทาะเปลือก เนื่องจากถั่วลิสงที่สุ่มจากตลาดค้าปลีกนั้นส่วนมากเป็นถั่วลิสงที่รับมาจากบริษัทผู้จัดจำหน่าย ซึ่งได้มีการคัดเลือกคุณภาพมาก่อนแล้ว

ตารางที่ 16 น้ำหนักของถั่วลิสงดิบจากตลาดค้าปลีก 44 แห่งในกรุงเทพฯ แต่ละประเภทเมื่อทำการคัดแยกด้วยสายตาตามลักษณะปรากฏ

ชนิดของถั่วลิสง	น้ำหนัก (%)
ถั่วลิสงรวม	100.00
ถั่วลิสงลักษณะปรากฏปกติ	38.58 ± 10.47
ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ (มีสีเข้มน้อยกว่า 25%)	0.10 ± 0.20
ถั่วลิสงที่เหี่ยวหุ่มไม่สมบูรณ์	0.72 ± 2.27
ถั่วลิสงเหี่ยว	36.89 ± 13.75
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักร (คงสภาพเต็มเมล็ดอยู่)	18.09 ± 8.88
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักร (เมล็ดแตก หรือ หัก)	0.57 ± 0.51
ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ (มีสีเข้ม หรือ ดำมากกว่า 25%)	1.76 ± 2.26
ถั่วลิสงรูปร่างผิดปกติ	1.54 ± 2.36
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากการทำลายของแมลง	0.06 ± 0.20
ถั่วลิสงที่มีการงอก	0.43 ± 0.52
ถั่วลิสงที่มีการปรากฏของเชื้อรา	1.28 ± 2.30

เมื่อนำถั่วลิสงชนิดต่างๆ ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนได้ผลดังตารางที่ 17 ซึ่งพบว่าปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินของถั่วลิสงจากตลาดค้าปลีกมีปริมาณสูงขึ้นกว่าจากโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง อาจเนื่องจากถั่วลิสงนั้นอยู่ในสถานะที่เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อรา นั่นคือในตลาดค้าปลีกนั้นร้านค้าจะมีการเก็บถั่วลิสงไว้ในถุงพลาสติกที่ไม่มีการปิดปากถุง และในตลาดนั้นมีสถานะที่ค่อนข้างชื้นเนื่องจากการขายอาหารหลายอย่างทำให้ถั่วลิสงมีโอกาสที่จะมีความชื้นสูงขึ้นได้ และปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินของถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติก็ยังพบว่ามีเกิน 20 ppb ทั้งนี้เนื่องจากสารพิษอะฟลาทอกซินนี้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และลักษณะที่ปรากฏภายนอกก็ไม่สามารถบอกถึงการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินได้ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน พบว่าถั่วลิสงก่อนคัดคุณภาพมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่าง 3.80 – 3,233.95 ppb ถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติมี

ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน 0 – 72.55 ppb ซึ่งการที่ถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินสูงถึง 72.55 ppb เนื่องจากถั่วลิสงที่ทำการทดลองนั้นเป็นถั่วลิสงที่ยังมีเชื้อเห็ดอยู่ซึ่งการมีเชื้อเห็ดอยู่ทำให้ไม่สามารถเห็นถึงตำหนิที่อยู่ภายในได้ ซึ่ง West and Bullerman (1991) Galvez *et al.* (2002) และ วิชัย และคณะ (2550) ได้กล่าวไว้แล้วว่าการคัดเลือกถั่วลิสงที่ลอกเชื้อแล้วสามารถคัดเลือกถั่วลิสงที่มีตำหนิออกได้ดีกว่า ส่วนถั่วลิสงที่เหี่ยว มีบาดแผลจากแมลง จากเครื่องจักรทั้งแบบเต็มเมล็ดและเมล็ดที่มีการแตกหัก มีเชื้อเห็ดไม่สมบูรณ์ มีสีเข้มมากกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด มีรูปร่างผิดปกติ มีการงอก และมีการปรากฏของเชื้อรา มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่าง 1.45 – 118,336.00 ppb และจะพบว่าถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักรแบบที่เมล็ดมีการแตกหรือหักนั้นมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินสูงกว่าตัวอย่างถั่วลิสงที่สุ่มจากโรงงานกะเทาะเปลือกมาก สอดคล้องกับข้อสันนิษฐานข้างต้นที่คาดว่าถั่วลิสงลักษณะดังกล่าวน่าจะมีโอกาสในการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินเนื่องจากเชื้อเห็ดได้ถูกทำลายทำให้มีโอกาสปนเปื้อนสูงขึ้น ส่วนถั่วลิสงที่มีสีเข้มน้อยกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมดไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้เนื่องจากมีปริมาณไม่พอสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน (น้อยกว่า 20 กรัม) โดยในถั่วลิสงแต่ละชนิดมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินแตกต่างกันเนื่องจากมีลักษณะที่เสี่ยงต่อการเจริญของเชื้อราแตกต่างกัน ดังงานวิจัยของ Wilson *et al.* (1977) ที่รายงานว่าเมล็ดถั่วลิสงที่มีการเข้าทำลายของแมลง หรือแตกหักเนื่องจากการเก็บเกี่ยว การกะเทาะ เชื้อราสามารถเข้าทำลายได้ง่ายกว่าเมล็ดที่สมบูรณ์ ส่วนถั่วลิสงที่มีลักษณะเหี่ยวยุบนั้นเกิดจากการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงที่มีอายุน้อยเกินไป (วสุ, 2537) ซึ่ง Mixon and Rogers (1975) และจวง จันทร (2540) ได้กล่าวว่าถั่วลิสงที่อ่อนหรือแก่เกินไปมีเชื้อราเกิดขึ้นมากกว่าเมล็ดที่มีอายุที่เหมาะสม จึงเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่า และพบว่าถั่วลิสงที่มีการปรากฏของเชื้อราปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินไม่สูงที่สุดเนื่องจากการเจริญของเชื้อราไม่สัมพันธ์กับปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่พบในถั่วลิสง (พวงทอง, 2526) ถั่วลิสงที่มีตำหนิทั้ง 10 ชนิดแสดงดังภาพที่ 28

ตารางที่ 17 ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่ตรวจพบในถั่วลิสงดิบจากตลาดค้าปลีก 44 แห่งใน
กรุงเทพฯ แต่ละประเภทเมื่อทำการคัดแยกด้วยสายตาตามลักษณะปรากฏ

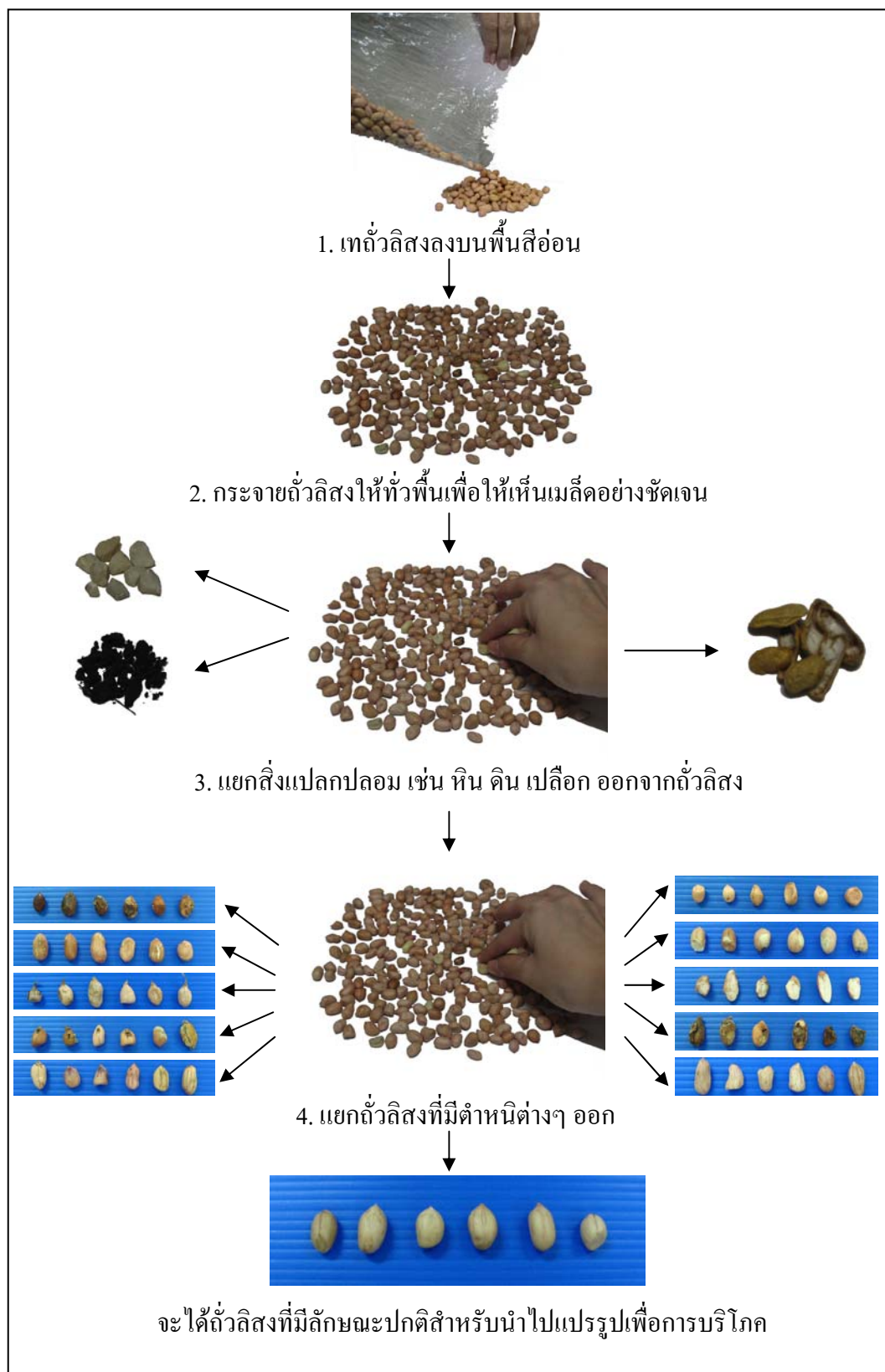
ชนิดของถั่วลิสง	ปริมาณอะฟลาทอกซิน (ppb)
ถั่วลิสงรวม	3.80 – 3,233.95
ถั่วลิสงลักษณะปรากฏปกติ	0 – 72.55
ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ (มีสีเข้มน้อยกว่า 25%)	- *
ถั่วลิสงที่เชื้อหุ้มไม่สมบูรณ์	6.30 - 24.40
ถั่วลิสงเหี่ยว	2.15 – 287.95
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักร (ยังคงเต็มเมล็ดอยู่)	1.45 – 364.55
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากเครื่องจักร (เมล็ดแตก หรือ หัก)	4.60 – 427.00
ถั่วลิสงที่มีสีผิดปกติ (มีสีเข้ม หรือ ดำมากกว่า 25%)	2.10 – 118,336.00
ถั่วลิสงรูปร่างผิดปกติ	1.75 – 191.40
ถั่วลิสงที่เกิดบาดแผลจากการทำลายของแมลง	32.80
ถั่วลิสงที่มีการงอก	8.00 – 1,752.00
ถั่วลิสงที่มีการปรากฏของเชื้อรา	13.50 – 1,624.00

หมายเหตุ * ไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาทอกซินเนื่องจากมีปริมาณไม่พอสำหรับการวิเคราะห์
(มีปริมาณน้อยกว่า 20 กรัม)

จากปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินที่วิเคราะห์ได้ในขั้นการทวนสอบนั้น
สามารถนำมาปรับปรุงวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงสำหรับนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคได้ดัง
ภาพที่ 28

คู่มือในการคัดเลือกคุณภาพตัวลิสง

ภาพที่ 28 วิธีการคัดเลือกคุณภาพตัวลิสงที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 28 (ต่อ)

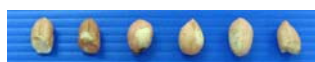
ขั้นตอนของวิธีการคัดเลือกถั่วลิสงสำหรับนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) เทถั่วลิสงลงบนพื้นสีอ่อน
- 2) กระจายถั่วลิสงให้ทั่วพื้นเพื่อให้เห็นเมล็ดอย่างชัดเจน
- 3) คัดเลือกสิ่งแปลกปลอม เช่น หิน ดิน ทราย เปลือกถั่วลิสงออกก่อน
- 4) คัดเลือกถั่วลิสงออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ถั่วลิสงที่มีปริมาณ

สารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่า 20 ppb ได้แก่ ถั่วลิสงที่เหี่ยว มีบาดแผลจากแมลง จากเครื่องจักร ทั้งแบบเต็มเมล็ดและเมล็ดมีการแตกหัก มีเชื้อหุ้มเมล็ดไม่สมบูรณ์ มีสีเข้มมากกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด มีรูปร่างผิดปกติ มีการงอก และมีการปรากฏของเชื้อรา ดังภาพที่ 1- 9 กลุ่มที่ 2 ถั่วลิสงที่มีปริมาณอะฟลาทอกซินน้อยกว่า 20 ppb ได้แก่ ถั่วลิสงที่มีสีเข้มน้อยกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ดังภาพที่ 10 และกลุ่มที่ 3 ถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ ดังภาพที่ 11 ซึ่งสามารถนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคได้ ทำการชั่งน้ำหนักถั่วลิสงทุกประเภทและบันทึกค่าไว้



1. เมล็ดเหี่ยว



2. เมล็ดที่เกิดบาดแผลจากเครื่องมือที่ยังเต็มเมล็ด



3. เมล็ดที่เกิดบาดแผลจากเครื่องมือที่เมล็ดมีการแตกหัก



4. เมล็ดที่มีเชื้อหุ้มไม่สมบูรณ์



5. เมล็ดที่มีสีเข้มมากกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด



6. เมล็ดที่มีรูปร่างผิดปกติ



7. เมล็ดที่มีบาดแผลจากการทำลายของแมลง



8. เมล็ดที่มีการงอก



9. เมล็ดที่มีการปรากฏของเชื้อรา

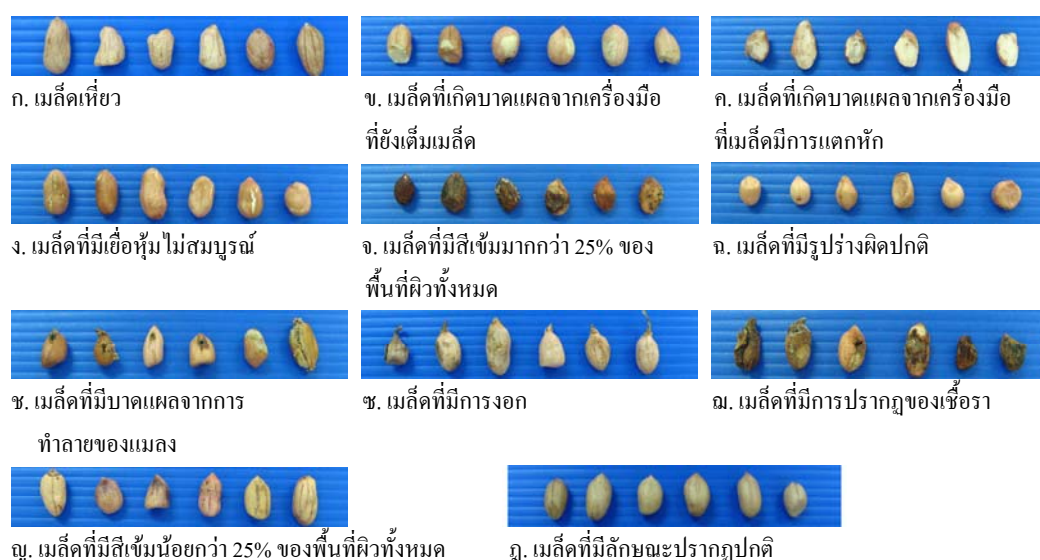


10. เมล็ดที่มีสีเข้มน้อยกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด



11. เมล็ดที่มีลักษณะปรากฏปกติ

ในการคัดเลือกถั่วลิสงจะทำการคัดเลือกถั่วลิสงออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ถั่วลิสงที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่า 20 ppb ได้แก่ ถั่วลิสงที่เหี่ยว มีบาดแผลจากแมลง จากเครื่องจักร ทั้งแบบเต็มเมล็ดและเมล็ดมีการแตกหัก มีเชื้อหุ้มเมล็ดไม่สมบูรณ์ มีสีเข้มมากกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด มีรูปร่างผิดปกติ มีการงอก และมีการปรากฏของเชื้อรา ดังภาพที่ 29 (ก. - ฉ.) กลุ่มที่ 2 ถั่วลิสงที่มีปริมาณอะฟลาทอกซินน้อยกว่า 20 ppb ได้แก่ ถั่วลิสงที่มีสีเข้มน้อยกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ดังภาพที่ 29 (ญ.) และกลุ่มที่ 3 ถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ ดังภาพที่ 29 (ฎ.) ซึ่งสามารถนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคได้ ทำการชั่งน้ำหนักถั่วลิสงทุกประเภทและบันทึกค่าไว้



ภาพที่ 29 ลักษณะของถั่วลิสงที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินเกิน 20 ppb (ก. - ฉ.) ถั่วลิสงที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินต่ำกว่า 20 ppb (ญ.) และถั่วลิสงที่มีลักษณะปกติ (ฎ.)

ถั่วลิสงกลุ่มที่ 1 ซึ่งได้แก่ ถั่วลิสงที่เหี่ยว มีบาดแผลจากแมลง จากเครื่องจักรทั้งแบบเต็มเมล็ดและเมล็ดมีการแตกหัก มีเชื้อหุ้มเมล็ดไม่สมบูรณ์ มีสีเข้มมากกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด มีรูปร่างผิดปกติ มีการงอก และมีการปรากฏของเชื้อรานั้นไม่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคได้ยกเว้นการทำลายสารพิษก่อน ดังงานวิจัยของอมรา (2547) ที่พบว่าการใช้ความร้อน เช่น ต้ม นึ่งด้วยความดันสูง การเผา และการพาสเจอร์ไรซ์ในเครื่องดื่มน้ำที่ทำจากถั่วลิสงสามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ซึ่งถ้ามีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 10.2 และใช้

อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 20 วินาที จะสามารถลดปริมาณสารอะฟลาทอกซิน B1 ได้ถึง 73-83% โดยที่รสชาติไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ 120°C 15 นาที จะลดการกลายพันธุ์ของสารพิษอะฟลาทอกซินไปเป็นสารก่อมะเร็งได้ถึง 82.5-92.5% แต่รสชาติจะไม่ดีเท่าเดิม และรายงานของ อมรา (2547) ที่กล่าวว่าสามารถ ลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงป่นได้ด้วยไมโครเวฟ ซึ่งสามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้ 71.4%

ถั่วลิสงกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นถั่วลิสงที่มีสีเข้มน้อยกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินน้อยกว่า 20 ppb สามารถนำไปผลิตน้ำมันถั่วลิสงได้ แต่ก็ควรผ่านการทำให้บริสุทธิ์ก่อนเพื่อลดปริมาณสารอะฟลาทอกซิน (ดวงจันทร์ และ วนิดา, 2547) หรือสามารถนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ในการปลูกฝังงานวิจัยของ คณาธิป (2545) ส่วนถั่วลิสงกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีลักษณะปรากฏปกติสามารถนำไปแปรรูปเพื่อการบริโภคได้

3. การศึกษาคุณภาพถั่วลิสงจากผู้ค้าปลีก

3.1 การสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงจากผู้ค้าปลีก

จากสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงจากผู้ค้าปลีกทั้ง 44 เขตในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2550 โดยมีการสุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 11 ครั้ง ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 การสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงจากผู้ค้าปลีกในเขตต่างๆ

วันที่สุ่มตัวอย่างถั่วลิสง	เขตที่สุ่ม
9 ธันวาคม 2549	เขตวังทองหลาง เขตบางกะปิ เขตบึงกุ่ม เขตคันนายาว
11 ธันวาคม 2549	เขตปทุมวัน เขตบางรัก เขตสาทร เขตดินแดง เขตราชเทวี เขตยานนาวา
16 ธันวาคม 2549	เขตบางเขน เขตสายไหม เขตลาดพร้าว เขตคลองสามวา เขตมีนบุรี เขตหนองจอก เขตดอนเมือง เขตพญาไท
24 ธันวาคม 2549	เขตพระโขนง เขตบางซื่อ เขตบางนา เขตลาดกระบัง เขตวัฒนา เขตคลองเตย เขตสวนหลวง เขตประเวศ

ตารางที่ 18 (ต่อ)

วันที่สุ่มตัวอย่างถั่วลิสง	เขตที่สุ่ม
27 กุมภาพันธ์ 2550	เขตจตุจักร เขตหลักสี่
28 กุมภาพันธ์ 2550	เขตดุสิต
3 มีนาคม 2550	เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย เขตธนบุรี เขตบางกอกน้อย เขตบางกอกใหญ่ เขตคลองสาน เขตภาษีเจริญ เขตบางพลัด
11 มีนาคม 2550	เขตสัมพันธวงศ์
20 มีนาคม 2550	เขตพระนคร
24 มีนาคม 2550	เขตบางขุนเทียน เขตหนองแขม เขตบางแค เขตทุ่งครุ เขตบางบอน
28 มีนาคม 2550	เขตบางคอแหลม

3.2 การเก็บข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา

จากข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในแต่ละวัน และข้อมูลย้อนหลังก่อนวันที่เก็บตัวอย่างถั่วลิสง 30 วันจากกรมอุตุนิยมวิทยาได้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ย้อนหลัง 30 วันของวันที่สุ่มตัวอย่างถั่วลิสง

วันที่สุ่มตัวอย่าง ถั่วลิสง	ค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 30 วัน			
	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ย (%)
9 ธันวาคม 2549	34.04	26.56	29.96	67.33
11 ธันวาคม 2549	33.95	26.50	29.92	67.30
16 ธันวาคม 2549	33.82	26.40	29.76	67.10
24 ธันวาคม 2549	32.24	24.37	28.08	64.47
27 กุมภาพันธ์ 2550	32.94	23.66	27.92	65.30
28 กุมภาพันธ์ 2550	33.19	23.97	28.16	65.70
3 มีนาคม 2550	33.74	24.71	28.77	66.70
11 มีนาคม 2550	34.86	26.15	30.02	67.80
20 มีนาคม 2550	35.28	26.75	30.54	67.07
24 มีนาคม 2550	35.27	26.82	30.63	66.53
28 มีนาคม 2550	35.40	26.85	30.77	66.03

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2550)

3.3 การคัดแยกคุณภาพถั่วลิสง

ถั่วลิสงที่สุ่มตัวอย่างมาจากเขตที่ต่างกันมีลักษณะปรากฏที่ต่างกัน โดยถั่วลิสงที่มาจากตลาดค้าปลีกในเขตที่มีความสะอาดเช่น เขตดุสิต ตลาดเทเวศน์ และเขตบางรัก ตลาดหน้าวัดแขก ที่ร้านค้าปลีกนั้นดูสะอาด ไม่อับชื้น ทำให้มีลักษณะโดยรวมของถั่วลิสงสะอาด ไม่มีฝุ่นผง หรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ แต่ในบางเขต เช่น เขตประเวศ ตลาดปิ่นัง หรือ เขตบางขุนเทียน ตลาดกลางการเคหะที่ร้านค้าปลีกนั้นดูอับชื้น อากาศไม่ถ่ายเท ถั่วลิสงที่สุ่มได้มาก็จะมีฝุ่นผงมาก มีเศษเปลือกและเมล็ดแตกมาก ซึ่งถั่วลิสงที่มีลักษณะโดยรวมแตกต่างกันเมื่อทำการคัดแยกตามลักษณะปรากฏแล้ว ก็ทำให้มีสัดส่วนของถั่วลิสงที่มีลักษณะต่างๆ แตกต่างกัน โดยในเขตที่ร้านค้าปลีกมีความสะอาดจะมีปริมาณของถั่วลิสงที่มีลักษณะปกติมากกว่า และมีถั่วลิสงที่มีลักษณะเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินน้อยกว่า แต่ในเขตที่ร้านค้าปลีกไม่สะอาด อากาศไม่ถ่ายเทก็จะมีปริมาณถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏที่ด้อย และมีถั่วลิสงที่มีลักษณะที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมาก

ซึ่งแสดงว่าสภาพการเก็บรักษาถั่วลิสงมีผลต่อคุณภาพถั่วลิสงด้านการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สรรเสริญ (2543) ที่พบว่าวิธีการเก็บรักษามีผลต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสง

3.4 การวัดค่าคุณภาพถั่วลิสง

จากตัวอย่างถั่วลิสงที่ผ่านการคัดเลือกและถูกแบ่งเป็นกลุ่มตามลักษณะปรากฏทั้งสิ้น 11 ลักษณะนั้นเมื่อทำการวัดค่าสีของเมล็ดถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติพบว่ามีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 52.854 – 66.079 แสดงว่าเมล็ดถั่วลิสงมีสีออกไปทางสีขาว หรือสีอ่อน มีค่าความเป็นสีแดงหรือเขียว ระหว่าง 7.246 – 14.016 แสดงว่าเมล็ดถั่วลิสงมีสีออกมาทางสีแดง และมีค่าความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงินระหว่าง 14.839 – 22.984 แสดงว่าเมล็ดถั่วลิสงมีสีออกมาทางสีเหลือง ดังภาพที่ 29 และพบว่าเมล็ดถั่วลิสงก่อนการคัดคุณภาพมีความชื้นอยู่ระหว่าง 5.7278 – 10.9958 % ซึ่งเป็นความชื้นที่อยู่ในช่วงที่ไม่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาระหว่างรอจำหน่าย ดังงานวิจัยของเสถียร (2530) และจินตนา (2540) ที่ได้แนะนำว่าควรมีการลดความชื้นของถั่วลิสงให้เหลือน้อยกว่า 7% ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมแก่การนำถั่วลิสงไปบรรจุกระสอบและเก็บรักษารอการจำหน่ายโดยปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อรา จากปริมาณความชื้นที่พบในเมล็ดถั่วลิสงก่อนการคัดคุณภาพที่สูงเกินกว่าคำแนะนำจึงมีผลให้ถั่วลิสงที่ขายในตลาดค้าปลีกมีความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน ดังตารางที่ 19 ที่พบว่าถั่วลิสงก่อนการคัดคุณภาพมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่าง 3.80 – 3233.95 ppb

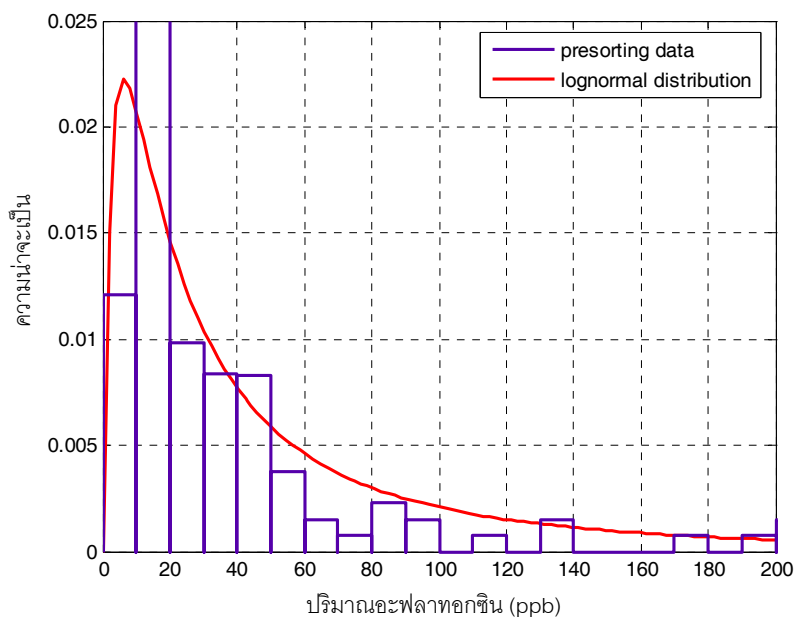
4. การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบจากผู้ค้าปลีก

จากข้อมูลปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบก่อนคัดคุณภาพพบว่ารูปแบบการแจกแจงที่เป็นไปได้ ได้แก่ รูปแบบการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential distribution) รูปแบบการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal distribution) รูปแบบการแจกแจงแบบแกมมา (Gamma distribution) และรูปแบบการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ (Rayleigh distribution) เมื่อทดสอบรูปแบบการแจกแจงแบบต่างๆ ด้วยค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov ได้ผลดังตารางที่ 20 ซึ่งพบว่าข้อมูลปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินของถั่วลิสงก่อนคัดคุณภาพมีค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov ของรูปแบบการแจกแจงแบบ Lognormal distribution ต่ำสุด แสดงว่าถั่วลิสงก่อนคัดคุณภาพมีรูปแบบการแจกแจงของปริมาณสารอะฟลาทอกซินเป็นแบบ Lognormal distribution โดยมีค่าเฉลี่ย

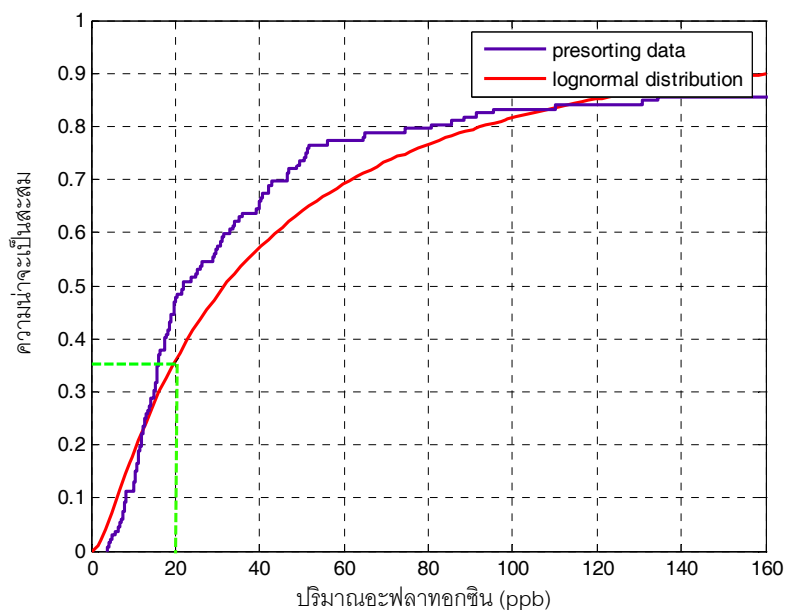
= 71.3955 ppb และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 20782.7 ppb ดังภาพที่ 30 และ 31 และพบว่าข้อมูลปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินของถั่วลิสงหลังคัดคุณภาพมีค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov ของรูปแบบการแจกแจงแบบ Gamma distribution ต่ำสุด แสดงว่าเมื่อมีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงตามวิธีการคัดเลือกที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นรูปแบบการแจกแจงของปริมาณสารอะฟลาทอกซินของถั่วลิสงดิบหลังคัดคุณภาพเป็นแบบ Gamma distribution โดยมีค่า $a = 1.3871$ และ $b = 13.7283$ ดังภาพที่ 32 และ 33

ตารางที่ 20 ค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov ของรูปแบบการแจกแจงแบบต่างๆ ของปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบก่อนและหลังคัดคุณภาพ

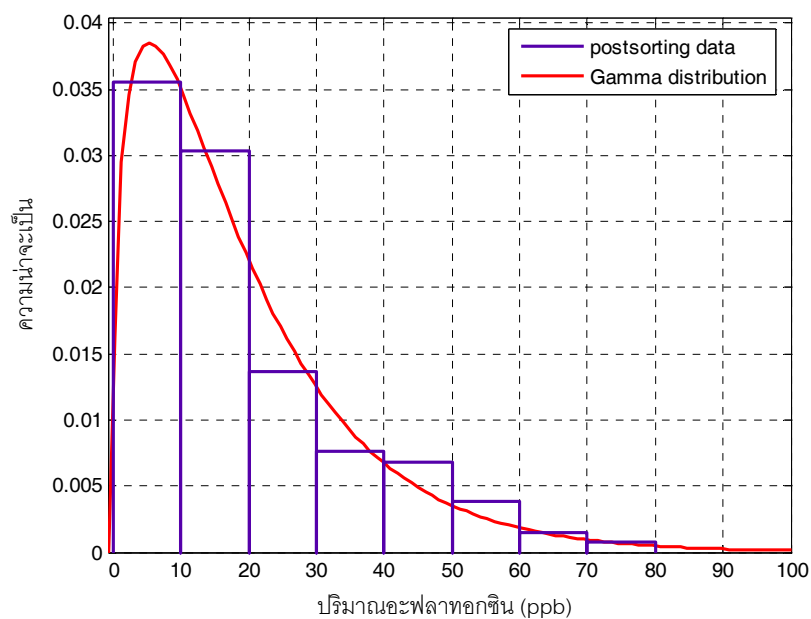
รูปแบบการแจกแจง	ค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov	
	ชุดข้อมูลปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ	ชุดข้อมูลปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ
	ก่อนคัดคุณภาพ	หลังคัดคุณภาพ
Exponential distribution	0.3678	0.1699
Lognormal distribution	0.1219	0.2045
Gamma distribution	0.2544	0.1010
Rayleigh distribution	0.7556	0.2495



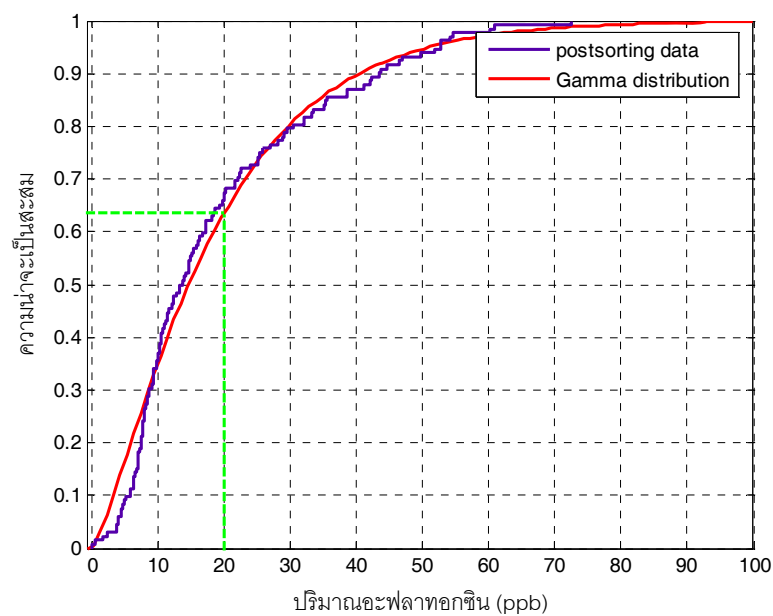
ภาพที่ 30 ความน่าจะเป็นในการพบสารพิษอะฟลาทอกซินปริมาณต่างๆ ในถั่วลิสงดิบ
ก่อนคัดคุณภาพ



ภาพที่ 31 ความน่าจะเป็นสะสมในการพบสารพิษอะฟลาทอกซินปริมาณต่างๆ ในถั่วลิสงดิบ
ก่อนคัดคุณภาพ



ภาพที่ 32 ความน่าจะเป็นในการพบสารพิษอะฟลาทอกซินปริมาณต่างๆ ในถั่วลิสงดิบ
หลังคัดคุณภาพตามวิธีการคัดเลือกคุณภาพที่ได้พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 33 ความน่าจะเป็นสะสมในการพบสารพิษอะฟลาทอกซินปริมาณต่างๆ ในถั่วลิสงดิบ
หลังคัดคุณภาพตามวิธีการคัดเลือกคุณภาพที่ได้พัฒนาขึ้น

ภาพที่ 31 และ 33 เป็นกราฟความน่าจะเป็นสะสมแสดงถึงความน่าจะเป็นสะสมในการพบตัวอย่างถั่วลิสงที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินที่ระดับต่างๆ จากภาพที่ 31 แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นสะสมที่จะพบตัวอย่างถั่วลิสงดิบจากร้านค้าปลีกที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่า 20 ppb มีค่าเท่ากับ 64.10% และเมื่อมีการคัดเลือกรุ่นภาพถั่วลิสงตามวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นจะพบว่าความน่าจะเป็นสะสมที่จะพบตัวอย่างถั่วลิสงดิบที่ซื้อจากร้านค้าปลีกที่มีการคัดเลือกรุ่นภาพตามวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่า 20 ppb ลดลงเหลือ 36.57% ดังภาพที่ 33

เนื่องจากถั่วลิสงดิบที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นถั่วลิสงดิบที่สุ่มจากตลาดค้าปลีกซึ่งมีการผ่านผู้ที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทานมาแล้วหลายคนอันได้แก่ เกษตรกรผู้ผลิต ผู้รวบรวมผลผลิต โรงงานกะเทาะเปลือก บริษัทผู้จัดจำหน่าย หรือตลาดค้าส่ง กว่าจะมาถึงตลาดค้าปลีก ซึ่งผู้เกี่ยวข้องแต่ละคนนั้นอาจมีวิธีการปฏิบัติที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการเจริญของเชื้อราและสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินขึ้นมาได้ ตั้งแต่เกษตรกรซึ่งอรุณศรี (2540) ได้กล่าวว่าการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินเกิดได้ตั้งแต่ระยะพัฒนาฝัก และสามารถเกิดได้ถ้าถั่วลิสงที่ปลูกลงนั้นเกิดสภาวะกระทบแล้งอย่างรุนแรง โดยเฉพาะ 30 วันก่อนการเก็บเกี่ยว หรืออาจเป็นเพราะฤดูกาลและพันธุ์ถั่วลิสงที่ปลูกซึ่ง ธรรมศักดิ์ (2533), วุฒิสักดิ์ และคณะ (2536) และศุภสิทธิ์ (2543) ได้รายงานว่าถั่วลิสงที่เก็บเกี่ยวในช่วงความชื้นสัมพัทธ์สูงมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินสูง และอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมก็มีผลต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน โดยถั่วลิสงที่นิยมปลูกในประเทศไทยอายุที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวถั่วลิสง คือ อายุประมาณ 100-120 วัน หรือสังเกตจากสีฝักด้านใน โดยสีฝักด้านในของพันธุ์ถั่วลิสงส่วนใหญ่จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลดำ ดังงานวิจัยของจวงจันท์และคณะ (2542) ที่ให้สังเกตการสุกของถั่วลิสงจากสีของเปลือกฝักด้านในที่ต้องเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลดำ หรือดูจากเปลือกหุ้มเมล็ดที่จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีชมพู โดยต้องสุ่มดูหากมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลดำ 60-80% ก็แสดงว่าถึงอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมแล้ว ส่วนถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ได้กำหนดวันเก็บเกี่ยวไว้ว่าเมื่อออกดอกได้ 50% แล้วประมาณ 120 วันก็เก็บเกี่ยวได้ทันที หรือเก็บเมื่อมีเมล็ดแก่เต็มที่ประมาณ 60-70% อีกทั้ง จวงจันท์ (2540) ได้กล่าวว่าถั่วลิสงที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุอ่อนหรือแก่เกินไปจะเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้มาก เนื่องจากเชื้อราเข้าทำลายเมล็ดถั่วลิสงได้ง่ายกว่า อีกทั้งในการเก็บเกี่ยวบางครั้งเกษตรกรก็ใช้วิธีการเก็บเกี่ยวที่ผิดโดยมีการปล่อยน้ำเข้าในแปลงเพื่อให้ดินอ่อนตัวง่ายต่อการขุดถอน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความชื้นให้แก่ถั่วลิสง ทำให้เชื้อราเจริญได้ (จวงจันท์, 2540; นรินทร์, 2545; เสถียร, 2530) และเมื่อถั่วลิสงมาถึงโรงกะเทาะซึ่งโดยทั่วไปโรงงานกะเทาะเปลือกจะทำการเก็บถั่วลิสงไว้ก่อนร่อนกว่าจะมี

คำสั่งซื้อเข้ามาจึงจะทำการกะเทาะเปลือก ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาของโรงกะเทาะซึ่งมีการเก็บแบบกองสุมที่อาจทำให้เกิดจากเจริญของเชื้อราได้ถ้าถั่วลิสงมีความชื้นสูง และเมื่อถั่วลิสงมีการขนส่งมายังตลาดคำสั่งก็เป็นการขนส่งที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งอาจทำให้มีการเจริญของเชื้อราและสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้เช่นกัน ซึ่งจวงจันท์ (2540) ได้แนะนำว่าถ้ามีการขนส่งถั่วลิสงด้วยรถบรรทุกควรมีผ้าใบชนิดกันน้ำปูพื้นรถและปิดคลุมถั่วลิสงให้ทั่วและหลีกเลี่ยงไม่ให้ถั่วลิสงโดนแสงแดด และวิธีการเก็บรักษาถั่วลิสงของผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีกก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ถั่วลิสงมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากขึ้น เนื่องจากผู้ค้าไม่มีการควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บถั่วลิสง จากการปฏิบัติที่ไม่เหมาะสมของผู้ที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงคืบก่อนมาถึงผู้ค้าปลีกอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงคืบอยู่แล้ว ถึงแม้ผู้ค้าส่งหรือบริษัทผู้จัดจำหน่ายจะมีการลดความชื้นของถั่วลิสงอีกครั้ง หรือมีการคัดเลือกเมล็ดเน่าเสียออกอีกครั้งก็ไม่สามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงคืบได้ เนื่องจากสารพิษอะฟลาทอกซินเป็นสารพิษที่ทนความร้อนได้สูงถึง 250°C (อรุณศรี, 2540) ดังนั้นการทำแห้งที่ผู้ค้าส่งหรือบริษัทผู้จัดจำหน่ายใช้เพื่อทำแห้งถั่วลิสงก่อนการขายนั้นไม่สามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้ เพราะวิธีการทำแห้งที่ใช้เป็นเพียงการใช้พัดลมเป่า และผู้ค้าส่งกับบริษัทผู้จัดจำหน่ายก็ไม่สามารถใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 250°C ในการทำแห้งได้เนื่องจากจะทำให้ถั่วลิสงนั้นสุกหรือไหม้ได้ หรือการคัดเลือกเมล็ดเน่าเสียออกก็ไม่สามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้เนื่องจากสารพิษอะฟลาทอกซินไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าดังนั้นเมล็ดที่มีลักษณะปรากฏที่ดีก็อาจมีสารพิษอะฟลาทอกซินอยู่ได้ จากการปฏิบัติของทุกฝ่ายที่พยายามลดความชื้นให้ถั่วลิสงมีความชื้นต่ำลงเพื่อไม่ให้เชื้อราเจริญและสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินด้วยการทำแห้งต่างๆ แต่ก็ไม่สามารถกำจัดสารพิษอะฟลาทอกซินออกจากถั่วลิสงได้ ดังนั้นถั่วลิสงคืบที่สุ่มจากตลาดค้าปลีกในการทดลองจึงยังพบปริมาณสารอะฟลาทอกซินอยู่มาก

จากตัวอย่างถั่วลิสงทั้งหมด 132 ตัวอย่างพบว่าเมื่อทำการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงด้วยวิธีการที่ทำการพัฒนาขึ้นนั้นพบว่ามีถั่วลิสงที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินต่ำกว่า 20 ppb อยู่ 45 ตัวอย่าง จากตัวอย่างที่นำมาทดสอบทั้งหมด และเมื่อพิจารณาตลาดค้าปลีกบางแห่ง ได้แก่ ตลาดในเขตสาทร ดินแดง ราชเทวี หนองจอก ดอนเมือง วัฒนา บางนา และคลองสาน ซึ่งมีปริมาณสารพิษ อะฟลาทอกซินของถั่วลิสงก่อนคัดคุณภาพสูงมาก (95.6 – 3233.95 ppb) และพบว่าเมื่อทำการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงตามวิธีการข้างต้นแล้วนั้นสามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่จะนำมาใช้แปรรูปเพื่อการบริโภคได้มากโดยปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง

เหลือเพียง 7.6 – 72.55 ppb ซึ่งสามารถลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้สูงสุดถึง 98.46% ในเขตราชเทวี โดยลดลงจาก 3233.95 ppb เหลือเพียง 49.65 ppb จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงก่อนนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก ดังนั้นผู้บริโภคและผู้ที่เกี่ยวข้องควรมีการเลือกคุณภาพถั่วลิสงก่อนนำไปใช้ประโยชน์เพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพ

จากผลการทดลองการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงตามวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงที่ได้พัฒนาขึ้นพบว่าถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติจากบางกลุ่มตัวอย่างที่มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินเกิน 20 ppb อยู่ โดยถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติที่ได้จากการคัดเลือกล้วนมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินอยู่ระหว่าง 0 – 72.55 ppb ซึ่งถึงแม้จะเป็นถั่วลิสงที่ผ่านการคัดเลือกแล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่การปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการขนส่ง (จงจันทร์, 2540; Anonymous, 2005) ดังนั้นผู้ที่เกี่ยวข้องกับถั่วลิสงตั้งแต่การปลูก การเก็บเกี่ยว และหลังเก็บเกี่ยวควรมีวิธีการปฏิบัติต่อถั่วลิสงให้เหมาะสม ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกถั่วลิสงควรเริ่มดูแลตั้งแต่ในไร่ โดยใช้วิธีการเกษตรที่ดีที่เหมาะสมสำหรับถั่วลิสง (Good Agricultural Practice: GAP) ของโสภณ และสนั่น (2542), สุกัญญา และคณะ (2542) และ จงจันทร์ และคณะ (2542) ซึ่งจะมีขั้นตอนบอกตั้งแต่การปลูก ได้แก่ การเตรียมดิน การเตรียมเมล็ดพันธุ์ การปลูก การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย การป้องกันกำจัดศัตรูพืช การป้องกันกำจัดโรคและแมลง การเก็บเกี่ยวและเก็บรักษา ได้แก่ การเก็บเกี่ยว การปลิดฝัก การตาก และการเก็บรักษา ซึ่งจะช่วยลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินตั้งแต่ในไร่ได้ เมื่อถั่วลิสงถูกส่งเข้าสู่โรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง โรงงานก็ควรที่จะปฏิบัติตามคำแนะนำของโสภณ และสนั่น (2542) ซึ่งได้กล่าวว่าโรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสงควรรับซื้อและแยกเก็บถั่วลิสงตามคุณภาพ ควรเก็บถั่วลิสงไว้ในโรงเรือนที่ถ่ายเทอากาศได้ดี ไม่มีการรบกวนจากศัตรูพืช ในโรงเก็บควรมีมาตรการควบคุมไม่ให้ถั่วเปียกชื้นขณะเก็บ ไม่ควรเก็บไว้นาน ควรรีบกะเทาะแล้วนำไปใช้โดยเร็ว ควรมีระบบคัดแยกเมล็ดเสียออกขณะแบ่งแยกขนาดเมล็ด หรือในส่วนของโรงงานแปรรูปก็ควรปฏิบัติตาม Cowart (2002) ที่กล่าวว่าโรงงานแปรรูปควรรับแปรรูปพันธุ์ที่ได้รับวัตถุดิบหรือหากจำเป็นต้องเก็บไว้ก่อนควรเก็บในห้องเย็น หรือโรงเก็บที่ถ่ายเทอากาศได้ดี และไม่มีศัตรูพืชในโรงเก็บ ควรมีมาตรการตรวจการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบก่อนนำไปแปรรูป ในการเก็บวัตถุดิบควรบรรจุในภาชนะบรรจุที่ป้องกันความชื้นจากบรรยากาศภายนอกได้ และควรมีการกำหนดระยะเวลาหมักอายุของผลิตภัณฑ์ และเพื่อความปลอดภัยต่อการได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินเกินเกณฑ์มาตรฐาน โรงงานกะเทาะเปลือกถั่วลิสง โรงงานแปรรูปถั่วลิสง และผู้บริโภคก็ควรจะมีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงก่อนนำไปแปรรูป อย่างไรก็ตามการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงด้วย

ลักษณะปรากฏเพียงวิธีเดียวก็ไม่สามารถลดความเสี่ยงที่จะพบสารพิษอะฟลาทอกซิน เนื่องจากการกระจายตัวของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงนั้นมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ (อรุณศรี, 2547) ทำให้การคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้คัดเลือกเป็นสำคัญ และอาจต้องมีการใช้วิธีอื่นร่วมด้วยเพื่อลดปริมาณอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนอยู่ เช่น การคัดเลือกสีด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่ง Dickens and Whistaker (1975) สามารถคัดเอาเมล็ดที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินออกได้ถึง 72% และจวงจันท์ (2540) ได้แนะนำเครื่องทุ่นแรงสำหรับการคัดแยกคุณภาพเมล็ดถั่วลิสงไว้คือ Gravity Separator และการคัดเลือกสีด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์อีกทั้งหลังจากการคัดเลือกแล้วควรมีการทำความสะอาดอีกครั้ง

5. การสร้างแบบจำลองทำนายความเสี่ยงของการพบสารอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบจากผู้ค้าปลีก

จากข้อมูลตัวแปรเข้าอันได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักถั่วลิสงดิบที่มีลักษณะปรากฏปกติ และถั่วลิสงที่มีลักษณะที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน ความชื้นเฉลี่ยของถั่วลิสง ก่อนคัดคุณภาพ ค่าสี L^* , a^* , b^* ของถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 1 เดือนก่อนการสุ่มตัวอย่างถั่วลิสง และตัวแปรตาม คือระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ถั่วลิสงดิบที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินน้อยกว่า 20 ppb และกลุ่มที่ 2 เป็นถั่วลิสงดิบที่มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่าหรือเท่ากับ 20 ppb

5.1 การศึกษาโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม

ในการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบนั้น พบว่าเมื่อศึกษาถึงอิทธิพลของวิธีการฝึกฝนและจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน พบว่า วิธีการฝึกฝนมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับการปนเปื้อนของข้อมูลชุดฝึกฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยวิธีการฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลชุดฝึกฝนสูงกว่าวิธีการฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent with Momentum ส่วนจำนวนหน่วยประสาทไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับการปนเปื้อนของข้อมูลชุดฝึกฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 23

และ 24 จากการทดลองพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้วิธีการฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน 15 หน่วย เนื่องจากงานวิจัยของ Thaksinpattanaphong (2005) ที่กล่าวว่า การเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมได้ แต่เมื่อมีจำนวนหน่วยประสาทมากเพียงพอแล้ว การเพิ่มอีกก็ไม่มีผลให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกโครงสร้างที่มีหน่วยประสาทในชั้นซ่อน 15 หน่วยเนื่องจากให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลชุดฝึกฝนสูงที่สุด ดังตารางที่ 21 และเมื่อทำการทดลองซ้ำ (Experimental number) ซึ่งเป็นการสุ่มชุดข้อมูลต่างๆ กันเพื่อใช้ในการฝึกฝน พบว่าข้อมูลที่สุ่มมาฝึกฝนที่ต่างกันไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายระดับการปนเปื้อนของข้อมูลชุดฝึกฝน และไม่มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างรูปแบบการฝึกฝนและจำนวนหน่วยประสาท

ตารางที่ 21 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลชุดฝึกฝนเมื่อประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโครงสร้างแบบต่างๆ

สิ่ง ทดลอง	วิธีการ ฝึกฝน	จำนวน หน่วย ประสาท	Experimental number					ค่าเฉลี่ย ¹ (*)
			1	2	3	4	5	
1	traingda	10	42.39	58.70	55.44	52.17	51.09	51.96 ± 6.12 b
2	traingda	15	57.61	65.22	64.13	48.91	61.96	59.57 ± 6.63 b
3	traingda	20	57.61	63.04	56.52	51.09	70.65	59.78 ± 7.41 b
4	traingda	25	65.22	55.44	58.70	55.44	51.09	57.17 ± 5.25 b
5	trainlm	10	79.35	85.87	80.44	75.00	89.13	81.96 ± 5.57 a
6	trainlm	15	84.78	84.78	81.52	89.13	80.44	84.13 ± 3.40 a
7	trainlm	20	76.09	80.44	89.13	77.17	92.39	83.04 ± 7.32 a
8	trainlm	25	81.52	82.61	85.87	78.26	84.78	82.61 ± 2.98 a
ค่าเฉลี่ย ²			68.07ns	72.01ns	71.47ns	65.90ns	72.69ns	

หมายเหตุ วิเคราะห์สถิติแบบ Compare Main Effect Factorial in Completely Randomized Block Design

traingda หมายถึง การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent with Momentum

trainlm หมายถึง การฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt

ค่าเฉลี่ย¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง

ค่าเฉลี่ย² หมายถึง ค่าเฉลี่ยของการทำการทดลองซ้ำ (Experimental no.)

* หมายถึง ปัจจัยมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

a-b ที่แตกต่างกันตามแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

5.2 การวิเคราะห์ความไวของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม

จากโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 5.1 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความไวของการใช้ฟังก์ชันการเปลี่ยนก่อนชั้นซ่อนพบว่าฟังก์ชันการเปลี่ยนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 22 ดังนั้นในการทำนายระดับความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินด้วยโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถใช้ฟังก์ชันการเปลี่ยนก่อนชั้นซ่อนแบบใดก็ได้ระหว่างแบบ Log-sigmoid Transfer Function กับแบบ Tan-sigmoid Transfer Function

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเมื่อใช้ฟังก์ชันการเปลี่ยนก่อนชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ฟังก์ชันการเปลี่ยน	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
1	Log-sig	84.13ns
2	Tan-sig	83.48ns

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

Log-sig หมายถึง ฟังก์ชันการเปลี่ยนแบบ Log-sigmoid Transfer Function

Tan-sig หมายถึง ฟังก์ชันการเปลี่ยนแบบ Tan-sigmoid Transfer Function

จากการวิเคราะห์ความไวของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 5.1 พบว่าโครงสร้างประสาทเทียมที่เหมาะสมคือ โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้วิธีการฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt มีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน 15 หน่วย และสามารถใช้ฟังก์ชันการเปลี่ยนได้ทั้งแบบ Log-sigmoid Transfer Function กับแบบ Tan-sigmoid Transfer Function ในที่นี้เลือกใช้ฟังก์ชัน Log-sigmoid Transfer Function เนื่องจากให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลชุดฝึกฝนมากกว่า

5.3 การใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ

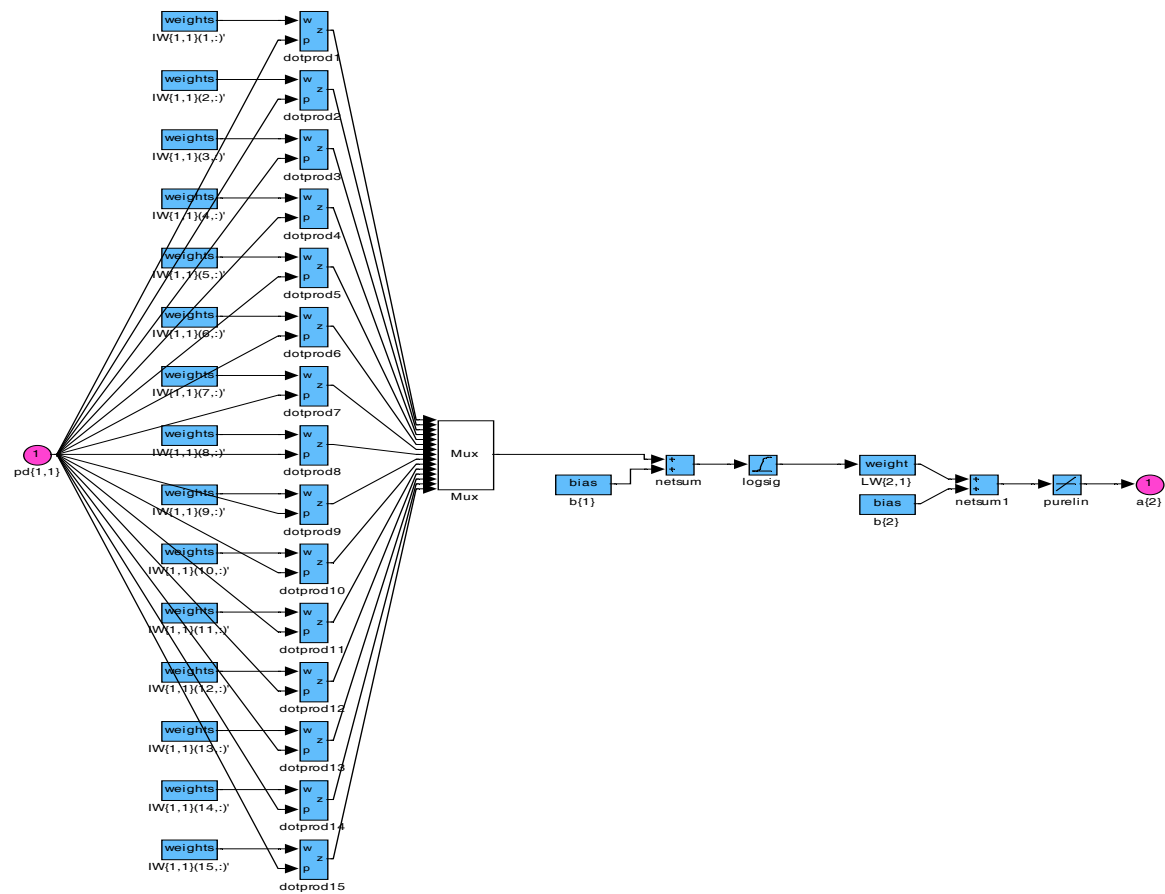
จากโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 5.1 และ 5.2 เมื่อนำมาใช้ทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงของข้อมูลชุดทดสอบในแต่ละการ

ทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายของทั้ง 5 การทดลอง พบว่าการทดลองที่ 4 ให้ผลการทำนายที่มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมากที่สุด ดังตารางที่ 23 ดังนั้นจึงเลือกค่าน้ำหนักและค่า Bias จากโครงข่ายประสาทเทียมในการทดลองที่ 4 ซึ่งมีค่าน้ำหนักและค่า Bias หลังการฝึกฝน ดังตารางผนวกที่ ข1 และ ข2

ตารางที่ 23 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบของข้อมูลชุดทดสอบเมื่อใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าน้ำหนักและค่า Bias ต่างกัน

การทดลองที่	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลชุดทดสอบ
1	65.00
2	65.00
3	65.00
4	75.00
5	60.00

จากผลการฝึกฝนและทดสอบการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. โครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบในประเทศไทยเริ่มจากเกษตรกรส่งต่อไปยังผู้รวบรวมผลผลิต โรงกะเทาะเปลือก โรงงานอุตสาหกรรม ผู้จัดจำหน่าย ตลาดค้าส่ง ตลาดค้าปลีก ผู้ใช้ และผู้บริโภค ซึ่งมีลักษณะเป็นเครือข่าย

2. วิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงและโรงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบที่สุ่มจากตลาดค้าปลีกในเขตกรุงเทพฯ ได้ โดยโอกาสในการพบตัวอย่างถั่วลิสงมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่า 20 ppb ของถั่วลิสงก่อนคัดเลือกคุณภาพเท่ากับ 64.10% และเมื่อคัดเลือกคุณภาพแล้วโอกาสในการพบตัวอย่างถั่วลิสงมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินมากกว่า 20 ppb เหลือเพียง 36.57%

3. วิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงสำหรับการแปรรูปเพื่อการบริโภคเริ่มจากการเทถั่วลิสงลงบนพื้นที่ที่มีสีอ่อน คัดสิ่งแปลกปลอม เช่น หิน ดิน ออกก่อน จากนั้นก็คัดเลือกถั่วลิสงโดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มของถั่วลิสงที่มีปริมาณอะฟลาทอกซินมากกว่า 20 ppb ได้แก่ ถั่วลิสงเมล็ดเขียว เมล็ดที่มีบาดแผลจากแมลงหรือเครื่องจักร มีเชื้อหุ้มเมล็ดไม่สมบูรณ์ มีสีเข้มมากกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด มีรูปร่างผิดปกติ มีการงอก และมีการปรากฏของเชื้อรา ซึ่งไม่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภคได้ยกเว้นได้ผ่านการทำลายสารพิษก่อน กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มของถั่วลิสงที่มีปริมาณอะฟลาทอกซินน้อยกว่า 20 ppb คือถั่วลิสงที่เมล็ดมีสีเข้มน้อยกว่า 25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด สามารถนำมาผลิตน้ำมันถั่วลิสงได้ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ก่อน หรือใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ในการปลูก และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มของถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ ซึ่งมีปริมาณอะฟลาทอกซิน 0 – 72.55 ppb สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารเพื่อการบริโภคได้

4. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษ อะฟลาทอกซินคือโครงข่ายที่ใช้รูปแบบการฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น ประกอบด้วยหน่วยประสาท 15 หน่วยในชั้นซ่อน และใช้ฟังก์ชันการเปลี่ยนก่อนชั้นซ่อนแบบ Log-Sigmoid Transfer Function มีฟังก์ชันการเปลี่ยนหลังชั้นซ่อนแบบ Linear Transfer Function มีตัวแปรเข้าเป็น อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติและถั่วลิสงที่มี

ลักษณะที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน ความชื้นเฉลี่ยของถั่วลิสงก่อนคัดคุณภาพ ค่าสี L^* , a^* , b^* ของถั่วลิสงที่มีลักษณะปรากฏปกติ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 1 เดือนก่อนการสุ่มตัวอย่างถั่วลิสง และตัวแปรตาม คือระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ 2 ระดับคือต่ำกว่า 20 ppb และมากกว่า 20 ppb ซึ่งสามารถทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบของข้อมูลชุดฝึกฝนได้ถูกต้อง 89.13% และทำนายถูกในข้อมูลชุดทดสอบ 75%

ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงตามลักษณะปรากฏที่ได้นี้ควรมีการเผยแพร่เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทานของถั่วลิสงดิบทุกรายทราบและนำไปใช้เพื่อลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน โดยเฉพาะตั้งแต่ต้นน้ำของห่วงโซ่อุปทานเพื่อลดการปนเปื้อนตั้งแต่แรกเริ่ม

2. การสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงจากตลาดค้าปลีก ไม่ได้คำนึงถึงฤดูกาลการปลูกและการเก็บเกี่ยวของถั่วลิสง ดังนั้นควรมีการวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยนี้ โดยสุ่มตัวอย่างถั่วลิสงให้ครอบคลุมและคำนึงถึงฤดูกาลการปลูกและการเก็บเกี่ยวของถั่วลิสงด้วย

3. การทำนายระดับการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบนั้นควรมีศึกษาถึงปัจจัยอื่นเพื่อใช้เป็นตัวแปรเข้าที่เหมาะสมมากขึ้น และควรการศึกษาการทำนายด้วยแบบจำลองอื่นซึ่งอาจมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เช่น ตรรกศาสตร์คลุมเครือ เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2550. รายชื่อโรงงานอุตสาหกรรม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

แหล่งที่มา: <http://sql.diw.go.th/results1.asp>, 15 กุมภาพันธ์ 2550

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับถั่วลิสง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2550. ข้อมูลสภาพอากาศสถานีดอนเมืองปี 2549-2550. กรมอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพฯ. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

กระทรวงสาธารณสุข. 2529. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2544. ข้อกำหนดวิธีปฏิบัติเพื่อควบคุมการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง: เล่ม 1 การผลิตถั่วลิสงระดับเกษตรกร. มอก. 2070 เล่มที่ 1-2544.

เกสร นุดาลัย. 2526. รายงานความก้าวหน้าปี 2526 งานวิจัยเกี่ยวกับอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง, น. 397-401. ใน อารีย์ วรรณวัฒน์, บรรณาธิการ. งานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 3 ประจำปี 2526. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม, นครปฐม.

คณาธิป พุ่มทอง . 2545. อิทธิพลของขนาดเมล็ดที่มีต่อศักยภาพการให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. 2546. โลจิสติกส์และการจัดการซัพพลายเชน "กลยุทธ์ทำให้ช่วยเหลือประหยัด". พิมพ์ครั้งที่ 1. นั้ฐปรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวและการป้องกันการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง, น. 135-141. ใน สุกัญญา กองเงิน, นันทวรรณ สโรบล, ชุติพย์ ชนะเสนีย์ และ สมศักดิ์ สุริโย, ผู้รวบรวม. **คู่มือวิชาการ เรื่อง อะฟลาทอกซินใน ถั่วลิสง**. บริษัท นวัตกรรมดาการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____, ปิยะ ดวงพัตรา, สุพจน์ เฟื่องฟูพงศ์, วิชัย หฤทัยธนาสันต์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, สุรพล เช้าห้อง, จุฑามาศ ร่มแก้ว และ ปาริชาติ พรหมโชติ. 2542. **ถั่วลิสง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และ เกษตร 1**. เจ พีลัม โพรเซส, กรุงเทพฯ.

_____, ปาริชาติ พรหมโชติ และ ดวงจันทร์ สุประเสริฐ. 2543ก. คุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินระหว่างการเก็บรักษาในเมล็ดถั่วลิสงที่มีขนาดต่างกัน, น. 263-270. ใน รายงานการสัมมนาถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 15. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

_____, ปาริชาติ พรหมโชติ และ ดวงจันทร์ สุประเสริฐ. 2543ข. คุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 และ เกษตร 1 ที่มีระดับการสุกแตกต่างกัน ระหว่างการเก็บรักษา, น. 271-278. ใน รายงานการสัมมนาถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 15. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

_____, ปาริชาติ พรหมโชติ และ ดวงจันทร์ สุประเสริฐ. 2543ค. คุณภาพเบื้องต้นและการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่เก็บไว้ทั้งฝัก, น. 279-286. ใน รายงานการสัมมนาถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 15. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

จินตนา อุปดิสสกุล. 2540. การป้องกันการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซินในอาหารมนุษย์, น. 205-221. ใน สุกัญญา กองเงิน, นันทวรรณ สโรบล, ชุติพย์ ชนะเสนีย์ และ สมศักดิ์ สุริโย, ผู้รวบรวม. **คู่มือวิชาการ เรื่อง อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง**. บริษัท นวัตกรรมดาการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ชูเกียรติ คิตมมงคล. 2547. Food Supply Chain : ยุทธศาสตร์การค้า. **Asia Pacific Food Industry Thailand**. 2004 (July – August): 61-63.

ดวงจันทร์ สุประเสริฐ และ วนิดา ยุธยาติ. 2547. สารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์ระหว่างปีพ.ศ. 2537 – 2545. วารสารอาหาร. 34(1): 30-33.

ทักษิณา ศันสยะวิชัย. 2540. การเขตกรรมและการป้องกันกำจัดอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง, น. 91-102. ใน สุกัญญา กองเงิน, นันทวรรณ สโรบล, ชุติพย์ ชนะเสนีย์ และ สมศักดิ์ สุริโย, ผู้รวบรวม. คู่มือวิชาการ เรื่อง อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. บริษัท นิวธรรมดาการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ธรรมศักดิ์ สมมาตรย์. 2533. สารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง, น.113-133. ใน อารันต์ พัฒโนทัย, บรรณาธิการ. รายงานการสัมมนาถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 9. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นรินทร์ พุ่มดีอิง. 2545. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ และการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นันทพร เจตน์พิพัฒน์พงษ์. 2545. การควบคุมแบบฟิชซ์ล่อจิกสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่เองโดยอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรนาม. 2548. Supply Chain. สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แหล่งที่มา: <http://www.tri.chula.ac.th/twwwroot/word/ word0221.doc>, 3 ตุลาคม 2548.

บุญมี ศิริ. 2540. สารพิษอะฟลาทอกซิน: การปนเปื้อนและการป้องกันในระบบการผลิตและหลังการเก็บเกี่ยวถั่วลิสง, น. 142-154. ใน สุกัญญา กองเงิน, นันทวรรณ สโรบล, ชุติพย์ ชนะเสนีย์ และ สมศักดิ์ สุริโย, ผู้รวบรวม. คู่มือวิชาการ เรื่อง อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. บริษัท นิวธรรมดาการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ประเทืองศรี ลินชัยศรี และ ไพจิตร จันทรวงศ์. 2530. การตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซินและกรดไขมันอิสระที่พบในเมล็ดพืชและพืชน้ำมันเพื่อส่งออก. งานวิจัยเคมีพืชและผลิตภัณฑ์. กองเกษตรเคมี, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ปริศนา สิริอาชา และ ศุภรัตน์ โนมิตเจริญกุล. 2532. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันอะฟลาทอกซิน, น.109-115. ใน กองแผนงานและโครงการพิเศษ. เทคโนโลยีการผลิตถั่วลิสง. กองส่งเสริมพืชพันธุ์ กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.

พวงทอง จรัสรังษิษล และสนั่น จอกลอย. 2525. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการปฏิบัติของกลีกรหลังการเก็บเกี่ยวถั่วลิสง, น. 329-331. ใน อารินต์ พัฒโนทัย, บรรณาธิการ. รายงานการสัมมนาถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 2. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

_____. 2526. การสำรวจการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงของกลีกร, น. 361-369. ใน อารีย์ วรรณวิวัฒน์, บรรณาธิการ. งานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 3 ประจำปี 2526. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม, นครปฐม.

ภูวนาด นนทธี. 2531. ถั่วลิสง. พิมพ์ครั้งที่ 1. เอ็ดดิสัน เพรส โปรดักส์, กรุงเทพฯ.

วราภา มหากาญจนกุล และ สุวรรณา กลัดพันธุ์. 2548. อะฟลาทอกซิน: สารพิษที่พึงระวัง. แหล่งที่มา: http://www.rdi.ku.ac.th/FOODS/Varapa-afatoxin/index_afatoxins.html, 13 พฤษภาคม 2548.

วสุ อมฤตสุทธิ. 2537. คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงเมล็ดยืน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัฒนา อัครเอกดาลิน. 2548. Aflatoxin อะฟลาทอกซิน. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. แหล่งที่มา: <http://www.fda.moph.go.th/fda-net/html/product/other/kbs3/aflatoxin.htm>, 27 มิถุนายน 2548.

วันทนา เลิศศิริวรกุล. 2540. การศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิชัย หฤทัยชนาสนันต์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา จินตนา อุปติสสกุล และ รัตติกรณั์ เสาร์คำ. 2532.

การศึกษาคุณภาพ ถั่วลิสงชุบแป้งทอดที่ขายตามตลาด. , น. 441-444. ใน อารีย์ พัฒโนทัย, โสภณ วงศ์แก้ว, มโนชัย กิริตติกร, บรรยง ทুমแสน, จวงจันทร์ ดวงพัตรา, จินตนา อุปติสสกุล และ สนั่น จอกลอย, บรรณาธิการ. รายงานการสัมมนาถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 8. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

_____. 2546. การใช้ประโยชน์จากถั่วลิสง, น.1-6. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีการแปรรูปถั่วลิสงปลอดสารพิษ Aflatoxin. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

_____ และ เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2546. คุณภาพและมาตรฐานของถั่วลิสงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูป, น.11-13. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีการแปรรูปถั่วลิสงปลอดสารพิษ Aflatoxin. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

_____, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, จวงจันทร์ ดวงพัตรา และ ชงชัย สุวรรณลิขิต. 2550. สองทศวรรษ... งานวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีถั่วลิสงในประเทศไทย พ.ศ.2524-2550. ครั้งที่ 1. ม.ป.ท.

วิทยา สุหฤตดำรง. 2545. การจัดการโซ่อุปทาน. บริษัท เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า, กรุงเทพฯ. แปลจาก Sunil Chopra. 2001. **Supply Chain Management**. Prentice Hill, Inc.

วีระ ภาณุทัตย์. 2545. สถานการณ์ถั่วลิสง, น. 12-24. ใน จวงจันทร์ ดวงพัตรา, บรรยง ทুমแสน, สนั่น จอกลอย, ชัยโรจน์ วงศ์วิวัฒน์ไชย และ วิมลรัตน์ สุกรินทร์, บรรณาธิการ. รายงานการสัมมนาถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 16. โรงพิมพ์พระธรรมจันทร์.

วุฒิสักดิ์ บุตรชนู, สุทธิ สุริยะ, ธนิต โสภโณคร และ ประวิติ ตันบุญเอก. 2540. ปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกเชื้อรา *Aspergillus flavus* และการผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินบนถั่วลิสง. น.131-139.

ใน รายงานผลงานวิจัย ปี 2538 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น (เล่มที่ 1) ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และ พืชอื่นๆ. สถาบันวิจัยพืชไร่, กรมวิชาการเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ศิริวรรณ เสรีรัตน์, สมชาย หิรัญกิตติ, จิรศักดิ์ จิระนันท์, ชวลิต ประภาวนนท์, ณา จันทร์สม และ วลัยลักษณ์ อัคริวงศ์. 2540. การวิจัยตลาด ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. เอ. เอ็น. การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ศุภลักษณ์ กลับน่วม. 2548. เอกสารวิชาการเรื่อง สารพิษจากเชื้อรา (Mycotoxin). กลุ่มงาน ส่งเสริมและพัฒนาการบริการ อารักขาพืช ส่วนบริหารศัตรูพืช สำนักงานพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร.

ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช. 2543. อิทธิพลของฤดูปลูกและอายุเก็บเกี่ยวต่อการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง 3 พันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ฝ่ายสนับสนุนการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม. 2548. ชุดตรวจหาสารพิษจากเชื้อรา “อะฟลาทอกซิน”: ไทยทำ...ไทยใช้...ไทยเจริญ. สรรสาระมาแล้ว. แหล่งที่มา: <http://rde.biotech.or.th/Aflatoxin.pdf>, 13 พฤษภาคม 2548.

สมนึก ตีรโต. 2538. เทคโนโลยีเครือข่ายหน่วยประสาท. น. EE-371-EE-384, ใน รายงานการประชุมใหญ่ทางวิชาการ ประจำปี 18-21 สิงหาคม 2538. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

สมยศ ตั้งเจริญจิตกุล. 2547. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับน้ำแม่น้ำปิง ณ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรเสรีญ เสี่ยงใส. 2543. อิทธิพลของความชื้นเมล็ดเริ่มต้น วิธีการเก็บรักษาและขนาดเมล็ดต่อคุณภาพการเก็บรักษาของเมล็ดถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2549. ถั่วลิสง: เนื้อที่ ผลิต และผลผลิตต่อไร่ เป็นรายภาค ปี 2544-2546. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/statistic/yearbook/2003/Section2/sec2table36.pdf>, 17 กรกฎาคม 2549.

สุกัญญา กองเงิน. 2545. การปลูกถั่วลิสง. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรมส่งเสริมการเกษตร.

_____, ชูทิพย์ ชนะเสนีย์, สมศักดิ์ สุริโย และ ชวาลวุฒ ไชยนิวัด. 2542. การปฏิบัติเพื่อให้ปลอดภัยจากสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. พิมพ์ครั้งที่ 3. แปลน พรินต์. กรุงเทพฯ.

สุทัต ปินตาเสน, เพ็ญแข นาถไทรภพ และทักษิณา ศันสยะวิชัย. 2545. เส้นทางการผลิตและการตลาดถั่วลิสงในภาคเหนือตอนบน, น.25-34. ใน จวงจันทร์ ดวงพัตรา, บรรยง ทุมแสน, สนั่น จอกลอย, ชัยโรจน์ วงศ์วิวัฒน์ไชย และ วิมลรัตน์ ศุกรินทร์, บรรณาธิการ. รายงานการสัมมนาถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 16. โรงพิมพ์พระธรรมจันทร์.

สุธาสิณี อาจิวิชัย. 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงพันธุ์กาศสินธุ์ 1 ต้มบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรพงษ์ มุสิกชาติ. 2548. ถั่วลิสง. สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/newsinfo/AgroMag/issues/582/section5.2.2/index.html>, 17 มิถุนายน 2548.

สุรเวทย์ กฤษณะเสรี. 2540. เครื่องทุ่นแรงสำหรับการผลิตถั่วลิสง, น. 159-169. ใน สุกัญญา กองเงิน, นันทวรรณ สโรบล, ชูทิพย์ ชนะเสนีย์ และ สมศักดิ์ สุริโย, ผู้รวบรวม. คู่มือวิชาการ เรื่อง อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. บริษัท นิเวศธรรมดาการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เสถียร บุญฤทธิ์. 2530. การผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง. กองขยายพันธุ์พืช กรมส่งเสริมการเกษตร,

โสภณ วงศ์แก้ว และ สนั่น จอกลอย. 2542. การปฏิบัติเพื่อให้ปลอดภัยจากสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. พิมพ์ครั้งที่ 3. แปลน พรินต์. กรุงเทพฯ.

อนงค์ ปิณฑวิหค. 2546. สารพิษจากเชื้อรา: อะฟลาทอกซิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อมรา ชินภูติ. 2547. ปัญหาสารพิษ Aflatoxin ในถั่วลิสงและการวิเคราะห์สารพิษ Aflatoxin ในถั่ว
ลิสง, น.14-31. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีการแปรรูปถั่วลิสง
ปลอดสารพิษ Aflatoxin. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

_____ และ ชวเลศ ตรีภานุสวัสดิ์. 2547. คู่มือการใช้ ชุดตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซิน
สำเร็จรูป. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ ชุมชุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

_____, อรุณศรี วงศ์อุไร, รัตนา สุทะยาคม, วิชชุดา รัตนกาญจน์ และจิรากร โกศัยเสวี. 2547.
โครงการทดสอบประสิทธิภาพชุดตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซินสำเร็จรูปเพื่อขยายผล
การใช้งานสู่เกษตรกรและผู้ประกอบการส่งออก, น. 209-220. ใน ผลงานวิจัยเพื่อพิจารณา
เป็นผลงานวิจัยดีเด่น ประจำปี 2547 และผลงานวิจัยโครงการวิจัยระดับดีที่ได้รับการ
สนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านการเกษตรประจำปี 2547. กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อรุณศรี วงษ์อุไร, ปรีศนา เหมสุจิ, ประวิติ ดันบุญเอก และ ดารา พวงสุวรรณ. 2525. งานวิจัยอะ
ฟลาทอกซินในถั่วลิสง กรมวิชาการเกษตร, น.248-250 ใน รายงานการสัมมนาถั่วลิสง
แห่งชาติ ครั้งที่ 2. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

_____. 2540. แอฟลาทอกซินในถั่วลิสง, น. 41-47. ใน สุกัญญา กองเงิน, นันทวรรณ สโรบล,
สุทธิพงษ์ ชนะเสนีย์ และ สมศักดิ์ สุริโย, ผู้รวบรวม. คู่มือวิชาการ เรื่อง อะฟลาทอกซินในถั่ว
ลิสง. บริษัท นิวัตรธรรมดาการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. การสุ่มตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์. ใน เอกสาร
ประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การตรวจวิเคราะห์สารแอฟลาทอกซินในผลิตผล
เกษตรอย่างรวดเร็วโดยใช้ชุดตรวจสอบสำเร็จรูป “DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit”.

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการ
เกษตร. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

อานนท์ วาทยานนท์. 2532. การเขตกรรมถั่วลิสง, น. 74-84. ใน กองแผนงานและโครงการพิเศษ.
เทคโนโลยีการผลิตถั่วลิสง. กองส่งเสริมพืชพันธุ์ กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.

อารีย์ วรรณวุฒิก. 2544ก. ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และละหุ่ง. โรงพิมพ์โชติวงศ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2544ข. ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และละหุ่ง. โรงพิมพ์โชติวงศ์, กรุงเทพฯ. อ้างถึง จวงจันทร
ดวงพัตรา. 2527. รายงานการสัมมนางานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 2. น. 371-377.

_____. 2544ค. ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และละหุ่ง. โรงพิมพ์โชติวงศ์, กรุงเทพฯ. อ้างถึง จวงจันทร
ดวงพัตรา และ คณะ. 2529. รายงานการสัมมนางานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 4. น. 489-496.

_____. 2544ง. ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และละหุ่ง. โรงพิมพ์โชติวงศ์, กรุงเทพฯ. อ้างถึง พวงทอง อัสว
พรรณ. 2530. รายงานการสัมมนางานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 5. น. 533-537.

_____. 2544จ. ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และละหุ่ง. โรงพิมพ์โชติวงศ์, กรุงเทพฯ. อ้างถึง วินิต
ชินสุวรรณ และ คณะ. 2530. รายงานการสัมมนางานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 5. น. 577-581.

Anonymous. 2005. Aflatoxins: Occurrence and Health Risks. **Aflatoxins**. Available Source:
<http://www.ansci.cornell.edu/plants/toxicagents/aflatoxin/aflatoxin.html>, June 20, 2005.

Aven, T. and J.T. Kvaloy. 2002. Implementing the Bayesian Paradigm in Risk Analysis.
Reliability Engineering and System Safety. 78: 195-201.

Beasley, J., D. Jordan, R. Lemon. 2002. Good Manufacturing Practices for Peanut Growing and
Harvesting. **American Peanut Council**. Available Source: [http://www.peanutsusa.com/
documents/2002%20CHAPTER%201%20PEANUT%20GROWING%20AND%20HAR
VESTING.pdf](http://www.peanutsusa.com/documents/2002%20CHAPTER%201%20PEANUT%20GROWING%20AND%20HARVESTING.pdf), June 20, 2006.

- Campbell, A. D., T. B. Whitaker, A. E. Pohland, J. W. Dicken, and D. L. Park. 1986. Sampling, Sample Preparation, and Sampling Plans for Foodstuffs for Mycotoxin Analysis. **Pure & Appl. Chem.** 58(2): 305-314.
- Cho, Hyo-Nam, Hyun-Ho Choi and Yoon-Bae Kim. 2002. A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts. **Reliability Engineering and System Safety.** 78: 173-183.
- Cowart, D. 2002. Good Manufacturing Practices for Peanut Product Manufacturers. **American Peanut Council.** Available Source: <http://www.peanutsusa.com/documents/2002%20GMP%20CHAPTER%207%20PEANUT%20PRODUCT%20MANUFACTURERS.pdf>, June 20, 2006.
- Demuth, H. and M. Beale. 2002. **Neural Network Toolbox for Use with MATLAB for User's Guide.** The Math Works, Inc., The United States. (เอกสาร ไม่ตีพิมพ์)
- Dickens, J. W. and T. B. Whitaker. 1975. Efficiency of Electronic Color Sorting and Hand Picking to Remove Aflatoxin Contaminated Kernels From Commercial Lots of Shelled Peanuts. **Peanut Science.** 2: 45-50.
- 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.
- FAO/WHO. 2001. **CODEX STAN 209.** Volume 1A. Maximum level and sampling plan for total aflatoxins in peanuts intended for further processing.
- Fausett, L. 1994. **Fundamentals of Neural Networks architectures, algorithms, and applications.** Prentice Hall, Inc., New Jersey.

- Gaag, A.M., F. Vos, H.W. Saatkamp, M. Boven, P. Beek and R. B.M. Huirne. 2004. A state-transition model for the spread of Salmonella in the pork supply chain. **Journal of Operational Research**. 156(3): 782-798.
- Galvez, F.C.F., M.L.D.L.Francisco, A.O.Lustre and A.V.A.Resurreccion. 2002. **Control of Aflatoxin in Raw Peanuts through Proper Manual Sorting**. United States Agency for International Development Peanut Collaborative Research Support Program. USA-Philippines. Monograph Ser. no.3.
- Henderson, C.E., W.D.Potter, R.W.McClendon and G.Hoogenboom. 2000. Predicting Aflatoxin Contamination in Peanuts: A Genetic Algorithm/Neural Network Approach. **Applied Intelligence**. 12(2000): 183-192.
- Huwig, A., S. Freimund, O. Kappeli and H. Dutler. 2001. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbent. **Toxicology Letters**. 122(2001): 179-188.
- Hwang, J. and K. Lee. 2005. Reduction of Aflatoxin B1 contamination in wheat by various cooking treatments. **Food Chemistry**. 98(2006): 71-75.
- Jouve, J.-L., E. Nationale and V. de Nantes. 2002. Microbiological risk assessment (MRA): an introduction, pp. 47-63. In Martyn Brown and Mike Stringer, eds. **Microbiological risk assessment in food processing**. CRC Press, Cornwall, England.
- Kulkarni A.D. 2001. Neural Networks Fundamentals, pp. 105-148. In Vincent J., Bernard G. and Michelle V., eds. **Computer Vision and Fuzzy-Neurals Systems**. Prentice Hall PRT, New Jersey.
- Larsen, J.Chr. 2006. Risk Assessment of Chemicals in European Traditional Foods. **Food Science and Technology**. 17 (2006): 471-481.

- Liao, Chung-Min and Chen Szu-Chieh. 2005. A Probabilistic modeling Approach to Assess Human Inhalation Exposure Risks to Airborne Aflatoxin B1 (AFB1). **Atmospheric Environment**. 39 (2005): 6481-6490.
- Linko, S. 1998. Expert systems what can they do for the food industry?. **Trends in Food Science & Technology**. 9(1): 3-12.
- Marin, D.E., I. Taranu, R.P. Bunaciu and D.S. Pascale. 2002. Changes in performance, blood parameters, humoral and cellular immune responses in weaning piglets exposed to low doses of aflatoxin. **Journal Animal Science**. 80(5): 1250-1257.
- Littman, L.M.. 1999. Function Approximationn. **Function Approximation**. Available Source: <http://www.cs.duke.edu/~mlittman/courses/cps271/lect-01/node21.html>, 10 July 2006.
- Mixon, A.C. and K.M.Rogers. 1975. Factor affecting *Aspergillus flavus* Lk. Ex. Fr. Colonization of resistance and susceptible genotypes of *Arachis hypogaea* L. **Peanut Sci**. 2: 18-22.
- Ortloff, S. 2002. Good Manufacturing Practices for Shelled Goods Cold Storage and Shelled Goods Dry Storage. **American Peanut Council**. Available Source: <http://www.peanutsusa.com/documents/2002%20GMP%20CHAPTER%205%20SHELL%20GOOD%20COLD%20STORAGE.pdf>, June 20, 2006.
- Park, Douglas L. 2002. Effect of Processing on Aflatoxin, pp. 173-179. *In* Jonathan W. DeVries, Mary W. Trucksess and Lauren S. Jackson, eds. **Mycotoxins and Food Safety**.
- Patterson, D.W. 1996. **Artificial Neural Networks: Theory and Application**. Prentice Hall, Inc., Singapore.

Paustenbach, Dennis J. 2002. Hazard Identification, pp. 85-150. *In* Dennis J. Paustenbach, ed.

Human and ecological risk assessment: theory and practice. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.

Phillips, T.D. 1999. Dietary Clay in the Chemoprevention of Aflatoxin-Induced Disease.

Toxicological Sciences. 52(2): 118-126.

Ross, T. and J. Summer. 2002. A Simple, Spreadsheet-bases, Food Safety Risk Assessment

Tool. **Journal of Food Microbiology.** 77 (2002): 39-53.

Ross, T.J. 1995. **Fuzzy Logic with Engineering Applications.** McGraw – Hill, United States of America.

_____. 2004. **Fuzzy Logic with Engineering Applications.** 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Samarajeewa, U. 1991. *In Situ* Degradation of Mycotoxins by Physical Methods, pp. 785-796.

In John E. Smith, and Rachel S. Henderson, eds. **Mycotoxins and Animal Foods.** CRC Press Inc.,

Sauli, I., J. Danuser, A.H.Geeraerd, J.F.Van Impe, J.Rufenacht, B.Bissig-Choisat, C. Wenk,

W.D.C. Stark. 2005. Estimating the probability and level of contamination with Salmonella of feed for finishing pigs produces in Switzerland-the impact of the production pathway. **Journal of Food Microbiology.** 100 (2005): 289-310.

Sweigart, D. and J. Worsley. 2002. Good Manufacturing Practices Transportation of Shelled

Product. **American Peanut Council.** Available Source: <http://www.peanutsusa.com/documents/2002%20GMP%20CHAPTER%206%20TRANSPORTATION%20OF%20SHELLED%20PRODUCT%20REVISED%20IVY2.pdf>, June 20, 2006.

- Thaksinpattanaphong, P. 2005. **Temperature Prediction of Canned Food During Sterilization Process by Artificial Neural Networks.** The Degree of Master Engineering (Food Engineering) thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- West, D.I. and L.B.Bullerman. 1991. **Physical and Chemical Separation of Mycotoxins from Agricultural Products**, pp. 777-783. *In* John E. Smith and Rachel S. Henderson, eds. **Mycotoxin and Animal Foods.**
- Whitaker, T.B. and E.H. Wiser. 1969. Theoretical Investigation Into the Accuracy of Sampling Shelled Peanuts for Aflatoxin. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 46: 377-379.
- _____, J. W. Dickers, and E. H. Wiser. 1970. Design and Analysis of Sampling Plans to Estimate Aflatoxin Concentrations in Shelled Peanuts. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 47(12): 501-504.
- _____. 2003. Standardisation of Mycotoxin Sampling Procedures: an urgent necessity. **Food Control**. 14(2003): 233-237.
- Wilson, D.M., A.C. Mixon and L.M. Troeger. 1977. Aflatoxin contamination of peanuts resistant to seed invasion by *Aspergillus flavus*. **Phytopathology**. 67(7): 922-924.

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินด้วยชุดตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป

การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินด้วยชุดตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป

(DOA-ELISA TEST KIT)

(อมรา และ ชวเลศ, 2547)

ชุดตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซินประกอบด้วย

1. Micro ELISA plate ที่เคลือบด้วยแอนติบอดีต่อสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 บรรจุในถุงฟอยล์
2. สาร AFB1 มาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 2 และ 5 ppb
3. AFB1-HRP Conjugate
4. Substrate A และ B
5. Stopping Solution (0.3 M Phosphoric acid)
6. Conjugate Buffer
7. Washing Buffer (0.01M PBS + 0.05% tween 20)

หลักการวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบสารพิษอะฟลาทอกซิน

เป็นวิธีการวิเคราะห์ทาง Immunoassay ในรูปแบบแข่งขันแบบตรง (Direct competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) ซึ่งหลักการของการวิเคราะห์คือ อาศัยพื้นฐานของการแข่งขันระหว่างสารพิษในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หรือสารพิษมาตรฐาน โดยสารพิษอะฟลาทอกซินจะถูกสกัดออกมาจากตัวอย่างที่บดละเอียด ด้วยสารละลายเมทานอล อะฟลาทอกซินในสารสกัดที่กรองได้ เรียกว่า สารพิษอิสระ (Free Toxin) จะถูกเอาไปแข่งขันกับสารพิษที่ผูกติดกับเอนไซม์ซีบอก (labeled toxin) ในการที่จะไปเกาะจับกับแอนติบอดีที่เฉพาะเจาะจงที่ถูกเลือกไว้ใน

หุ้ลุมทดสอบ (Microtitration Plate) หลังจากบ่มไว้ประมาณ 30 นาที จึงเทของเหลวในหุ้ลุมทิ้ง แล้วล้างส่วนของสารพิษอิสระ สารพิษที่ผูกติดกับเอนไซม์ซึ่งบอ้ก ส่วนที่ไม่เกาะจับกับแอนติบอดีทิ้งไป

ส่วนของสารพิษที่ผูกติดกับเอนไซม์ซึ่งบอ้กที่เกาะจับอยู่ในภาชนะทดสอบ สามารถประเมินได้โดยการบ่มไว้กับ Substrate ซึ่งจะทำปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจงกับเอนไซม์ชนิดนั้นๆ ความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับ substrate สามารถอ่านได้ด้วยสายตาเปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นกับสารพิษมาตรฐานซึ่งเป็นการอ่านผลแบบคุณภาพ (Qualitative result) หรืออ่านผลแบบปริมาณ (Quantitative result) โดยอ่านความเข้มของสีด้วยเครื่อง Micro ELISA Reader ความเข้มของสีที่เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปฏิกิริยา และมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามเป็นสัดส่วนกับปริมาณสารพิษที่ปนเปื้อนในตัวอย่างนั้นๆ

อุปกรณ์ที่ต้องเตรียม

1. เมทานอล 70%
2. เครื่องบด
3. เครื่องชั่ง
4. เครื่องปั่นน้ำผลไม้ชนิดโถแก้ว หรือ เครื่องเขย่า
5. เครื่องแก้วสำหรับกรอง และเจือจางสารสกัด
6. กระดาษกรองเบอร์ 4
7. ไมโครปิเปตขนาด 50-200 และ 100-1000 ไมโครลิตร พร้อมปิเปตทิป
8. เครื่อง MICRO ELISA Reader อ่านที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. การเตรียม washing buffer นำ washing buffer ในขวดมาเจือจางเป็น 0.01 M PBS-T โดยเติมน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร สำหรับนำไปใช้ในการเจือจางสารสกัดตัวอย่าง และใช้ล้าง Micro ELISA plate เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 °C
2. Mixing substrate solution พร้อมใช้ในการวิเคราะห์
3. สารพิษมาตรฐาน พร้อมใช้ในการวิเคราะห์
4. การเตรียม Enzyme conjugate เติม Conjugate buffer 1 มล. ลงไปในหลอด เอ็นไซม์ คอนจูเกต 1 หลอด เขย่าเล็กน้อยให้เป็นเนื้อเดียวกัน หรือกลับหลอดขึ้นลงให้เข้ากัน ถ้าใช้ไม่หมด ส่วนที่เหลือสามารถเก็บในหลอดเดิมปิดฝาให้สนิทแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 5 °C สำหรับใช้ในครั้งต่อไป ได้ ส่วน enzyme conjugate หลอดที่ยังไม่ได้เจือจางให้เก็บไว้ที่ 0 °C
5. Stopping Solution พร้อมใช้ในการวิเคราะห์

วิธีการสกัดตัวอย่าง

ตัวอย่างที่จะนำมาสกัดเพื่อการวิเคราะห์สารพิษควรเป็นตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มเพื่อให้เป็นตัวแทนที่ถูกต้องของตัวอย่างนั้น ๆ และควรบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำมาสกัด ถ้าตัวอย่างถูกเก็บไว้ในตู้เย็น หรือตู้แช่แข็ง ต้องนำมาวางให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องเสียก่อนจึงจะนำไปสกัดได้ วิธีการสกัดทำได้ 2 วิธีคือ

1. วิธีการสกัดสารพิษจากตัวอย่างพร้อม ๆ กันหลายตัวอย่าง (ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการสกัดแบบนี้)

1.1 ชั่งตัวอย่าง ที่บดละเอียดแล้วปริมาณ 20 กรัม ใส่ใน flask

1.2 เติม 100 มล. ของ 70% เมทานอล ลงใน flask (อัตราส่วนของตัวอย่าง ต่อ 70% เมทานอล= 1:5)

1.3 ปิดปาก flask ด้วยจุกยางหรือแผ่นพาราฟิล์ม แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

2. วิธีสกัดสารพิษจากตัวอย่างครั้งละ 1 ตัวอย่าง

2.1 ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว ปริมาณ 20 กรัม ใส่ลงในเครื่องปั่นน้ำผลไม้

2.2 เติม 100 มิลลิลิตร ของ 70% เมทานอลลงในเครื่องปั่น ปั่นนาน 2-3 นาที

3. การเจือจางสารสกัดตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

ตัวอย่างที่ได้จากการปั่นหรือเขย่า ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที แล้วจึงนำส่วนใสมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 เก็บส่วนที่กรองได้ไว้ในหลอดแก้วที่สะอาดปิดสนิท สารสกัดที่กรองได้นี้จะมีความเข้มข้นเป็น 1:5 เท่า ให้ทำการเจือจางสารสกัดเป็น 1:20 เท่า โดยใช้สารละลาย washing buffer (0.01 M PBS-T) ที่เตรียมไว้แล้วก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยเจือจางในอัตราส่วน 1:3 (สารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรผสมกับสารละลาย 0.01 M PBS-T 3 มิลลิลิตร)

วิธีการวิเคราะห์

1. คำแนะนำก่อนการวิเคราะห์

1.1 ก่อนทำการวิเคราะห์ควรนำสารในชุดตรวจสอบมาวางให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง พร้อมทั้งสารละลายที่ใช้เจือจางสารสกัดตัวอย่าง (0.01 M PBS-T)

1.2 นำเอ็นไซม์ คอนจูเกตออกมาจากช่องแช่แข็ง จำนวนหลอดเท่าที่ต้องการใช้ในแต่ละครั้ง ส่วนที่เจือจางแล้วถ้าใช้ไม่หมดปิดฝาให้สนิทและให้เก็บไว้ที่ 5°C

1.3 นำ Micro ELISA Plate แบบ stripe ออกจากตู้ฟอยด์เท่าที่ต้องการใช้ในแต่ละครั้ง stripe ที่เหลือเก็บไว้ตู้เย็น ที่ 5°C อย่าให้ถูกน้ำ

1.4 เปลี่ยนทิปทุกครั้งที่เปลี่ยนการดูดสารสกัดตัวอย่าง

1.5 การดูดหรือปล่อยสารละลายอย่าให้ปลายทิปสัมผัสกับสารละลายในหลุม หรือ ด้านข้างของหลุมทดสอบ

1.6 ระหว่างขั้นตอนการบ่มแต่ละครั้ง ควรจะบ่มในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง

1.7 ขั้นตอนการล้างเป็นขั้นตอนที่สำคัญ อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ถูกต้อง ดังนั้น ต้องล้างหลุมทดสอบให้สะอาด

1.8 นำชุดตรวจสอบเก็บที่อุณหภูมิ 2-8 °C ทันทีหลังการใช้งาน

1.9 ควรวางแผนการใช้หลุมทดสอบเช่น จำนวนหลุมที่ใส่สารพิษมาตรฐานและ จำนวนหลุมที่ใส่สารสกัดตัวอย่าง หรือ การทำซ้ำ

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์

2.1 วางแผนการใช้หลุมทดสอบในแต่ละ plate หรือ stripe ว่าจะใช้สารพิษมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น และจะใส่สารสกัดตัวอย่างในหลุมใด กรณีที่เป็นชนิด plate หลุมสี่ฟ้าเท่านั้นที่ใช้ทำการวิเคราะห์ได้

2.2 หยดสารพิษมาตรฐานแอฟลาทอกซิน ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (4-5 ความเข้มข้น) ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดสอบ (stripe 8 หรือ 12) หลุมละความเข้มข้น และหยดสารสกัดตัวอย่างที่เจือจางแล้ว ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดสอบที่เหลือ

2.3 หยดเอ็นไซม์ คอนจูเกต ($\text{AFB}_1\text{-HRP conjugate}$) ที่เจือจางใน Conjugate Buffer แล้ว ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ตามลงไปทุกหลุมทดสอบ เขย่าเล็กน้อย แล้วบ่มไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที

2.4 หลังจากครบเวลาการบ่มแล้วเทสารในหลุมทดสอบทิ้งโดยการคว่ำหลุม

2.5 ล้าง หลุมทดสอบโดยเติม washing buffer (PBS-T) ลงในหลุมให้เต็มทุกหลุม แล้วคว่ำทิ้ง ทำการล้างอย่างน้อย 3 ครั้ง

2.6 คว่ำหลุมทดสอบบนกระดาษซับแล้วเคาะให้แห้ง

2.7 หยด Mixing substrate solution ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดสอบทุกหลุม แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 5-10 นาที จะเกิดปฏิกิริยาเป็นสีฟ้า ตามลำดับความเข้มข้นของสารพิษ ตัวอย่างที่มีสีฟ้าเข้มแสดงว่าไม่มีสารพิษหรือมีน้อย และตัวอย่างที่มีสีฟ้าจางหรือขาว แสดงว่ามีสารพิษมาก

2.8 หยุดปฏิกิริยาโดยเติม stopping solution (0.5 M Phosphoric acid) ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดสอบทุกหลุมปฏิกิริยาจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า เป็นสีเหลือง และอ่านค่าความเข้มข้นของสีด้วย Micro ELISA Reader ที่ช่วงความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ควรอ่านปฏิกิริยาภายใน 60 นาที หลังจากหยุดปฏิกิริยา

การคำนวณปริมาณสารพิษในตัวอย่าง

การวิเคราะห์สารพิษด้วยวิธี Competitive ELISA สามารถอ่านได้ทั้งแบบคุณภาพ และปริมาณ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ ความพร้อมของแต่ละห้องปฏิบัติการ และความชำนาญของผู้ปฏิบัติการ ดังนี้

1) การอ่านผลเชิงคุณภาพ (Qualitative Result)

ในการอ่านผลด้วยสายตา สามารถอ่านได้ตั้งแต่ขั้นการบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยานั่นคือ เกิดสีฟ้า ซึ่งสามารถอ่านได้โดยไม่ต้องหยุดปฏิกิริยาด้วย Stopping Solution สามารถอ่านได้จากสีฟ้าทันที โดยการเปรียบเทียบความเข้มของสีฟ้าของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลุมตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์กับความเข้มสีของปฏิกิริยาที่เกิดในหลุมสารพิษมาตรฐาน ซึ่งค่าที่อ่านได้จะบอกเป็นค่าประมาณของสารพิษในตัวอย่างว่ามีปริมาณมากกว่าหรือน้อยกว่าที่กำหนดของสารพิษมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบซึ่งต้องเอามาคูณด้วยจำนวนเท่าที่เจือจางสารสกัดตัวอย่าง (dilution factor) แล้วหรือถ้าสีของปฏิกิริยาเข้มเท่ากับหลุมสารพิษมาตรฐานที่ 0 ppb แสดงว่าไม่มีสารพิษเลย เช่น สารพิษมาตรฐานความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 และ 5 ppb เมื่อคูณด้วย dilution factor 20 จะมีค่าเป็น 0, 2, 4, 10, 20, 40 และ 100 ppb ตามลำดับ ดังนั้นความเข้มข้นของสารพิษในตัวอย่างที่อ่านด้วยสายตาสามารถบอกปริมาณว่ามีปริมาณมากกว่า 10 หรือ 20 หรือ 100 ppb

2) การอ่านผลเชิงปริมาณ (Quantitative Result)

เป็นการอ่านที่สามารถบอกได้เป็นพีพีบี โดยการอ่านความเข้มของสีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance Value) ด้วยเครื่องอ่าน Micro ELISA Reader ที่ช่วงคลื่น 450 นาโนเมตร

นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารพิษมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) โดยการเขียนค่าลงบนกระดาษกราฟ semi-logarithmic ให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน Y และค่าความเข้มข้นของสารพิษมาตรฐานเป็นแกน X ค่าปริมาณสารพิษจากตัวอย่าง สามารถอ่านได้จาก Standard Curve ของ Plate หรือ Stripe เดียวกันเท่านั้น และเนื่องจากการเตรียมตัวอย่างข้างต้นตัวอย่างถูกเจือจางไปเป็น 1:20 ดังนั้นค่าที่ได้ต้องคูณด้วย 20

ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง หรือสารพิษมาตรฐานที่ระดับต่างๆ (B) ในกรณีที่มีการทำซ้ำ และค่าการดูดกลืนแสงของสารพิษมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppb (B_0)
2. คำนวณหาค่า % การดูดกลืนแสง (%Maximal binding) ของสารพิษมาตรฐานแต่ละตัว และของตัวอย่าง ดังนี้

$$\% \text{ Maximal binding} = \frac{B}{B_0} \times 100$$

3. นำค่า % การดูดกลืนแสง (B/B_0) ของสารพิษมาตรฐานทุกความเข้มข้นมาพล็อตกราฟบนกระดาษ semi-logarithmic โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน Y และให้ค่าความเข้มข้นของสารพิษมาตรฐาน (Standard Curve)

นำค่า % การดูดกลืนแสง (B/B_0) ของแต่ละตัวอย่างมาพล็อตลงบนกระดาษกราฟมาตรฐาน บนแกน Y แล้วลากเส้นตรงขนานแกน X มาตัดเส้น Standard Curve ลากเส้นตรงจากจุดตัดลงมาที่แกน X ค่าที่อ่านได้บนแกน X ต้องคูณด้วย 20 ได้เป็นค่าความเข้มข้นของสารพิษในตัวอย่างเป็นปริมาณ ppb ($\mu\text{g/kg}$ หรือ ng/ml) ปัจจุบันได้มีโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถอ่านปริมาณสารพิษเป็น ppb ได้โดยตรง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุดาทิพย์ แซ่ตัน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	28 ตุลาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	