



รายงานฉบับสมบูรณ์

สถานการณ์และการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารพิษเชื้อราอะฟลา
ทอกซินและออกราทอกซินในเครื่องเทศของประเทศไทย

Current Situation of Aflatoxins and Ochratoxin Contamination in
Spices in Thailand Collected by Systematic Approach and Theirs
Risk Assessment

โดย ผศ.ดร. วราภา มหากาญจนกุลและคณะ

พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2560

รายงานฉบับสมบูรณ์

สถานการณ์และการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารพิษเชื้อราอะฟลา
ทอกซินและออกราทอกซินในเครื่องเทศของประเทศไทย

Current Situation of Aflatoxins and Ochratoxin Contamination in
Spices in Thailand Collected by Systematic Approach and Theirs
Risk Assessment

คณะผู้วิจัย		สังกัด
1.	ผศ.ดร. วราภา มหากาญจนกุล	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2.	ดร. สายันต์ รวดเร็ว	สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา
3.	นางสาวจรรณี วงศ์เล็ก	สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา
4.	ดร. ภาคภูมิ คูประเสริฐยิ่ง	โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

เครื่องเทศเป็นส่วนประกอบสำคัญในการประกอบอาหารไทย ส่งผลให้อาหารที่มีรสชาติและสีกลิ่นที่ดึงดูดและน่ารับประทาน หากแต่เครื่องเทศนั้นมีความเสี่ยงในการปนเปื้อนเชื้อราและสารพิษเชื้อรา (mycotoxins) ซึ่งเป็นสารพิษที่ทนความร้อนสูง โดยสารพิษเชื้อราที่มีความเป็นอันตรายต่อมนุษย์มากที่สุดคือ อะฟลาทอกซิน (aflatoxins; AFs) ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ นอกจากนี้ยังมี ออกคราโทกซิน เอ (ochratoxin A; OTA) ซึ่งมีรายงานวิจัยพบว่าอาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ เช่นกัน โดยในต่างประเทศมีรายงานพบการปนเปื้อนเชื้อราทั้ง 2 ชนิดนี้ในเครื่องเทศจำนวนมาก เพื่อสร้างความมั่นใจในข้อกำหนดของไทยเกี่ยวกับระดับความเข้มข้นที่ยอมให้ปนเปื้อนในเครื่องเทศว่าเหมาะสมและปลอดภัยต่อผู้บริโภค จึงได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการปนเปื้อนสารพิษเชื้อราทั้ง 2 ชนิดในเครื่องเทศ เพื่ออธิบายถึงสถานการณ์การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราในเครื่องเทศของประเทศไทย ด้วยการวิเคราะห์ระบบข้อมูลที่รวบรวมแบบอภิมาน

แต่เนื่องจากการสำรวจงานวิจัยของประเทศไทยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติในฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือนั้นพบงานวิจัยเพียง 1 งานวิจัย ประกอบกับงานวิจัยในด้านนี้ไม่มีการกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม จึงไม่สามารถทำการวิเคราะห์เชิงสถิติ และวิเคราะห์อภิมานได้ ในงานวิจัยนี้จึงใช้การตรวจสอบเอกสารอย่างเป็นระบบเพื่อให้สามารถสรุปสถานการณ์การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออกคราโทกซินในเครื่องเทศได้ นอกจากนี้ได้รวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนจากห้องปฏิบัติการที่รับวิเคราะห์สารพิษทั้ง 2 ชนิด เพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงของการบริโภคเครื่องเทศปนเปื้อนสารพิษราที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไธล์ที่ 50 และ 97.5 ของการปนเปื้อนและการบริโภค อ้างอิงใช้ข้อมูลการบริโภคจากฐานข้อมูลของจากสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติปี 2559 พบว่าค่าโอกาสป่วยเป็นมะเร็งจากการบริโภคเครื่องเทศปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน นั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.0001-0.0352 คนต่อปีต่อประชากร 100,000 คน ซึ่งถือว่ามีความเสี่ยงต่ำปลอดภัย เนื่องจากมีค่าต่ำกว่า 1 คนต่อปีต่อประชากร 100,000 คน ในขณะที่การบริโภคเครื่องเทศปนเปื้อนออกคราโทกซิน เอ มีความเสี่ยงอยู่ที่ร้อยละ 49 ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเช่นกันเนื่องจากมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับค่า Tolerable Daily Intake ทั้งนี้เมื่อนำค่าการปนเปื้อนเทียบกับข้อกำหนดของไทยถึงระดับการปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราทั้ง 2 ชนิดพบว่าข้อกำหนดที่กำหนดไว้ยังมีความเหมาะสมเนื่องจากที่ระดับดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงเกินระดับความเสี่ยงที่กำหนดไว้โดย Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) ซึ่งกำหนดการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินไว้ที่ $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ และ ออกคราโทกซินเอ $10 - 20 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราพบได้ในวัตถุดิบทางการเกษตรโดยเฉพาะอาหารที่ลักษณะแห้งรวมไปถึงเครื่องเทศ เครื่องเทศเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรเพื่อใช้ในการปรุงอาหารซึ่งมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเชื้อรา รวมไปถึงสารพิษเชื้อรา มีการรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออกราทอกซิน เอ ในเครื่องเทศของต่างประเทศ โดย อะฟลาทอกซินและออกราทอกซินเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งกับมนุษย์ ในประเทศไทยมีวัฒนธรรมอาหารที่หลากหลายและมีการนำเครื่องเทศมาใช้ในการประกอบอาหาร จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการบริโภคอาหารที่มีการเติมเครื่องเทศ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการประเมินสถานภาพความเสี่ยงเพื่อบ่งบอกสถานการณ์การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราทั้ง 2 ชนิดในเครื่องเทศด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ จากการรวบรวมงานวิจัยขณะนี้ไม่พบงานวิจัยในด้านการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินเอในเครื่องเทศประเทศไทยที่ตีพิมพ์ในฐานข้อมูลนานาชาติในช่วงปี และโดยทั่วไปข้อมูลจากการสำรวจเพื่อการประเมินความเสี่ยงไม่มีการกำหนดตัวแปรควบคุมและตัวแปรตาม จึงไม่สามารถวิเคราะห์ห่อภิมาณได้ จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนเพิ่มเติมและประเมินความเสี่ยงด้วยการใช้ฐานข้อมูลการบริโภคเครื่องเทศจากสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติปี 2559 พบว่าโอกาสป่วยเป็นมะเร็งจากการบริโภคเครื่องเทศที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน อยู่ในช่วงระหว่าง 0.0001 – 0.0352 คนต่อปีต่อประชากร 100,000 คน และ ความเสี่ยงของการบริโภคเครื่องเทศที่ปนเปื้อนออกราทอกซิน อยู่ที่ร้อยละ 0 – 49 แสดงให้เห็นว่าสถานการณ์ปี 2559 – 60 การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราทั้ง 2 ชนิดในเครื่องเทศของประเทศไทยมีความเสี่ยงต่อการบริโภคต่ำถือว่ามีความปลอดภัยต่อการบริโภค รวมไปถึงปริมาณที่กำหนดในกฎหมายยังคงส่งผลให้สถานการณ์มีความปลอดภัยเช่นกัน ถึงแม้ว่าสถานการณ์ปัจจุบันยังคงปลอดภัยแต่งานวิจัยที่เผยแพร่ยังคงมีน้อย จึงควรมีการสนับสนุนการวิจัยเชิงสำรวจและประเมินความเสี่ยงของได้รับสารพิษเชื้อราทั้ง 2 ชนิดในวัตถุดิบชนิดอื่นเพิ่มเติม

Abstract

Contamination of mycotoxins is commonly found in agricultural materials, especially dried foods including spices. Spices are an agricultural raw material for cooking, which has a high risk of fungal contamination as well as mycotoxins. There are reports of contamination of mycotoxins, aflatoxins and ochratoxin A in foreign spices. Aflatoxin and ochratoxin A are carcinogenic and possibly carcinogenic substance to humans. In Thailand, there are various food cultures then spices are used cooking in many dishes. There is a risk of cancer of the diet with added spices. The objective of this research is to assess the risk of aflatoxins and ochratoxin A contamination in spices by systematic review. No publication of contamination of fungi in Thailand spices was found over international databases. Moreover, risk assessment data do not define fix factor and variables thus meta-analysis couldn't be done in this research. Then the risk of spices consumption was determined from collected data and consumption pattern was from database of the National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. The cancer case of spices consumption was estimated at 0.0001 – 0.0352 people per 100,000 populations for aflatoxins and the risk of ochratoxin A was at 0 – 49 percent. The results indicated that contamination situation of aflatoxins and ochratoxin A in spices were still safe for consumers. Besides, the regulation limit at this level is suitable. Although the situation is still safe, the published research is still limited, so it should be supported for the survey and risk assessment research of both mycotoxins in other agricultural material.

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		iii
สารบัญ		iv
สารบัญตาราง		v
สารบัญภาพ		vi
บทที่ 1	บทนำ	
1.1	ชื่อกิจกรรม	1
1.2	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.3	วัตถุประสงค์	2
1.4	ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.5	ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.6	กระบวนการผลักดันผลงานออกสู่การใช้ประโยชน์	7
บทที่ 2	ดำเนินการศึกษาวิจัย	
2.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	8
2.1.1	ขั้นตอนการวางแผน	8
2.1.2	ขั้นตอนการทบทวนวรรณกรรม	8
2.1.3	ขั้นตอนการสังเคราะห์ข้อมูล	9
2.1.4	ขั้นตอนการอธิบายความเสี่ยง	9
บทที่ 3	ผลการศึกษาวิจัย	
3.1	การประมวลผลการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินใน เครื่องเทศ	10
3.1.1	สถานการณ์การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศ	10
3.1.2	การรวบรวมข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินใน เครื่องเทศชนิดต่างๆ	11
3.1.3	การรวบรวมข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนออกราทอกซินในเครื่องเทศ ชนิดต่างๆ	21
3.1.4	ข้อกำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินเอนในประเทศ ต่างๆ	26
3.1.5	ประเมินความเสี่ยงของสารอะฟลาทอกซินและออกราทอกซิน	30
3.1.6	ผลกระทบร่วมอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินต่อสัตว์เลี้ยง	45

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
บทที่ 3	ผลการศึกษาวิจัย (ต่อ)	
	3.1.7 ผลประเมินความเสี่ยงอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆ	46
	3.1.8 ผลประเมินความเสี่ยงสารพิษออคราทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆ	58
บทที่ 4	สรุปผลการศึกษาวิจัย	66
บรรณานุกรม		68
ภาคผนวก		
ก	แบบบันทึกลักษณะงานวิจัย	80
ข	แบบฟอร์มการวิเคราะห์ข้อมูล	82
ค	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ของประชากรไทยที่ช่วงอายุต่างๆ	84
ง	ปริมาณการบริโภคเครื่องแกงแดง	86

สารบัญตาราง

	หัวข้อ	หน้า
ตารางที่ 1	อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญและสร้างสารพิษของเชื้อราชนิดต่างๆ	11
ตารางที่ 2	จำนวนตัวอย่างที่นำวิเคราะห์อะฟลาทอกซินในเครื่องเทศ ในปี 2555 - 59	13
ตารางที่ 3	การปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในตัวอย่างเครื่องเทศในปี 2555 - 2559	14
ตารางที่ 4	จำนวนตัวอย่างปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศในปี 2555-2559	14
ตารางที่ 5	จำนวนตัวอย่างปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน จำแนกตามช่วงปริมาณการปนเปื้อน	15
ตารางที่ 6	จำนวนและชนิดของเครื่องเทศที่ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน	16
ตารางที่ 7	ปริมาณการปนเปื้อนของ อะฟลาทอกซิน และ อะฟลาทอกซินปีวัน เครื่องเทศจากประเทศต่างๆ	18
ตารางที่ 8	เครื่องมือวิเคราะห์อะฟลาทอกซิน	21
ตารางที่ 9	อุณหภูมิและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่เหมาะสมต่อการเจริญและสร้างสารพิษของเชื้อรา	22
ตารางที่ 10	การปนเปื้อนสารพิษออกคราโทกซินเอในตัวอย่างพริกแห้งปี 2559	24
ตารางที่ 11	ปริมาณการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อออกคราโทกซินเครื่องเทศจากประเทศต่างๆ	25
ตารางที่ 12	เครื่องมือวิเคราะห์ออกคราโทกซินในงานวิจัยต่างๆ	26
ตารางที่ 13	ข้อกำหนดค่าการปนเปื้อนสูงสุดที่พบได้ของสารพิษอะฟลาทอกซินรวมในแต่ละประเทศ	27
ตารางที่ 14	ข้อกำหนดค่าการปนเปื้อนสูงสุดที่พบได้ของสารพิษออกคราโทกซินเอในแต่ละประเทศ	28
ตารางที่ 15	คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของอะฟลาทอกซิน	32
ตารางที่ 16	LD50 ของอะฟลาทอกซินปีวันต่อสัตว์สายพันธุ์ต่างๆ โดยวิธีให้ทางปาก	34
ตารางที่ 17	การศึกษาผลของอะฟลาทอกซินปีวันต่อการเกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองชนิดต่างๆ	35

สารบัญตาราง

	หัวข้อ	หน้า
ตารางที่ 18	หลักฐานทางระบาดวิทยาของอะฟลาทอกซินปีวันต่อการเกิดโรคมะเร็งตับในประเทศต่างๆ	36
ตารางที่ 19	คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของออคราทอกซินเอ	39
ตารางที่ 20	LD50 ของออคราทอกซินเอต่อสัตว์สายพันธุ์ต่างๆ	41
ตารางที่ 21	ค่า LOELs และ NOELs สำหรับการก่อให้เกิด karyomegaly และการเกิดมะเร็งของออคราทอกซินเอในหนูแรทและหนูเมาส์เพศผู้	44
ตารางที่ 22	ผลกระทบร่วมอะฟลาทอกซินและออคราทอกซินต่อสัตว์เลี้ยง	46
ตารางที่ 23	ปริมาณการบริโภคฟริกป่นของประชากรไทยในช่วงอายุต่างๆ	48
ตารางที่ 24	ข้อมูลปริมาณการได้รับสัมผัส AFs จากการบริโภคฟริกป่น	49
ตารางที่ 25	จำนวนคนที่จะมีโอกาสป่วยเป็นมะเร็งจากการบริโภคฟริกป่นที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน	50
ตารางที่ 26	ข้อมูลปริมาณการได้รับสัมผัส อะฟลาทอกซิน จากการบริโภคฟริกป่นจากค่าการปนเปื้อนฟริกแห้ง	52
ตารางที่ 27	จำนวนคนที่จะมีโอกาสป่วยเป็นมะเร็งจากการบริโภคฟริกป่นที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน	53
ตารางที่ 28	ข้อมูลปริมาณการได้รับสัมผัส AFs จากการบริโภคเครื่องแกง จากค่าการปนเปื้อนเครื่องแกง	55
ตารางที่ 29	จำนวนคนที่จะมีโอกาสป่วยเป็นมะเร็งจากการบริโภคอาหารชนิดต่างๆ ที่เครื่องแกงปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน	56
ตารางที่ 30	ปริมาณอะฟลาทอกซินที่ส่งผลต่อการเกิดมะเร็งตับ	58
ตารางที่ 31	ข้อมูลปริมาณการได้รับสัมผัสออคราทอกซินเอจากการบริโภคฟริกป่น	60
ตารางที่ 32	ร้อยละความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสออคราทอกซินจากการบริโภคฟริกป่น	61
ตารางที่ 33	ปริมาณการได้รับสัมผัสออคราทอกซินเอจากการบริโภคฟริกแห้งในอาหารแต่ละชนิด	62
ตารางที่ 34	ข้อมูลความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสออคราทอกซินเอจากการบริโภคฟริกแห้งในเครื่องแกงของอาหารแต่ละชนิด	63
ตารางที่ 35	ปริมาณออคราทอกซินที่ส่งผลต่อร้อยละความปลอดภัยในการบริโภค	65

สารบัญภาพ

	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่ 1	ขั้นตอนการวิจัยเพื่อรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ อภิมาน	5
ภาพที่ 2	โครงสร้างของสารอะฟลาทอกซิน	31
ภาพที่ 3	โครงสร้างของออกคราทอกซินเอ	38
ภาพที่ 4	การกระจายตัวของการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกป่นที่ 50th และ 97.5th	47
ภาพที่ 5	การกระจายตัวของการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกแห้งที่ 50th และ 97.5th	51
ภาพที่ 6	การกระจายตัวของการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องแกงที่ 50th และ 97.5th	54
ภาพที่ 7	ปริมาณอะฟลาทอกซิน ($\mu\text{g kg}^{-1}$) ที่ส่งผลต่อการเกิดมะเร็งตับ	57
ภาพที่ 8	การกระจายตัวของการปนเปื้อนออกคราทอกซินเอในพริกแห้งที่ 50th และ 97.5th	59
ภาพที่ 9	ปริมาณออกคราทอกซินต่อร้อยละความเสี่ยงของความปลอดภัยในการ บริโภค	64

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ชื่อกิจกรรม

สถานการณ์การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราอะฟลาทอกซิน และออกคราทอกซินในเครื่องเทศของประเทศ
ไทยและประเมินความเสี่ยง

Current Situation of Aflatoxins and Ochratoxin Contamination in Spices in Thailand
and Theirs Risk Assessment

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราในเครื่องเทศที่ใช้เป็นส่วนผสมและเครื่องปรุงรสในอาหารเป็นประจำเป็นประเด็นความปลอดภัยอาหารที่หลายภาคส่วนตระหนัก เนื่องจากพบข้อมูลการปนเปื้อนทั้งจากการสุ่มตรวจจากหน่วยงานที่รับผิดชอบและจากเอกสารรายงานทั้งในประเทศและต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับประเทศนำเข้าโดยเฉพาะประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปได้กำหนดปริมาณที่ยอมรับได้ในเครื่องเทศที่นำเข้าอย่างเข้มงวด ซึ่งการกำหนดปริมาณสารพิษที่ยอมรับให้บริโภคได้ต่อวัน (Acceptable Daily Intake) ให้พบนั้น บางครั้งไม่เหมาะสมกับบริบทของประเทศแถบร้อนชื้นเช่นประเทศไทย เนื่องด้วยสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยนั้นมีช่วงอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการสร้างสารพิษจากเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* spp. ดังนั้น โอกาสที่เครื่องเทศเหล่านี้หากมีความชื้นเหลืออยู่ก็มีโอกาสที่เชื้อราเจริญและหากเป็นเชื้อราชนิดสร้างสารพิษในเครื่องเทศวัตถุดิบเหล่านั้นก็มีโอกาสที่เครื่องเทศมีสารพิษเชื้อราปนเปื้อนสูง

การที่ผู้บริโภคกังวลอาหารที่ปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราเนื่องจากอะฟลาทอกซินเป็นสารพิษเชื้อราส่งผลให้เกิดมะเร็งในตับ ส่วนออกคราทอกซินก่อให้เกิดพิษต่อไต สารพิษเชื้อราทั้งสองชนิดหากมีการปนเปื้อนในวัตถุดิบ สารพิษไม่สลายตัวได้ง่าย และยังพบในอาหารแปรรูปแม้ผ่านกระบวนการผลิตเช่นการให้ความร้อนก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่มีการเก็บตัวอย่างตรวจสอบจากภายในประเทศ ซึ่งในงานวิจัยเหล่านั้นบางฉบับได้ทำการประเมินความเสี่ยง โดยกำหนดขอบเขตของพื้นที่และกลุ่มประชากร แต่งานวิจัยบางฉบับไม่ได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ และงานวิจัยบางฉบับใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ไม่เป็นมาตรฐานเช่นการตรวจสอบปริมาณสารพิษเชื้อราด้วยชุดทดสอบแบบรวดเร็ว เหล่านี้ทำให้คุณภาพของงานวิจัยแตกต่างกันอย่างมาก ส่งผลให้การอธิบายสถานการณ์การปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราในวัตถุดิบทางการเกษตรเช่นเครื่องเทศมีค่าวิเคราะห์ที่ไม่เที่ยงตรงและลดความน่าเชื่อถือของข้อมูล หากต้องนำมาใช้เพื่อกำหนดปริมาณ เพื่อเสนอเป็นมาตรฐานข้อกำหนดของอาหารในประเทศ จำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ มีการคัดเลือกตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งประสงค์เพื่อรวบรวมงานวิจัยที่มีการวิเคราะห์การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราทั้งสองชนิดในเครื่องเทศของประเทศไทยที่มีข้อมูลคุณภาพเชื่อถือได้ เพื่อวิเคราะห์ถึงสถานการณ์การปนเปื้อนจากในอดีตจนถึงปัจจุบันภายใน 10 ปี (ระหว่างปีพ.ศ. 2549 – 2559) รวมถึงเสนอผลการประเมินความเสี่ยงของสารพิษเชื้อราทั้งสองชนิดในเครื่องเทศบางชนิด เพื่อเป็นประโยชน์ในการกำหนดปริมาณของมาตรฐานอาหารต่อไป

การรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้เป็นการวิจัยข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยหรือข้อมูลทุติยภูมิเพื่อหาข้อสรุปจากงานวิจัยหลายๆเรื่องที่ศึกษาปัญหาวิจัยเดียวกัน วิเคราะห์ผลเพื่อสรุปในเชิงบูรณาการ เดิมมีความตั้งใจที่จะทำการวิเคราะห์ทอสมัน (Meta-analysis) โดยการสังเคราะห์งานวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อนำงานวิจัยซึ่งมีปัญหาดียวกันมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อสังเคราะห์ให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนกว่าผลงานวิจัยในแต่ละเรื่องและสรุปความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ แต่เนื่องจากผลการสำรวจข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราใน

ประเทศนั้นไม่ได้กำหนดปัจจัยแปร เป็นเพียงแค่การสำรวจเพื่อให้ทราบสถานการณ์ความเสี่ยงในเชิงคุณภาพ หรือเป็นเพียงการสังเคราะห์วิเคราะห์ ความต้องการของลูกค้าเพื่อต้องการทราบคุณภาพของสินค้า จึงมีความ จำเป็นต้องเปลี่ยนจากการวิเคราะห์แบบอภิมานเป็นการทบทวนเอกสารอย่างเป็นระบบ

โดยขั้นตอนวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

1. การค้นหารวบรวมงานวิจัย
2. การระบุ จำแนกคุณภาพและตรวจสอบความถูกต้องของงานวิจัย
3. ทำข้อมูลการประเมินความเสี่ยง

ดังที่กล่าวมาแล้วเนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอที่จะวิเคราะห์แบบอภิมาน (Meta-analysis) ในการวิจัย ครั้งนี้จึงเป็นการทบทวนเอกสารอย่างเป็นระบบ เพื่ออธิบายสถานการณ์การปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินและ ออกราทอกซินเอในเครื่องเทศ สรุปลักษณะที่เป็นปัจจุบันและนำเสนอผลของการประเมินความเสี่ยง

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 อธิบายสถานการณ์การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราทั้งสองชนิดในเครื่องเทศของประเทศไทยจาก พ.ศ. 2555 - 2559 ด้วยวิธีการประมวลข้อมูลที่ได้คัดเลือกและมีคุณภาพทางวิชาการ

1.3.2 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินความเสี่ยงเพื่อเสนอการกำหนดปริมาณการปนเปื้อนของเครื่องเทศและ อาหารที่เกี่ยวข้องสำหรับกฎหมายอาหารของไทย

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย (อธิบายถึงขั้นตอนในการวิจัย วิธีการเก็บข้อมูล/สุ่มตัวอย่าง)

การประมวลข้อมูลอย่างเป็นระบบในการวิจัยครั้งนี้ มุ่งรวบรวมงานวิจัยที่มีการวิเคราะห์ตรวจสอบหา อะฟลาทอกซินหรือออกราทอกซินในเครื่องเทศ โดยคัดเลือกรวบรวมงานวิจัยที่มีการวิเคราะห์สารพิษเชื้อราสองชนิด ด้วยวิธีมาตรฐานหรือการใช้ชุดทดสอบที่เชื่อถือได้ มีการเก็บตัวอย่างในประเทศที่ทำการวิจัยนั้น และได้ เผยแพร่เป็นเอกสาร วารสาร หรือ สิ่งตีพิมพ์ต่างประเทศ รวมถึงวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2559

คำจำกัดความของ สมุนไพรและเครื่องเทศ ในที่นี้คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชอาจจะทำให้แห้งแล้วบด หรือไม่ก็ได้ ตัวอย่าง เช่น กะเพรา โหระพา พริก พริกป่น เม็ดยี่ห่วย ออริกาน และผงกระหรี่ เป็นต้น รวมทั้ง ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากเครื่องเทศโดยได้จากการนำเครื่องเทศหลายชนิดมาผสมกัน อาจอยู่ในรูปผงหรือกึ่ง แข็งกึ่งเหลว และปรุงด้วยวัตถุดิบอื่น ตัวอย่างเช่น น้ำพริกแกงได้จากเครื่องเทศแห้ง ผสมกันเพื่อใช้สำหรับปรุง และเพิ่มรสชาติให้อาหาร สำหรับน้ำพริกนั้นสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้ให้คำจำกัดความของ น้ำพริก คือ น้ำพริกแกงชนิดต่างๆ เช่น น้ำพริกแกงเผ็ด น้ำพริกแกงเขียวหวาน น้ำพริกแกง เหลือง น้ำพริกแกง ส้ม หรือเครื่องเทศแห้งผสมสำหรับคลุกเนื้อสัตว์หรือปลา เป็นต้น (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 381, 2559)

Systematic review คือ กระบวนการที่ใช้สำหรับการกำหนด ประเมิน แปลความงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา และมีความเกี่ยวข้องกับสิ่งที่ป็นคำถามต่องานวิจัยที่ต้องการคำตอบ โดยนำเนื้อหา งานวิจัยที่รวบรวมได้เหล่านั้นมาวิเคราะห์หรือสังเคราะห์ เพื่อตอบคำถามการวิจัยที่กำลังสนใจอยู่ การทำ Systematic review นั้นเพื่อนำมาตอบคำถามงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสรุปว่าผลงานวิจัยที่มีอยู่มีข้อดี ข้อด้อย ข้อจำกัดอย่างไร รวมไปถึงเพื่อวิเคราะห์ว่า ในอดีตจนถึงปัจจุบันในการวิจัยด้านนั้นยังขาดอะไรบ้าง เพื่อใช้ในการตอบคำถาม และสามารถงานวิจัยด้านใดต่อได้เพื่อให้สามารถตอบคำถามที่ตั้งขึ้น นอกจากนี้ ลักษณะการทำงานวิจัยทั่วไปที่มีขั้นตอนการทบทวนวรรณกรรม (Review) งานวิจัยที่ผ่านมา แต่ขั้นตอนนี้ไม่สามารถบอกว่าการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่ผ่านมามีความครบถ้วน หรือละเอียดมากพอหรือไม่ ไม่เกิด

ความเอนเอียง (bias) ตามความรู้สึกของผู้อ่านหรือของงาน กล่าวคือ มีโอกาสเกิดอคติขึ้นได้หากขาดความระมัดระวัง โดยสาเหตุหลักของอคติเกิดขึ้นจาก Publication bias กล่าวคือความโน้มเอียงที่ผู้ทำวิจัยหรือบรรณาธิการจะตีพิมพ์ผลงานวิจัยที่ได้ผลลัพธ์ที่ 'ดี' หรือเป็นไปตามสมมุติฐานเท่านั้น ดังนั้น การทำ Systematic review จะสามารถลดความเอนเอียงในการทบทวนวรรณกรรมของงานที่เกี่ยวข้อง และเพื่อให้การทบทวนวรรณกรรมเกิดความถูกต้องมากที่สุด ส่งผลให้ข้อมูลหรืองานวิจัยที่ได้ ข้อดีของการทำ systematic review คือ

- ลดความเอนเอียง (unbiased) ให้ลดน้อยลง
- ให้ข้อมูลข่าวสารที่ค่อนข้างกว้างขวาง และเกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่สนใจมากที่สุด
- สามารถนำไปใช้ในเชิงสถิติ ใช้ร่วมกับสถิติเชิงปริมาณ หรือใช้ร่วมกับ Meta-analysis ได้
- สามารถนำมาเป็นปัจจัยนำเข้า (Input) ให้กับกระบวนการสังเคราะห์งานวิจัยได้

กระบวนการทำ Systematic review ประกอบด้วย 3 ระยะ คือ

1. ระยะของการวางแผน มีขั้นตอน ดังนี้

1.1 เตรียมอุปกรณ์ในการทบทวนวรรณกรรม

1.2 กำหนดคำถามการวิจัย

1.3 กำหนดหลักเกณฑ์ว่า จะมีขั้นตอนในการทบทวนวรรณกรรมอย่างไร โดยใช้ แบบบันทึกลักษณะงานวิจัย และแบบฟอร์มการวิเคราะห์ข้อมูล (เสนอในภาคผนวก ก และ ข)

1.4 ประเมินหลักเกณฑ์ที่สร้างขึ้น มีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด

2. การจัดทำทบทวนวรรณกรรม มีขั้นตอน ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการค้นหา (Search strategy)

2.1.1 กำหนดคำค้นให้ครบถ้วน ในฐานข้อมูลและนอกฐานข้อมูล ทั้งที่เผยแพร่หรือไม่เผยแพร่ กำหนดขอบเขต (ช่วงปี)

2.1.2 ความลำเอียง เอกสารวิจัยส่วนมากจะรายงานผลเฉพาะเชิงบวก ไม่เขียนรายงานผลด้านลบ เพื่อให้ดูว่างานวิจัยนั้นมีคุณภาพหรือเป็นผลสำเร็จ จำเป็นต้องค้นหางานวิจัยทั้งหมดก่อนทั้งที่มีอยู่ในฐานข้อมูลและนอกฐานข้อมูล รวมทั้งงานวิจัยของผู้ที่กำลังศึกษาอยู่

ฐานข้อมูลที่ใช้เพื่อการค้นหางานวิจัย ประกอบด้วย

- ฐานข้อมูลของไทย เช่น Thailist
- ฐานข้อมูลของต่างประเทศ เช่น Science Direct, ISI, Scopus เป็นต้น
- แหล่งการประชุมวิชาการ งานวิจัยที่ไม่ได้ตีพิมพ์หรือจัดเก็บในฐานข้อมูลแหล่งบทความทางวิชาการ เช่น งานประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นต้น

โดยสิ่งที่ต้องระวังในการค้นหางานวิจัยคือ ต้องมั่นใจว่าทำการค้นหาได้ครบถ้วน อาจจำเป็นต้องปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญ หรือทำการค้นหาด้วยกันมากกว่า 1 คน ทำให้สามารถร่วมกันพิจารณาหรืออภิปรายร่วมกัน และควรใช้แหล่งข้อมูลมากกว่า 1 แหล่ง ให้ครบถ้วน หรือเลือกแหล่งข้อมูลที่มีเอกสารหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคำถามการวิจัยมากที่สุดและมีจำนวนบทความมาก ๆ

เมื่อได้ข้อมูลงานวิจัยมาแล้วควรทำการจัดเก็บให้เป็นระบบ หรือนำมาคัดเลือกงานวิจัยโดยใช้แบบฟอร์มที่ได้ออกแบบไว้

2.2 คัดเลือกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคำถามงานวิจัยที่ตั้งไว้

กำหนดเงื่อนไขในการคัดเลือกเพื่อลดอคติที่อาจเกิดขึ้น การเลือกงานมาทั้งหมดก็จะมีระดับของความน่าเชื่อถือ เอกสารควรเป็นรายงานผลจากการวิจัยที่ได้และต้องไม่เกิดจากความความคิดเห็น เนื่องจากไม่มีหลักฐานยืนยันความถูกต้องเพื่อใช้ในการเอาออกหรือคัดออก หลักการเบื้องต้นในการคัดเลือกวิจัย คือ

- พิจารณาเอกสารงานวิจัยทั้งหมดที่หามาได้
- พิจารณาจากชื่อเอกสารงานวิจัยว่า เกี่ยวข้องกับงานมากน้อยเพียงใด
- พิจารณาบทคัดย่อ เกี่ยวข้องกับงานหรือไม่
- ใช้เกณฑ์ที่กำหนดในการพิจารณาคัดเข้าหรือคัดออก

ซึ่งความน่าเชื่อถือของการตัดสินใจเลือกงานวิจัยต้องเกิดจากการคัดเลือกรายงานวิจัย 2 คนขึ้นไปจะพบว่า มีส่วนที่เหมือนกัน ต่างกันหรือคิดตรงกัน ต้องระดมความคิดในกลุ่มว่าที่แตกต่างกันเป็นเพราะสาเหตุใด ต้องหาสาเหตุให้ได้และต้องได้ข้อสรุปออกมาเพื่อรายงานผลการคัดเลือกรายงานวิจัย

2.3 ตรวจสอบคุณภาพของงานวิจัย และเลือกรายงานวิจัยที่มีคุณภาพ

การประมวลข้อมูลอย่างเป็นระบบนั้นในการเลือกรายงานวิจัย ควรมีวิธีการให้คะแนนว่า แต่ละเอกสารงานวิจัยมีคะแนนเท่าไรบ้าง จะสังเคราะห์งานอย่างไร ผลการสังเคราะห์จะบอกว่าในอนาคตจะทำวิจัยในเรื่องใดได้บ้าง โดยใช้แบบตรวจรายการ (Checklist) ควรประกอบด้วย

2.3.1 ความเอนเอียงจากเอกสารงานวิจัย

2.3.2 ความโน้มเอียงจากจากตัวผู้อ่านเอกสารงานวิจัย

การเขียนรายงานในส่วนนี้ควรระบุว่าความเอนเอียงเกิดขึ้นที่จุดใดบ้าง และมีวิธีการลดความเอนเอียงที่เกิดขึ้นได้อย่างไร เช่น ลดโดยการไม่ดูว่าคนแต่งหรือผู้เขียนเป็นใคร

แต่อย่างไรก็ตามในโครงการวิจัยครั้งนี้ไม่สามารถให้คะแนนได้เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่เป็นการสำรวจไม่มีการกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ไม่มีอิทธิพลจากทรีตเมนต์ จึงไม่สามารถให้คะแนน นอกจากประเมินว่าข้อมูลน่าเชื่อถือหรือได้จากประสบการณ์ของคณะผู้วิจัย

2.4 การสกัดข้อมูล เป็นการดึงข้อมูลที่สำคัญๆ ออกมา

พิจารณาว่าข้อมูลอะไรบ้างที่สำคัญ รวมไปถึงวัตถุประสงค์การวิจัย ต้องการหาอะไร ต้องการอะไร ต้องพิจารณาให้ครอบคลุมทุกด้าน ซึ่งในกระบวนการนี้สิ่งที่ต้องระวังคือ ทุกคนในทีมต้องทำทุกเอกสารวิจัย คือ ถ้ามีงานวิจัยจำนวน 36 เอกสารงานวิจัย มีผู้อ่าน 2 คน ต้องอ่านคนละ 36 เอกสารวิจัย เพื่อดูข้อสรุปทั้งส่วนที่เหมือนกันและส่วนที่มีความแตกต่างกันหรือขัดแย้งกัน ผู้อ่านทั้งทีม (อย่างน้อย 2 คน) ได้ประชุมและร่วมกันอภิปรายเพื่อหาข้อสรุป (แต่หากเป็นงานเดี่ยวแต่มีหลายเอกสารวิจัยให้อ่านดูว่า เอกสารวิจัยฉบับใดให้ข้อมูลได้ครบถ้วนที่สุดหรือชัดเจนมากที่สุด ที่เหลือคัดออกไป) กรณีที่เอกสารวิจัยผ่านการคัดเลือกเข้ามาแล้ว แต่พบว่ามีข้อมูลบางส่วนขาดหรือหายไป อาจจะต้องติดต่อกับผู้เขียนเพื่อให้ได้ข้อมูลมาเพิ่มเติม

2.5 การสังเคราะห์ข้อมูล มี 5 แบบ

2.5.1 อธิบาย พรรณนา อธิบายข้อมูลที่เราศึกษาและสังเคราะห์ออกมาได้ ข้อมูลที่ดึงออกมาต้องตอบคำถามการวิจัยแต่ละข้อได้ทั้งหมดครบถ้วน

2.5.2 ใช้สถิติเชิงปริมาณทุกอย่างมองเป็นตัวเลข (มีความยากมาก) เช่น Meta-Analysis

2.5.3 ใช้สถิติเชิงคุณภาพการบรรยายมี 3 แบบ

- ผลของข้อมูลที่สังเกตออกมาไปในทิศทางเดียวกันหมด ไม่มีข้อขัดแย้งกัน
- มีบางเอกสารวิจัยขัดแย้งกัน ระหว่างผลการวิจัยหาข้อสรุป

■ เปิดประเด็นในการโต้แย้ง ต้องมีผลของความขัดแย้ง ความเกี่ยวข้องของเอกสารวิจัย กับงานของเรามีอย่างน้อยเพียงใด นำไปวิเคราะห์ในเชิงลึกได้อาจจะได้อีก 1 เอกสารวิจัย

2.5.4 ผสมกันระหว่างเชิงปริมาณ และคุณภาพ

2.5.5 การวิเคราะห์ตัวแปรว่ามีความไวหรือไม่

วิธีการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวมข้อมูล ทำการสรุปข้อมูลยังไม่ใช่การรายงานผล เป็นแค่การสังเคราะห์ข้อมูล และอธิบายออกมาให้ได้

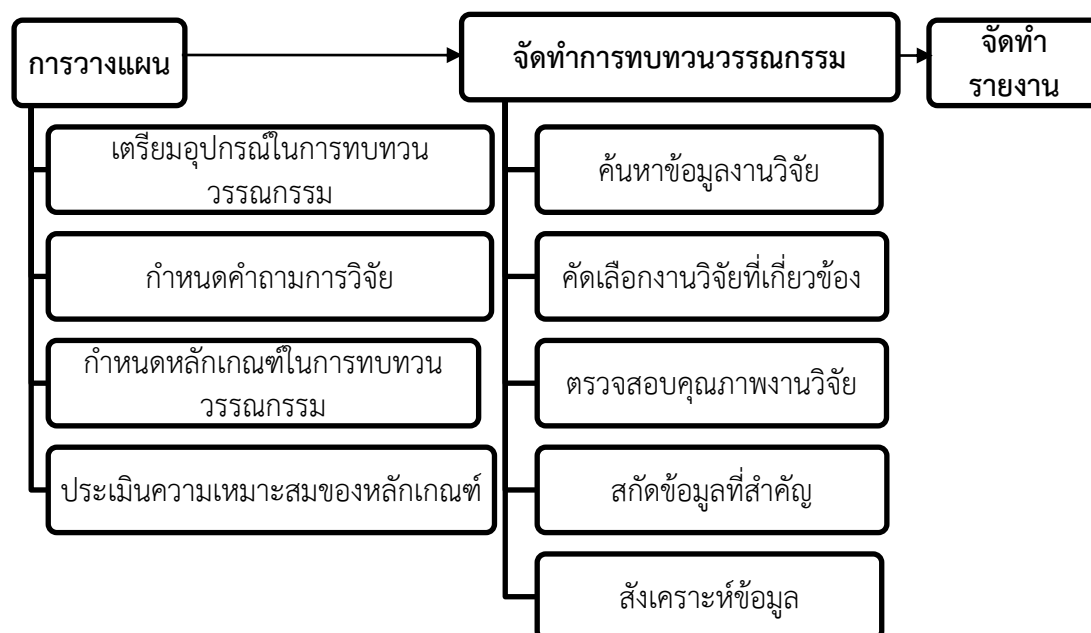
3. การจัดทำรายงาน (Reporting) เขียนรายงาน และการประเมินรายงานที่จัดทำขึ้น ต้องตอบคำถาม งานวิจัยให้ได้ชัดเจนที่สุดและน่าอ่านมากที่สุด โดยมีข้อควรระวัง มี 2 ประการ

3.1 พยายามบันทึกทุกอย่างที่นำมาทำ Systematic Literature Review (SLR) เอาไว้เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องหรือวิเคราะห์อีกครั้ง ถ้ามีข้อคำถามเกิดขึ้นเก็บรายละเอียดของแต่ละ เอกสารวิจัยข้อมูลนำมาใช้ได้กับที่มา/ที่ไป ของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ด้วย

3.2 ทุก ๆ ระยะของการทำ SLR ต้องบันทึกงานของตัวเองไว้ด้วย ตัวอย่าง การค้นครั้งที่ 1 ได้ เอกสารวิจัยอะไร ฐานข้อมูลในการค้นแต่ละครั้งได้จำนวนเอกสารวิจัยเท่าไร (การใช้ Search Strings แต่ละครั้งอาจจะได้ข้อมูลไม่เท่าเดิม เพราะ Search Engine ในแต่ละฐานข้อมูลมีความแตกต่างกัน)

อย่างไรก็ตามในหัวข้อนี้ไม่สามารถจัดทำรายงานในลักษณะของการวิเคราะห์อภิमानได้เนื่องจากใน ขั้นตอนที่ 2.3 และ 2.5 ไม่สามารถเปรียบเทียบข้อมูลเชิงสถิติได้ (เนื่องจากขาดตัวแปรต้น และตัวแปรตาม ส่งผลให้ไม่สามารถหาค่าความแตกต่างของงานวิจัยเพื่อเปรียบเทียบ และสรุปผลได้)

สรุปได้ว่าจากกระบวนการทำ Systematic review ทั้ง 3 ระยะสามารถดำเนินการในหัวข้อที่ 1, 2.1, 2.2 และไม่สามารถทำในหัวข้อที่ 2.5 และ 3 ได้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวิจัยเพื่อรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อภิमान

*กรณีที่สามารถเปลี่ยนการวิเคราะห์งานวิจัยเป็นตัวเลขได้และวิเคราะห์เป็นผลทางสถิติได้จะถือว่าเป็นงานด้าน meta-analysis

การประมวลข้อมูลอย่างเป็นระบบการวิจัยในครั้งนี้ มุ่งรวบรวมงานวิจัยที่มีการวิเคราะห์ตรวจสอบหาอะฟลาทอกซินหรือออกราทอกซินในเครื่องเทศ โดยคัดเลือกงานวิจัยที่มีการวิเคราะห์สารพิษเชื้อราด้วยวิธีมาตรฐานและการใช้ชุดทดสอบ ที่มีการเก็บตัวอย่างในประเทศเผยแพร่เป็นเอกสาร วารสาร หรือ สิ่งตีพิมพ์ต่างประเทศ รวมถึงวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2559 ขั้นตอนการวิจัยแสดงในภาพที่ 1

เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ข้อมูลและงานวิจัยไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์หือมิานได้ และเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์งานวิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนสารพิษเชื้อราในเครื่องเทศมาวิเคราะห์ความเสี่ยงและเสนอแนะค่าระดับการปนเปื้อนระดับต่างๆ เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการกำหนดระดับการปนเปื้อน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิเคราะห์ความเสี่ยง

ประชากรสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ คือข้อมูลการปนเปื้อนของ อะฟลาทอกซินหรือ/และออกราทอกซินในเครื่องเทศที่มีการสุ่มเก็บตัวอย่างเฉพาะภายในประเทศไทยในปี 2555, 2556, 2557 และ 2559 จากผลการวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ ห้องปฏิบัติการกลาง ประเทศไทยจำกัด และ อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร (ปี 2555 – 2557) และรวมทั้งของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับอุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร (2559) ตามลำดับ โดยในรายงานการวิเคราะห์หาสารพิษเชื้อราที่มีการระบุวิธีวิเคราะห์ไว้อย่างชัดเจน การประเมินความเสี่ยงอ้างอิงการเกิดโรคมะเร็งกับมนุษย์เนื่องจากอะฟลาทอกซิน (JECFA, 1998) และเนื่องจากออกราทอกซิน (JECFA, 2007) รวมถึงระบุขอบเขตการเก็บตัวอย่าง คำนวณเป็นค่าร้อยละของความเสี่ยง (%Risk estimated)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ใช้แบบคัดกรองงานวิจัยที่ได้ออกแบบไว้ร่วมกับแบบประเมินคุณภาพงานวิจัยโดยวิธีประชุมให้ความเห็น และทำการบันทึกผลการวิเคราะห์ข้อมูลลงในแบบฟอร์มการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบไปด้วยข้อมูลทั่วไปของงานวิจัยและเนื้อหาสาระของงานวิจัย การควบคุมคุณภาพของเครื่องมือให้ดูความสอดคล้องกันของผู้บันทึก 2 คน หากพบความแตกต่างจะพิจารณาหาความบกพร่องของเครื่องมือและปรับแก้ก่อนนำไปใช้จริง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยง

@Risk software version 4.5 (Palisade, USA)

1.5 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงสถานการณ์การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราในเครื่องเทศที่จำหน่ายและบริโภคในประเทศไทย

1.5.2 ความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินจากการบริโภคเครื่องเทศและปริมาณเสนอการกำหนดการปนเปื้อนเครื่องเทศและอาหารที่เกี่ยวข้อง สำหรับกฎหมายอาหารของไทย

1.5.3 เสนอการกำหนดค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้างจากเชื้อราในเครื่องเทศและอาหาร

1.6 กระบวนการผลักดันผลงานออกสู่การใช้ประโยชน์

เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับเสนอการกำหนดกฎหมายอาหารปริมาณ อะฟลาทอกซินและ ออกคราทอกซิน ตกค้างในเครื่องเทศ ให้แก่ ภาครัฐที่มีหน้าที่กำกับดูแลความปลอดภัยของอาหาร เช่น หน่วยงานสำนัก คณะกรรมการอาหารและยา สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร เป็นต้น

บทที่ 2 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1.1 ขั้นตอนการวางแผน

- การกำหนดคำถามการวิจัย
ในการวิจัยนี้ได้ตั้งคำถามงานวิจัยไว้ว่า สถานการณ์การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินในประเทศไทยมีความเสี่ยงหรือไม่
- การกำหนดหลักเกณฑ์ในการทบทวนวรรณกรรม
ในการสืบค้นงานวิจัยเพื่อนำมาใช้ในการประวิเคราะห์สถานการณ์การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินได้ทำการกำหนดให้สืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูล 5 แห่งที่มีความน่าเชื่อถือ ได้แก่ Science direct, ISI Web of Science, Mycotoxin research, Thai Digital Collection (TDC) และ จากห้องสมุดมหาวิทยาลัย โดยกำหนดสำคัญที่ใช้ในการค้นหา คือ Mycotoxins, aflatoxins, ochratoxin, spices, Thai, Thailand สารพิษเชื้อรา อะฟลาทอกซิน อัลฟาทอกซิน ออกราทอกซิน โอคราทอกซิน เครื่องเทศ ประเทศไทย ไทย ซึ่งค้นหาในทุกรูปแบบ โดยใช้ชื่อสารพิษและเครื่องเทศเป็นหลัก
- ออกแบบเครื่องมือเพื่อใช้คัดกรองงานวิจัยที่ได้ออกแบบไว้ (ภาคผนวก ก)
- ประเมินความเหมาะสมของหลักเกณฑ์ที่กำหนดในข้อที่ผ่านมา
- จัดประชุมเพื่อปรึกษาถึงความเหมาะสมของเกณฑ์หรือฐานข้อมูลที่ใช้ในการค้นหา

2.1.2 ขั้นตอนการทบทวนวรรณกรรม

- ค้นหาข้อมูลงานวิจัย
สืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูลที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้คำสำคัญที่กำหนดในข้อที่ผ่านมา ตัวอย่างการค้นหา เช่น mycotoxin thai เป็นต้น
- คัดเลือกงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
นำงานวิจัยจากขั้นตอนค้นหาข้อมูลงานวิจัยมาคัดเลือก โดยเลือกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการค้นหางานวิจัยนั้น บางงานวิจัยเป็นการปนเปื้อนในวัตถุดิบชนิดอื่นที่ไม่ใช่เครื่องเทศ หรือ คำสำคัญคำว่า สารพิษเชื้อรานั้นอาจเป็นสารพิษเชื้อราชนิดอื่น เช่น ชิราลีโนน เป็นต้น โดยจะเลือกเฉพาะงานวิจัยที่มีรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินหรือออกราทอกซินที่ปนเปื้อนในเครื่องเทศ และคัดแยกงานวิจัยหากมีการระบุว่าเป็นตัวอย่างเครื่องเทศของประเทศไทย
- ตรวจสอบคุณภาพงานวิจัย
ประชุมเพื่อทำการประเมินคุณภาพงานวิจัยด้วยการอ่านงานวิจัย โดยให้ทำความเข้าใจในความตกลงในกรณีที่มีความเห็นไม่ตรงกัน ได้งานวิจัยที่คัดกรองว่าดี คุณภาพดี เชื่อถือข้อมูลได้ ในการตรวจสอบคุณภาพงานวิจัยด้วยแบบคัดกรองงานวิจัยที่ได้ออกแบบไว้ (ภาคผนวก ก) ซึ่งมีการตรวจสอบงานวิจัยอย่างน้อย 2 คน
- สกัดข้อมูลที่สำคัญ
นำงานวิจัยที่ได้มาสกัดข้อมูลที่สำคัญ วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์งานวิจัย ด้วยการอ่านงานวิจัยอย่างละเอียดอีกครั้ง และบันทึกลงในแบบฟอร์มการวิเคราะห์ข้อมูล (ภาคผนวก ข) และทำการตรวจสอบความสอดคล้องกันของการลงข้อมูลของผู้วิจัยอย่างน้อย 2 คน
แบ่งประเภทของงานวิจัยที่ศึกษา ได้แก่ ข้อมูลการสำรวจหรือข้อมูลจากการพัฒนาวิธีวิเคราะห์รวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราในเครื่องเทศแยกประเภทชนิดเครื่องเทศ
แบ่งประเภทของวิธีการสุ่มตัวอย่าง การกำหนดขอบเขตการเก็บตัวอย่าง รวมไปถึงวิธีการวิเคราะห์หา อะฟลาทอกซินหรือ/และออกราทอกซิน

2.1.3 การสังเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาประเมินความเสี่ยง โดยทั่วไปการประเมินความเสี่ยงจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ Hazard identification Dose-response assessment Exposure assessment และ Risk characterization

- Hazard identification ระบุ อะฟลาทอกซิน เป็นสารก่อมะเร็ง ส่วนออกราทอกซิน นั้นเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง โดย International Agency for Research on Cancer (IARC)
- Dose-response assessment เนื่องจากระดับความรุนแรงของการก่อโรค อะฟลาทอกซินไม่มีค่ากำหนดสำหรับ NOAEL เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็งแบบมีพิษต่อพันธุกรรมจึงไม่สามารถระบุปริมาณที่สามารถอนุญาตให้ปนเปื้อนในอาหารได้ ในขณะที่ออกราทอกซิน มีการประเมิน Tolerable Daily Intake (TDI) หรือ ปริมาณที่ยอมให้ปนเปื้อนได้ต่อวัน ไว้ที่ 5 และ 14 ng/kg.bw/day โดย USFDA (JECFA, 2002) และ The European Food Safety Authority (EFSA, 2006) ตามลำดับ

ในขั้นตอนของการได้ประเมินการได้รับสัมผัสสามารถหาได้จากสมการ (Shephard, 2008)

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาณได้รับสัมผัสทั้งหมด (ng kg}^{-1} \text{ body weight day}^{-1}) \\ &= \frac{\text{ปริมาณสารพิษเชื้อราที่ปนเปื้อนในอาหาร (ng g}^{-1}) \times \text{ปริมาณอาหารที่บริโภค (g day}^{-1})}{\text{น้ำหนักตัวของผู้บริโภค (kg.)}} \\ & \text{ปริมาณสารพิษจากเชื้อรา ได้ข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนจากงานวิจัยที่ได้รวบรวมมา} \\ & \text{ส่วนข้อมูลของการบริโภคนั้นจะใช้ฐานข้อมูลของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร} \\ & \text{และอาหารแห่งชาติ} \end{aligned}$$

2.1.4 ขั้นตอนการอธิบายความเสี่ยง

- สำหรับอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินใช้โมเดลของ JECFA (2007) เพื่ออธิบายสถานการณ์และความเสี่ยงของได้รับสารพิษเชื้อราทั้งสองชนิด

บทที่ 3 ผลการศึกษาวิจัย

3.1 การประมวลข้อมูลการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินในเครื่องเทศ

3.1.1 สถานการณ์การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศ

อะฟลาทอกซินเป็นสารเมแทบอลิท์ชนิดทุติยภูมิที่พบว่าผลิตจากเชื้อราสกุล *Aspergillus* spp. โดยเฉพาะ *A. flavus* และ *A. parasiticus* พบปนเปื้อนในวัตถุดิบการเกษตรหลายชนิด ได้แก่ ถั่วลิสง (Kooprasertying *et al.*, 2016) ข้าวกล้อง (Panrapee *et al.*, 2016), เครื่องเทศ (Wirachit and Wiroj, 2003) นอกเหนือจากเชื้อราทั้งสองชนิด ยังพบว่าเชื้อราสายพันธุ์ *A. niger* (Al-Abdalall, 2009) มีรายงานว่าสามารถผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินได้เช่นกัน ในแง่ความปลอดภัยอาหารเป็นที่ตระหนักกันว่าหากเชื้อราเหล่านี้มีโอกาสเจริญในอาหารจะสามารถทำให้อาหารปนเปื้อนสารพิษจากอะฟลาทอกซินได้ องค์การระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer; IARC) ได้จำแนกอะฟลาทอกซินอยู่ใน กลุ่มที่ 1 คือ เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (IARC, 1993) และไม่สามารถกำจัดด้วยความร้อนระดับสูงได้ (Kumar *et al.*, 2017)

การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินมีโอกาสเกิดได้ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูก เก็บเกี่ยว และเก็บรักษา โดยพบว่าเกิดขึ้นได้ในวัตถุดิบการเกษตรหลายชนิด ไม่เพียงแต่ถั่วลิสงยังตรวจพบได้ในข้าว (Nguyen *et al.*, 2007) ข้าวโพด (Chauhan *et al.*, 2016) และพบได้ทั่วทุกภูมิภาคในโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพภูมิอากาศที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง (Adanyi *et al.*, 2007) ประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา วัตถุดิบทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ถั่วลิสง (Pharkpoom *et al.*, 2016) มักถูกรายงานว่าปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน นอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบการเกษตรอื่น เช่น ข้าวกล้อง (Iamtaweejaroen *et al.*, 2016) พริกแห้ง (ชาคริยา และ สุนันทา 2555) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีลักษณะการเก็บรักษาที่แห้ง

เครื่องเทศเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในอาหารไทยเกือบทุกชนิด รายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศ เช่น พริกแห้ง ($5.41 - 100.62 \mu\text{g kg}^{-1}$), พริกป่น ($1.81 - 132.04 \mu\text{g kg}^{-1}$) จำหน่ายในจังหวัดตรัง (ชาคริยา และ สุนันทา, 2555) และ รายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกป่นที่บริโภคในโรงอาหาร (8 โรงอาหาร, 24 ตัวอย่าง) ของสถาบันการศึกษาคือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบปริมาณ $5.32 - 11.14 \mu\text{g kg}^{-1}$ (Dusanee *et al.*, 2016) แสดงให้เห็นว่าอาหารที่บริโภคประจำวันมีโอกาสที่มีอะฟลาทอกซินปนเปื้อนหากเป็นวัตถุดิบบางตัวอย่างมีปริมาณสูงเกิน 20 พีพีบี ตามกฎหมาย จากการตรวจสอบปริมาณอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบของพริกแกงแดงซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบทั้งชนิดแห้งและสดคือ พริกแห้ง, หอมแดง, กระเทียม, ตะไคร้, ข่า, ผิวมะกรูดและน้ำพริกแกงอื่นที่มีการเติมรากผักชี พริกไทย, เมล็ดผักชี, ยี่ห่วยและกระชาย พบการปนเปื้อนเฉลี่ยของอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบแห้งที่เป็นวัตถุดิบหลักคือ ในพริกแห้งเม็ดใหญ่, พริกแห้งเม็ดเล็กและพริกไทย คือ 3.45 ± 2.56 , 3.09 ± 2.26 และ $7.16 \pm 1.71 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตัวอย่างเหล่านี้ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างในตลาดสด 6 เขตในกรุงเทพมหานคร (สายไหม, สัมพันธวงศ์, พญาไท, สวนหลวง, ทวีวัฒนาและบางกอกน้อย) ตามลำดับ (Kongseng 2008) อีกทั้งยังพบรายงานการปนเปื้อนของพริกแห้งของไทยที่วางขายที่ประเทศเบลเยียม ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินปีวัน เกินมาตรฐาน EU ($5 \mu\text{g kg}^{-1}$) จำนวน 2 ตัวอย่างจาก 8 ตัวอย่าง (Yogendrarajah *et al.*, 2014)

3.1.2 การรวบรวมข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆ

อะฟลาทอกซินเป็นสารพิษจากเชื้อรา (mycotoxin) สร้างโดยเชื้อราหลายชนิด แต่เชื้อราที่มักพบสร้างอะฟลาทอกซิน คือ *Aspergillus flavus* และ *A. parasiticus* ซึ่งอาจปนเปื้อนในวัตถุดิบทางการเกษตรทั้งในระหว่างเพาะปลูกและระหว่างเก็บรักษา (Giovati et al., 2015) ซึ่งหากวัตถุดิบการเกษตรนั้นถูกเก็บรักษาในสภาวะที่เอื้อต่อการเจริญของเชื้อรา วัตถุดิบการเกษตรเหล่านั้นสามารถปนเปื้อนอะฟลาทอกซินได้นอกจากอะฟลาทอกซินแล้วยังพบว่ามีสารพิษเชื้อราตัวอื่นๆ เช่น ออกราทอกซิน, ฟูโมนิซิน, ดีออกซินีวาลินอล โดยอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราและสร้างสารพิษแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญและสร้างสารพิษของเชื้อราชนิดต่างๆ

เชื้อรา	ช่วงอุณหภูมิสร้างสารพิษเชื้อรา (°C)				อุณหภูมิเจริญ (°C)
	อะฟลาทอกซิน	ฟูโมนิซิน	ดีออกซินีวาลินอล	ออกราทอกซินเอ	
<i>Aspergillus flavus</i>	33				35
<i>F. verticillioides</i>		15–30			30
<i>F. proliferatum</i>			30		20–22
<i>F. graminearum</i>			26		20–25
<i>A. ochraceus</i>				25–30	30
<i>P. verrucosum</i>				25	26
<i>A. carbonarius</i>			30 ° - มากกว่า 20 °C, 15–20 °C (สายพันธุ์จากประเทศไทย) (สายพันธุ์จากประเทศกรีซ)	25–30 °C. (สายพันธุ์จากประเทศไทย), 30–35 °C	

ที่มา: ดัดแปลงจาก Paterson and Lima (2011)

จากการวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ ห้องปฏิบัติการกลาง ประเทศไทยจำกัด และอุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร จากการรวบรวมข้อมูลผลการวิเคราะห์ในปี 2555, 2556, 2557 และ 2559 พบว่า การปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆ จำนวน 29 ชนิด จำนวน 940 ตัวอย่าง ได้แก่ กระเทียม, กระวานเทศ, กานพลูบ่น, แงตต่างๆ, ขมิ้นผง, ขิงผง, เครื่องแกง, เครื่องเทศบ่น, เครื่องปรุงรส, ซอสพริก, ดอกโป๊ยกั๊ก, ต้นมันบ่น, น้ำพริกเผา, ใบทามบ่น, ใบเสจบ่น, ใบหอมซอยแห้ง, ปาปริกา, ผงกระหรี่, ผักชีฝรั่งอบแห้ง, พริกไทย, พริกบ่น, พริกแห้ง, เมล็ดผักชี, ยี่หระ, โรสเมรี่, ลูกจันทร์เทศ, หอมแดง, อบเชยบ่น, ออริกาโน ดังแสดงในตารางที่ 2 เครื่องเทศและผลิตภัณฑ์ที่กล่าวมามีทั้งที่ผลิตในประเทศและนำเข้า แต่ในที่นี้ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาได้ ทราบแต่เพียงว่าจำหน่ายหรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหาร โดยชนิดในช่วงปี 2555 2556 และ 2559 เครื่องเทศที่ส่งมาตรวจอะฟลาทอกซินมากกว่าชนิดอื่นๆ

ได้แก่ พริกแห้ง (214 ตัวอย่าง), เครื่องแกง (145 ตัวอย่าง) พริกไทย (161 ตัวอย่าง) และพริกป่น (65 ตัวอย่าง) ที่เหลือเป็นชนิดอื่นๆ (264 ตัวอย่าง) ในช่วงปี 2555 2556 และ 2559 ทั้งนี้มีการปนเปื้อนในเครื่องเทศที่ส่งวิเคราะห์ของ 3 ห้องปฏิบัติการ คือ ห้องปฏิบัติการกลาง สถาบันอาหาร และ กระทรวงสาธารณสุข รวม 940 ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน ทั้งสิ้นตั้งแต่ 8.66 – 11.96 % ปริมาณปนเปื้อนอะฟลาทอกซินตั้งแต่ต่ำกว่า 0.2 – 34.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 2 จำนวนตัวอย่างที่นำวิเคราะห์ห่อพลาสติกในเครื่องเทศของประเทศไทย ในปี 2555 - 59

ชนิดเครื่องเทศ	จำนวน (ตัวอย่าง)			
	2555	2556	2557	2559
กระเทียม	12	11	3	46
กระวานเทศ	2	-(a)	4	-(a)
กานพลูป่น	-(a)	1	-(a)	-(a)
แกงต่างๆ	4*	1**	-(a)	-(a)
ขมิ้นผง	1	-(a)	2	23
ขิงผง	-(a)	2	3	-(a)
เครื่องแกง	33	90	22	-(a)
เครื่องเทศป่น	5	3	1	-(a)
เครื่องปรุงรส	5	76	-(a)	-(a)
ซอสพริก	-(a)	10	3	-(a)
ดอกโป๊ยกั๊ก	8	4	1	-(a)
ต้นมันป่น	-(a)	-(a)	3	-(a)
น้ำพริกเผา	-(a)	1	-(a)	-(a)
ใบทามป่น	1	4	2	-(a)
ใบเสจป่น	-(a)	2	1	-(a)
ใบหอมซอยแห้ง	1	-(a)	-(a)	-(a)
ปาริกา	8	3	1	-(a)
ผงกะหรี่	2	1	1	-(a)
ผักชีฝรั่งอบแห้ง	-(a)	1	-(a)	-(a)
พริกไทย	39	35	8	79
พริกป่น	24	25	16	-(a)
พริกแห้ง	87	85	42	-(a)
เมล็ดผักชี	9	6	3	22
ยี่หระ	-(a)	3	-(a)	-(a)
โรสเมรี่	2	-(a)	-(a)	-(a)
ลูกจันทร์เทศ	-(a)	3	-	-(a)
หอมแดง	-(a)	4	2	-(a)
อบเชยป่น	14	8	9	-(a)
ออริกาน	2	2	3	-(a)
รวม	259	381	130	170

หมายเหตุ *แกงพะเนียงกุ้ง, แกงมัสมั่นไก่(2), แกงมัสมั่นหมู, **แกงกะหรี่ไก่ ซึ่งใช้เครื่องเทศ คือ เครื่องแกงเป็นวัตถุดิบหลัก และ -(a) คือ ไม่ได้ส่งตรวจ

ตารางที่ 3 การปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในตัวอย่างเครื่องเทศของประเทศไทย ในปี 2555 - 2559

ปี	จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ส่งวิเคราะห์	ร้อยละที่พบปนเปื้อน
2555	259	11.96 (31*/259)
2556	381	8.66 (33/381)
2557	130	10.29 (14/136)
2559	170	0.59 (1/170)

หมายเหตุ * ตัวอย่างที่ให้ผลบวก กำหนดค่าปริมาณต่ำสุดที่ตรวจพบ (Limit of detection; LOD = $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$) และกำหนดปริมาณต่ำสุดที่รายงานค่าเป็นตัวเลขได้ (Limit of quantitation; LOQ = $0.5 \mu\text{g kg}^{-1}$)

3.1.2.1 การปนเปื้อน AFs ในเครื่องเทศชนิดต่างๆ

ความเข้มข้นของอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนสูงสุดจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนในปี 2555 – 2557 และ 2559 พบสูงสุดในพริกป่น ที่ระดับ $37.43 \mu\text{g kg}^{-1}$ การรวบรวมข้อมูลในช่วงปี (2555 – 2559) รายงานชนิดเครื่องเทศที่พบว่ามีสารปนเปื้อนอะฟลาทอกซินสูงสุดพบทั้งในปี 2555 และ 2556 คือ พริกป่น ดังแสดงในตารางที่ 4 พบการปนเปื้อนสูงสุด ที่ระดับ 37.43 และ $33.64 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ และในปี 2557 คือ พริกแห้ง พบปริมาณสูงสุด $34.95 \mu\text{g kg}^{-1}$ และสำหรับปี 2559 พบการปนเปื้อนเพียง 1 ตัวอย่างเท่านั้น คือ ขมิ้นผง ดังนั้น จากการรวบรวมข้อมูลทั้ง 4 ปี พบว่า พริกแห้งและพริกป่น เป็นชนิดเครื่องเทศที่ควรเฝ้าระวังอุบัติการณ์การปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน เพราะมีการพบการปนเปื้อนอย่างต่อเนื่อง และมีปริมาณการปนเปื้อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเทศชนิดอื่น โดยจำนวนตัวอย่างและความเข้มข้นของเครื่องเทศที่พบว่ามีสารปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ชนิดและจำนวนตัวอย่างเครื่องเทศที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศของประเทศไทย ในปี 2555-2559

ชนิดเครื่องเทศ (จำนวนตัวอย่างทั้งหมด)	จำนวนที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน				รวม (ตัวอย่างที่ ให้ผลบวก/ ตัวอย่าง ทั้งหมด)	ร้อยละ	ช่วงความ เข้มข้น ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
	2555	2556	2557	2559			
ขิงผง (5 ตัวอย่าง)	-	1	1	-	2/5	40	ND – 14.5
เครื่องแกง (145 ตัวอย่าง)	5	4	1	-	10/145	6.9	ND – 20.4
เครื่องปรุงรส (81 ตัวอย่าง)	-	2	-	-	2/81	2.5	ND – 0.34
พริกป่น (65 ตัวอย่าง)	15**	17**	3	-	35/65	54	ND – 37.4
พริกแห้ง (214 ตัวอย่าง)	11	8	9**	-	28/214	13	ND – 34.9
เมล็ดผักชี (40 ตัวอย่าง)	-	1	-	-	1/40	5.6	ND - 2.30
ขมิ้นผง (26 ตัวอย่าง)	-	-	-	1	1/26	3.8	ND - 3.98

*ND = Not detect ($< \text{LOD}$ หรือ $< 0.20 \mu\text{g kg}^{-1}$), ** ชนิดตัวอย่างที่พบรายงานปริมาณอะฟลาทอกซินสูงสุด, - คือ ไม่พบผลบวกในตัวอย่างที่ส่งตรวจ

ตารางที่ 5 ชนิดและจำนวนเครื่องเทศที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน จำแนกตามช่วงปริมาณการปนเปื้อน

ชนิดเครื่องเทศ (จำนวนตัวอย่าง, n)	จำนวนที่ปนเปื้อนในปริมาณ ($\mu\text{g kg}^{-1}$)					
	<ND	ND – 5	>5 – 10	>10 – 15	>15 – 20	>20**
ขิงผง (n = 5)	3	1		1		
เครื่องแกง (n = 145)	135	9				1
เครื่องปรุงรส (n = 81)	79	2				
พริกป่น (n = 65)	30	16	5	3	8	3
พริกแห้ง (n = 214)	186	10	10	4	1	3
เมล็ดผักชี (n = 40)	39	1				
ขมิ้นผง (26 ตัวอย่าง)	25	1				
รวม	497	40	15	8	9	7

*ND (LOD = $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$)

**ค่ามาตรฐานของไทย

เมื่อนำความเข้มข้นของอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในเครื่องเทศ 7 ชนิด พบเครื่องเทศ สามชนิด จำนวน 7 ตัวอย่าง คือ เครื่องแกง พริกป่นและพริกแห้ง ที่เกินมาตรฐานอะฟลาทอกซินในประเทศไทย ($20 \mu\text{g kg}^{-1}$) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ. 2529 และพบว่า 24 ตัวอย่าง เกินมาตรฐานของ EU ($10 \mu\text{g kg}^{-1}$) พบในเครื่องเทศ ได้แก่ ขิงผง (1 ตัวอย่าง), พริกป่น (14 ตัวอย่าง) และพริกแห้ง (8 ตัวอย่าง) อย่างไรก็ตาม ภาพรวมของการปนเปื้อน อยู่ในระดับต่ำกว่า $5 \mu\text{g kg}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในระดับที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินของหลายประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา (AFs = $20 \mu\text{g kg}^{-1}$) ออสเตรเลีย (AFs = $10 \mu\text{g kg}^{-1}$), ญี่ปุ่น (AFs = $10 \mu\text{g kg}^{-1}$) เนเธอร์แลนด์ (AFs = $10 \mu\text{g kg}^{-1}$) เป็นต้น โดยพบว่าจำนวนตัวอย่างที่มีระดับการปนเปื้อนมากกว่าค่ามาตรฐานของไทย คือ 7/497 คิดเป็นร้อยละ 1.4

3.1.2.2 ชนิดเครื่องเทศที่ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลเครื่องเทศ จำนวน 22 ชนิด (364 ตัวอย่าง) ที่ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจากชนิดเครื่องเทศที่ส่งวิเคราะห์ 29 ชนิด (940 ตัวอย่าง) พริกไทย เป็นเครื่องเทศที่ไม่พบอะฟลาทอกซินเป็นจำนวนตัวอย่างมากที่สุด (161 ตัวอย่าง) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของประเทศเกาหลี (Cho et al., 2008) ซึ่งไม่พบการปนเปื้อนในพริกไทยเช่นเดียวกัน (พริกไทยดำ จำนวน 2 ตัวอย่าง) แต่ในทางตรงกันข้าม รายงานของ Kongseng ในปี 2008 พบการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในพริกไทย (ร้อยละ 100) จากการเก็บตัวอย่างพริกไทยในกรุงเทพมหานคร จำนวน 6 ตัวอย่าง ในประเทศตุรกีพบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกไทยดำ ร้อยละ 30.4 (23 ตัวอย่าง) (Ozbey และ Kabak, 2012) และ ร้อยละ 67 (6 ตัวอย่าง) (Tosun และ Arslan, 2013)

ชนิดของตัวอย่างที่ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินรองลงมา คือ อบเชย (31 ตัวอย่าง) และกระเทียม (72 ตัวอย่าง) สอดคล้องกับรายงานของอบเชยที่วางขายในประเทศตุรกี (Ozbey และ Kabak, 2012) และเกาหลี (Cho et al., 2008) ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจากตัวอย่างอบเชย จำนวน 17 ตัวอย่างและ 3 ตัวอย่าง ตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้าม พบในปี 2013 มีรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในอบเชยร้อยละ 100 (5 ตัวอย่าง) จากการรายงานการเก็บตัวอย่างอบเชยในประเทศตุรกี (Tosun และ Arslan, 2013)

ลำดับถัดมาของเครื่องเทศที่ไม่พบว่าเป็นอะฟลาทอกซิน คือ ซอสพริก (13 ตัวอย่าง) แต่พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในซอสพริกที่วางขายในตลาดของประเทศปากีสถาน ร้อยละ 39 (Iqbal et al., 2013) แม้ว่าโป๊ยกั๊ก (13 ตัวอย่าง) จะไม่พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในไทย แต่พบว่ามี การปนเปื้อนในโป๊ยกั๊กของประเทศตุรกี ร้อยละ 67 (6 ตัวอย่าง) เช่นเดียวกับปาปริกา (12 ตัวอย่าง) ที่ไม่พบการปนเปื้อนจากการรวบรวมข้อมูลแต่พบรายงานการปนเปื้อนในประเทศโมร็อกโก ร้อยละ 100 (14 ตัวอย่าง) สำหรับเครื่องเทศชนิดอื่นๆที่ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6 ซึ่งควรจะเฝ้าระวังเนื่องจากมีประวัติพบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในประเทศอื่นๆ

ตารางที่ 6 จำนวนและชนิดของเครื่องเทศที่ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในปี 2555 – 2559

เครื่องเทศ (จำนวนตัวอย่าง)				
แกงต่างๆ (5)	เครื่องเทศป่น (9)	ซอสพริก (13)	อบเชยป่น (31)	พริกไทย (161)
ผงกระหรี่ (4)	ใบทามป่น (7)	ดอกโป๊ยกั๊ก (13)	กระเทียม (72)	
ต้นมันป่น (3)	ออริกาน (7)	ปาปริกา (12)		
ใบเสจป่น (3)	กระวานเทศ (6)			
ยี่หระ (3)	หอมแดง (6)			
ลูกจันทร์เทศ (3)				
โรสเมรี่ (2)				
กานพลูป่น (1)				
น้ำพริกเผา (1)				
ใบหอมซอยแห้ง (1)				
ผักชีฝรั่งอบแห้ง (1)				

3.1.2.3 สถานการณ์การปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน

พริกแห้งจัดได้ว่าเป็นเครื่องเทศที่นิยมนำมาเป็นวัตถุดิบประกอบอาหารในแถบประเทศเอเชีย เช่นเดียวกับประเทศไทย ในปี 2012 พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน ร้อยละ 65 ในพริกแห้งที่วางขายในตลาดของประเทศมาเลเซียในช่วงเดือน พ.ค. – มิ.ย. 2009 ที่ระดับความเข้มข้น $0.2 - 79.7 \mu\text{g kg}^{-1}$ ส่วนใหญ่ พบการปนเปื้อน อะฟลาทอกซินบีวันซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่ร้ายแรงที่สุด ในบรรดา 4 อนุพันธ์ (AFB₁, AFB₂, AFG₁ และ AFG₂) (Jalili และ Jinap, 2012) ผลการสำรวจสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yogendrarajah ในปี 2014 รายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและอะฟลาทอกวินบีวัน ในพริกแห้งที่วางขายในตลาดของประเทศศรีลังกา พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินบีวัน ร้อยละ 77 (จาก 86 ตัวอย่าง) ในบรรดาพริกแห้งนั้นพบว่าร้อยละ 67 ของตัวอย่าง มีปริมาณอะฟลาทอกซินบีวัน เกินมาตรฐาน EU ($5 \mu\text{g kg}^{-1}$) และ ร้อยละ 44 ของตัวอย่าง มีปริมาณอะฟลาทอกซิน (AFs) เกินมาตรฐาน EU ($10 \mu\text{g kg}^{-1}$)

ในประเทศปากีสถานพบรายงานทำนองเดียวกันคือพบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินบีวันในพริกแห้ง 16 ตัวอย่าง จากตัวอย่างทั้งหมด 22 ตัวอย่าง (ร้อยละ 73) และพริกป่น 19 ตัวอย่าง จากตัวอย่างทั้งหมด 22 ตัวอย่าง (ร้อยละ 86.4) ที่ระดับความเข้มข้นอะฟลาทอกซินบีวันเฉลี่ย $24.69 \mu\text{g kg}^{-1}$ และ $32.20 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ จากการสุ่มตัวอย่างพริกแห้งและพริกป่น 44 ตัวอย่างวางขายในประเทศปากีสถาน ช่วงเดือน

มิถุนายน – ธันวาคม 2008 เมื่อวิเคราะห์อะฟลาทอกซินปีวันด้วย HPLC มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.05 และ $0.53 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ ดังแสดงและรวบรวมไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรา AFs และ AFB₁ เครื่องเทศจากประเทศต่างๆ

เครื่องเทศ	จำนวน ตัวอย่าง	อนุพันธ์ ของAFs	จำนวนตัวอย่าง ที่ปนเปื้อน (ร้อยละ)	ความเข้มข้น เฉลี่ย ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	ช่วงความ เข้มข้น ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	ประเทศ	อ้างอิง
พริกแห้ง	9	AFs	9 (100)	47.3	6.8 – 96.20	ปากีสถาน	Russell and
พริกป่น	4	AFs	4 (100)	2.83	0.1 – 6.60		Paterson, 2007
พริกแห้ง	88	AFB ₁	37 (42.04)	17.98	ND – 67.33	ปากีสถาน	Iqbal et al., 2010
พริกป่น	88	AFB ₁	37 (42.04)	20.58	ND – 60.00		
พริกแห้ง	22	AFB ₁	16 (73)	24.7	ND – 96.30	ปากีสถาน	Iqbal et al., 2010
พริกป่น	22	AFB ₁	19 (86.4)	32.2	ND – 89.56		
พริกแห้ง	78	AFs	26 (33)	19.4	ND – 81.50	ปากีสถาน	Iqbal et al., 2011
พริกป่น	78	AFs	31 (40)	21.1	ND – 84.80		
เครื่องเทศท้องถิ่น	18	AFs	12 (66.6)	4.30	ND – 7.46	ปากีสถาน	Hussain et al., 2012
พริกป่น	90	AFs	12 (13.33)	- ^(a)	ND – 97.5	ตุรกี	Erdogan, 2004
พริกป่น	84	AFs	36 (42.9)	- ^(a)	ND – 46.8	ตุรกี	Colek et al., 2006
		AFB ₁	24 (28.57)	- ^(a)	ND – 32.3		
พริกป่น	100	AFB ₁	68 (68)	- ^(a)	ND – 40.9	ตุรกี	Aydin et al., 2007
พริกป่น	75	AFB ₁	72 (96)	- ^(a)	ND – 24.7	ตุรกี	Ardic et al., 2008
พริกป่น	134	AFs	68 (50.74)	- ^(a)	ND – 9.55	ตุรกี	Kursun and Mutlu, 2010
พริกแห้ง	24	AFB ₁	19 (79.2)	2.07	ND – 11.4	ตุรกี	Ozbey and Kabak, 2012
พริกป่น	22	AFB ₁	14 (63.6)	3.26	ND – 35.7		
พริกไทยดำ	23	AFB ₁	7 (30.4)	0.08	ND – 0.42		
ผงยี่ห่วย	19	AFB ₁	4 (21.1)	0.14	ND – 0.88		
ผงอบเชย	17	AFB ₁	- ^(a)	- ^(a)	- ^(a)		
ผงยี่ห่วย	8	AFB ₁	5 (62)	- ^(a)	ND – 26.3	ตุรกี	Tosun and Arslan 2013
มันอบแห้ง	5	AFB ₁	4 (80)	14.7	ND – 16.7		
ใบกระวาน	7	AFB ₁	2 (29)	18.4	ND – 20.3		
โรสแมรี่	6	AFB ₁	3 (50)	6.7	ND – 100		
โหระพาแห้ง	6	AFB ₁	6 (100)	7.5	ND – 18.1		
อบเชย	5	AFB ₁	5 (100)	51.6	ND – 53.0		
เมล็ดป๊อบปี้	7	AFB ₁	3 (43)	2.4	ND – 3.20		
ขิง	4	AFB ₁	3 (75)	16.5	ND – 23.1		
โป๊ยกั๊ก	6	AFB ₁	4 (67)	7.1	ND – 8.40		
ชูแมค	10	AFB ₁	8 (80)	45.8	ND – 52.5		
พริกไทยดำ	6	AFB ₁	4 (67)	27.6	ND – 30.0		
พริกแห้ง	7	AFB ₁	4 (57)	23.4	ND – 30.3		
พริกป่น	8	AFB ₁	6 (75)	41.5	ND – 46.6		
เมล็ดผักชี	2	AFB ₁	1(50)	15.6	-		
พริกไทยดำ	15	AFs	14 (93)	0.21	ND - 0.55	โมร็อกโก	Zinedine et al., 2006
		AFB ₁	7 (47)	0.09	ND – 0.30		

ตารางที่ 7 ปริมาณการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรา AFs และ AFB1 เครื่องเทศจากประเทศต่างๆ(ต่อ)

เครื่องเทศ	จำนวนตัวอย่าง	อนุพันธ์ของAFs	จำนวนตัวอย่างที่ปนเปื้อน (ร้อยละ)	ความเข้มข้นเฉลี่ย ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	ช่วงความเข้มข้น ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	ประเทศ	อ้างอิง
ผงยี่ห่วย	14	AFs	8 (57)	0.05	ND – 0.18		
		AFB ₁	8 (57)	0.03	ND – 0.08		
ขิง	12	AFs	10 (86)	1.47	ND – 9.10		
		AFB ₁	10 (86)	0.63	ND – 3.50		
ปาปrika	14	AFs	14 (100)	5.23	ND – 9.68		
		AFB ₁	14 (100)	2.88	ND – 5.40		
พริกป่น	41	AFs	7 (17)	0.87	ND – 4.66	เกาหลี	Hye Cho et al., 2008
น้ำพริกเกาหลี	15	AFs	2 (13)	0.38	ND – 0.55		
เครื่องแกง	20	AFs	2 (10)	0.30	ND – 0.46		
ขิง	7	AFs	1 (14)	– ^(a)	0.18		
พริกไทยดำ	2	AFs	– ^(a)	– ^(a)	– ^(a)		
ผงอบเชย	3	AFs	– ^(a)	– ^(a)	– ^(a)		
พริกแห้ง	80	AFs	52 (65)	2.06	ND – 79.7	มาเลเซีย	Jilili and Jinap, 2006
		AFB ₁	52 (65)	3.37	ND – 56.6		
		AFB ₂	14 (17.5)	0.09	ND – 1.75		
		AFG ₁	21 (26.3)	0.13	ND – 17.6		
		AFG ₂	3 (3.80)	0.07	ND – 3.20		
พริกแห้ง	18	AFs	7 (39)	46.2	ND – 718	อินเดีย	Yogendrarajah et al., 2014
พริกป่นหยาบ	26	AFs	24 (92)	16.3	ND – 97.4		
พริกป่นละเอียด	42	AFs	35 (83)	6.6	ND – 31.2		
พริกแห้งใหญ่	12	AFs	9 (75)	3.45	ND – 7.24	ไทย	Kongseng, 2008
		AFB ₁	4 (33.3)	1.41	ND – 6.86		
		AFG ₁	5 (42)	2.04	ND – 7.24		
พริกแห้งเล็ก	12	AFs	11 (92)	3.09	ND – 7.16		
		AFB ₁	3 (25)	0.79	ND – 4.42		
		AFG ₁	9 (75)	2.39	ND – 7.16		
พริกไทย	6	AFB ₁	6 (100)	7.16	ND – 9.11		

*–^(a) ไม่พบรายงาน

นอกจากนี้ พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกป่นทางภาคตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศตุรกี จำนวน 12 ตัวอย่าง จาก 90 ตัวอย่าง (ร้อยละ 13.3) ที่ช่วงความเข้มข้น 1.1 – 97.5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Erdogan 2004) อีกทั้งในปี 2006 พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกป่นที่วางขายในตลาดอิสตันบูลของประเทศตุรกี ร้อยละ 36 (84 ตัวอย่าง) ที่ช่วงความเข้มข้น 0.3 – 46.8 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Colek et al., 2006) และพบรายงานการเก็บตัวอย่างพริกป่นในเดือน เมษายน – พฤษภาคม 2004 จำนวน 100 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินปีวัน ร้อยละ 68 และพบว่ากว่าร้อยละ 50 พบ อะฟลาทอกซินอยู่ในช่วง 0.025 – 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Aydin et al., 2007) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยในปี 2008 พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินปีวันในพริกป่น ร้อยละ 96 (72 จาก 75 ตัวอย่าง) ที่ช่วงความเข้มข้น 0.11 – 24.7 $\mu\text{g kg}^{-1}$ และพบว่ามียตัวอย่างพริกป่นที่เกินค่ามาตรฐาน EU ร้อยละ 14 (Ardic et al., 2008)

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างเครื่องเทศในประเทศตุรกี จำนวน 134 ตัวอย่าง พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกป่นหยาบ ($3.55 - 9.55 \mu\text{g kg}^{-1}$), พริกไทยดำ ($0.67 - 6.15 \mu\text{g kg}^{-1}$) และผงขมิ้น ($4.55 - 8.57 \mu\text{g kg}^{-1}$) ซึ่งวิเคราะห์ด้วย ELISA ซึ่งพบการปนเปื้อนสูงสุดใน พริกป่นหยาบ ($9.46 \mu\text{g kg}^{-1}$) (Kurson และ Mutlu 2010) ขณะเดียวกัน พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินรวมและอะฟลาทอกซินบีวันในพริกป่นชนิดแบ่งขาย เก็บตัวอย่างช่วงเดือน กันยายน 2008 – กุมภาพันธ์ 2009 ร้อยละ 17.1 และ ร้อยละ 23.1 ตามลำดับ และพบปริมาณอะฟลาทอกซินสูงสุด $89.99 \mu\text{g kg}^{-1}$ (Set และ Erkmen 2010) ต่อมาในประเทศตุรกี รายงานในปี 2012 พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่าง ได้แก่ พริกป่น, พริกไทยดำ, ผงยี่ห่วยและซินนามอน โดยพบว่าพริกป่นพบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินมากกว่าร้อยละ 50 พบอยู่ในช่วงความเข้มข้น $0.17 - 37.38 \mu\text{g kg}^{-1}$ (Ozbey และ Kabak 2012) พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินบีวันในตัวอย่าง ร้อยละ 62 โดย 15 ชนิดเป็นเครื่องเทศออร์แกนิก (จาก 93 ตัวอย่าง) พบตัวอย่างเกินมาตรฐานของ EU ร้อยละ 44 (Tosun และ Arslan 2013)

ในปี 2006 Zinedine และคณะ รายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและอะฟลาทอกซินบีวันในเครื่องเทศชนิดต่าง ๆ ได้แก่ พริกไทยดำ ผงยี่ห่วย และปาปริกา เครื่องเทศที่พบปริมาณความเข้มข้นอะฟลาทอกซินสูงสุด คือ ปาปริกา ($9.68 \mu\text{g kg}^{-1}$) เช่นเดียวกับกับรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศของประเทศเกาหลี จากการเก็บตัวอย่างเครื่องเทศ (พริกป่น, น้ำพริกเกาหลี, เครื่องแกง, ชিং, พริกไทยดำและอบเชย) ซึ่งพบความเข้มข้นอะฟลาทอกซินสูงสุดใน พริกป่น ($4.66 \mu\text{g kg}^{-1}$) (Cho et al., 2008) ในประเทศมาเลเซียพบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน ในพริกแห้ง จากการสุ่มเก็บตัวอย่างพริกแห้งจำนวน 80 ตัวอย่างในเดือน พฤษภาคม – มิถุนายน 2009 โดยจากการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC พบการปนเปื้อนในทุกอนุพันธ์ของอะฟลาทอกซิน (Jilili and Jinap, 2006) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yogendrarajah และคณะ ในปี 2014 ซึ่งพบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินสูงสุดในพริกแห้ง ($718 \mu\text{g kg}^{-1}$) เช่นเดียวกับประเทศไทย พบรายงานการปนเปื้อนอนุพันธ์ของอะฟลาทอกซินในพริกแห้งใหญ่ พริกแห้งเล็กและพริกไทย (Kongseng, 2008) อีกทั้งยังพบปริมาณอะฟลาทอกซินบีวันสูงสุดในพริกแห้งและพริกป่นคือ 96.3 และ $89.56 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ (Iqbal et al., 2010) ต่อมาในช่วง เดือน มิถุนายน 2008 – มกราคม 2010 พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกแห้งและพริกป่น ในตลาดของเมือง Panjab ประเทศปากีสถาน ร้อยละ 33 และ 40 จากการสุ่มเก็บตัวอย่างพริกแห้ง (78 ตัวอย่าง) และพริกป่น (78 ตัวอย่าง) ซึ่งปริมาณอะฟลาทอกซินปนเปื้อนสูงสุดคือ 81.5 และ $84.8 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ วิเคราะห์ด้วย HPLC ที่มีค่า LOD และ LOQ เท่ากับ 0.05 และ $0.50 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ (Iqbal et al., 2011) อีกทั้ง พบรายงานการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกแห้งและพริกป่นในรถขายอาหารเคลื่อนที่ในประเทศปากีสถาน พบปริมาณอะฟลาทอกซินปนเปื้อน $0.1 - 6.8 \mu\text{g kg}^{-1}$ และ $25.5 - 96.2 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ (Russell และ Paterson 2007) จากการทบทวนเอกสารการวิเคราะห์อะฟลาทอกซินในเครื่องเทศพบว่าเครื่องเทศที่มักพบว่าปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน ความถี่บ่อยครั้งและมีปริมาณสูงกว่าเครื่องเทศชนิดอื่นพบทั้งในประเทศไทยและประเทศอื่น คือ พริกแห้ง

ในเครื่องเทศชนิดอื่นๆ ของประเทศปากีสถานยังพบว่ามีรายงานการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆ (12 ตัวอย่าง) เช่น เมล็ดผักชี, เมล็ดเทียนยาวพาณี (Omum seed) และพริกไทยดำ โดยปริมาณการปนเปื้อนอยู่ในช่วง $1.86 - 7.46 \mu\text{g kg}^{-1}$ และพบเพียง เมล็ดผักชีและเมล็ดเทียนยาวพาณี (Omum seed) เท่านั้น ที่มีค่าเกินมาตรฐานอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศของ EU ($4 \mu\text{g kg}^{-1}$) (Hussain et al., 2012)

ข้อมูลการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินที่รวบรวมไว้ในตารางที่ 7 แสดงให้เห็นถึงสถานการณ์การปนเปื้อนของเครื่องเทศโดยเฉพาะพริกแห้งที่พบว่าเป็นปัญหาอยู่ในหลายประเทศทั่วโลก อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์และเครื่องมือวิเคราะห์สารพิษเชื้อราเป็นสิ่งจำเป็นต่อความถูกต้องและแม่นยำของผลการทดลอง ซึ่งส่วนมากเครื่องมือวิเคราะห์ที่เป็นที่นิยมและสร้างความน่าเชื่อถือ คือ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) รองลงมาคือ ELISA และ TLC ดังสรุปไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เครื่องมือวิเคราะห์อะฟลาทอกซิน

ผู้วิจัย (ปีรายงาน)	สารพิษเชื้อรา	เครื่องมือวิเคราะห์	LOD** ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	LOQ*** $\mu\text{g kg}^{-1}$
Iqbal และคณะ (2010)	AFB ₁	HPLC	0.05	0.53
Iqbal และคณะ 2011	AFB ₁	HPLC	0.05	0.50
Russell และ Paterson (2007)	AFs	HPLC	-	-
Hussain และคณะ (2012)	AFs	TLC	-	-
Erdogan (2004)	AFs	TLC	-	-
Colek และคณะ (2006)	AFs	HPLC	0.02	-
Aydin และคณะ (2007)	AFB ₁	ELISA	0.025	-
Ardic และคณะ (2008)	AFB ₁	ELISA	0.025	-
Kurson และ Mutlu (2010)	AFs	ELISA	0.025	-
Ozbey และ Kabak (2012)	AFB ₁	HPLC	0.05	0.16
Tosun และ Arslan 2013	AFB ₁	ELISA	0.025	-
Zinedine และคณะ (2006)	AFs	HPLC	0.01	0.02
Hye Cho และคณะ (2008)	AFs	HPLC	0.01	0.03
Jilili และ Jinap (2006)	AFB ₁	HPLC	0.02	0.06
	AFB ₂	HPLC	0.02	0.06
	AFG ₁	HPLC	0.10	0.30
	AFG ₂	HPLC	0.06	0.15
Yogendrarajah และคณะ (2014)	AFs	LC-MS	-*	-*
Kongseng 2008	AFB ₁	HPLC	-*	0.30
	AFB ₂	HPLC	-*	0.12
	AFG ₁	HPLC	-*	0.30
	AFG ₂	HPLC	-*	0.11
Koopraser tying และคณะ (2016)	AFB ₁	HPLC	0.093	-*

*ไม่ระบุข้อมูล

**LOD = ปริมาณต่ำสุดที่ตรวจพบ

***LOQ = ปริมาณต่ำสุดที่สามารถรายงานค่าเป็นตัวเลขได้

3.1.3 การรวบรวมข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนออกราทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆ

ออกราทอกซินเอ (Ochratoxin A; ออกราทอกซินเอ) เป็นสารพิษเชื้อราที่พบว่ามีสาเหตุจากเชื้อราจำพวก *Aspergillus* ได้แก่ *A. ochraceus*, *A. carbonarius*, *A. niger* และ *Penicillium* ได้แก่ *Penicillium verrucosum* ชนิดอาหารที่พบว่ามีรายงานการปนเปื้อนบ่อยครั้ง คือ ธัญพืช ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวสาลี ผลไม้แห้ง ไวน์ และกาแฟ สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและผลิตเชื้อราที่สร้างออกราทอกซินเอ นั้นแตกต่างกันไป ขึ้นกับเชื้อราและอาหารแต่ละชนิด (Bui-Klimke and Wu, 2015) ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 อุณหภูมิและค่าออกฤทธิ์แอคทีวิตี้ที่เหมาะสมต่อการเจริญและสร้างสารพิษของเชื้อรา

ชนิดเชื้อราและอุณหภูมิที่เหมาะสม(°C)	ค่าออกฤทธิ์แอคทีวิตี้	ชนิดอาหารที่พบ
<i>A. ochraceus</i> 24 -31 °C (8 - 37 °C)*	0.95 - 0.99	ปลาแห้ง, ถั่วแห้ง, เนื้อตากแห้ง, ถั่วเหลือง, ถั่วชิกพี, เรพซีด, พริกไทย, ผลไม้แห้ง, งา, ถั่ว, ธัญพืช, ข้าว, บาร์เลย์, ข้าวโพด, ข้าวสาลี, เมล็ดกาแฟและรำข้าว
<i>A. carbonarius</i> (32 - 25 °C) (N/D - 40 °C)	0.82	องุ่นและผลิตภัณฑ์จากองุ่น, ไวน์ต่างๆ
<i>A. niger</i> (35 - 37 °C) (6 - 47 °C)	0.77	ถั่ว, แอปเปิ้ล, ลูกแพร์, พืช, พืชตระกูลส้ม, มะเดื่อ, สตอร์เบอร์รี่, มะม่วง, มะเขือเทศ, เมล่อน, หอมใหญ่, กระเทียม, แยม
<i>P. verrucosum</i> 20 °C (0 - 30 °C)	0.80	ธัญพืช, ซีส, ผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูป

ที่มา: JECFA (Joint FAO/WHO Committee On Food Additives (JECFA), 2001).

*ในวงเล็บแสดงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในการเจริญ

3.1.3.1 สถานการณ์การปนเปื้อนออกราทอกซินเอในเครื่องเทศชนิดต่างๆ

เนื่องจากออกราทอกซินเอเกิดการปนเปื้อนโดยทั่วไปพบทั้งในอาหารคนและอาหารสัตว์ รวมทั้งถ่ายทอดไปยังผลิตภัณฑ์จากสัตว์เช่น เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์ ดังนั้นมนุษย์จึงมีโอกาสมากที่จะได้รับสารพิษจากเชื้อรา ออกราทอกซินเอสามารถพบการปนเปื้อนสารพิษนี้ในข้าวโพด ถั่วลิสง ธัญพืชที่เก็บไว้นาน พบในเมล็ดฝ้าย รวมทั้งตรวจพบได้ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแล้ว เช่น เมล็ดกาแฟ ขนบปัง แป้ง ข้าว ข้าวสาลี ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต (JECFA, 2007) การปนเปื้อนในเนื้อสัตว์หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์เกิดจากสัตว์นั้นกินอาหารที่ปนเปื้อนด้วยสารพิษจากเชื้อรากรณีองุ่นและผลิตภัณฑ์ Serra และคณะ (2006) ตรวจสอบการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราออกราทอกซินเอ พบว่ามีการปนเปื้อนในองุ่นสด น้ำองุ่น และไวน์ จากการวิเคราะห์ในองุ่นพันธุ์ Cabernet Sauvignon จากประเทศโปรตุเกส พบว่ามีปริมาณการปนเปื้อนมากถึง 115.6 ug kg^{-1} จากรายงานพบว่าปริมาณเชื้อราที่ปนเปื้อนอยู่ในองุ่นจะเพิ่มปริมาณเพิ่มขึ้นจนกระทั่งองุ่นนั้นสุก โดยเชื้อราที่แยกได้จากองุ่นเหล่านั้นคือ *A. niger* (เช่น *A. niger* and *A. tubingensis*) แต่สายพันธุ์ที่ระบุว่าการสร้างสารพิษออกราทอกซินเอได้ดีคือ *A. carbonarius* (Battilani และ Silva, 2010 และ Barberis *et al.*, 2014) ร้อยละ 100 ของเชื้อราทั้งสองชนิดนี้ที่แยกจากองุ่นเป็นกลุ่มที่สร้างสารพิษออกราทอกซิน (Cabanes *et al.*, 2013; Heenan *et al.*, 1998) ขณะเดียวกันพบรายงานว่าร้อยละ 5 - 10 ของ *A. niger* ที่แยกจากไวน์เท่านั้นที่สร้างออกราทอกซินเอและสร้างได้น้อยกว่า *A. carbonarius* (Bau *et al.*, 2006 และ Battilani *et al.*, 2003)

ในกรณีเมล็ดกาแฟ พบรายงานการปนเปื้อนออกราทอกซินเอในเมล็ดกาแฟ เมื่อตรวจสอบเมล็ดกาแฟที่วางขายในประเทศบราซิล พบออกราทอกซินเอในปริมาณ 3.3 ug kg^{-1} (Clark and Snedeker., 2006) ใน

กลุ่มประเทศอเมริกาใต้ซึ่งผลิตกาแฟขายทั่วโลกตรวจพบปริมาณสารพิษชนิดนี้มากที่สุด คือ 56 ug kg^{-1} ซึ่งเป็นกาแฟจากประเทศ Ivory Coast (Studer-Rohr et al., 2000) และพบในกาแฟคั่วจากประเทศเอธิโอเปีย ในปริมาณ 2.0 ug kg^{-1} (Napolitano et al., 2007) รวมไปถึงในกาแฟผงพร้อมชงจากประเทศบราซิล ซึ่งตรวจพบในปริมาณ 6.29 ug kg^{-1} (Almeida et al., 2007) การกำหนดปริมาณที่ยอมให้มีได้สูงสุดในเมล็ดกาแฟที่ผ่านการแปรรูปมีตั้งแต่ไม่ให้พบจนถึง 50 ug kg^{-1} ขึ้นกับข้อกำหนดของประเทศนั้นๆ

ในบางประเทศที่บริโภคถั่วต่างๆ เป็นอาหารหลัก สามารถได้รับออกคราทอกซินเอผ่านทางกลุ่มอาหารนี้ได้เช่นกัน เนื่องจากออกคราทอกซินเอมักปนเปื้อนในถั่วและนัท โดยเมื่อตรวจสอบออกคราทอกซินเอในถั่ว (peas and beans) จากประเทศสวีเดน พบการปนเปื้อนเท่ากับ 442 ug kg^{-1} หรือเมื่อตรวจสอบในถั่วลิสง (peanut) จากประเทศอาร์เจนตินา ส่วนผลมะกอก (olives) พบในปริมาณ 170 ug kg^{-1} (Clark and Snedeker., 2006, Ghitakou et al., 2006, Magnoli et al., 2006) และเมื่อตรวจสอบการปนเปื้อนออกคราทอกซินในสัตว์ พบว่าเนื้อสัตว์ที่ได้จากการฆ่าสัตว์ในทันทีหลังจากให้ทานอาหารที่ปนเปื้อนด้วยออกคราทอกซินเอสามารถตรวจพบออกคราทอกซินเอได้ แม้วานาไปแปรรูปแล้วก็ยังพบเช่น ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ จำพวกแฮม เบคอน และไส้กรอกมีปริมาณการปนเปื้อนตั้งแต่ 10 ถึงสูงมากคือ 920 ug kg^{-1} (IARC, 1983)

Yogendrarajah และคณะ (2014) ได้ศึกษาปริมาณออกคราทอกซินเอที่ปนเปื้อนในพริกแห้งในประเทศศรีลังกา จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 86 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนออกคราทอกซินเอ ถึง 41% ของตัวอย่างทั้งหมด โดยปริมาณการปนเปื้อนอยู่ในช่วง $< \text{LOQ} - 282 \text{ ug kg}^{-1}$ ($\text{LOQ} = 11 \text{ ug kg}^{-1}$) และจากการสำรวจพริกในประเทศมาเลเซียจำนวน 80 ตัวอย่าง พบว่ามีตัวอย่างพริกปนเปื้อนสารพิษออกคราทอกซินเอ ถึง 65 ตัวอย่าง โดยมีปริมาณการปนเปื้อนอยู่ในช่วง $0.2 - 101 \text{ ug kg}^{-1}$ (Jalili and Jinap, 2012) รวมไปถึงการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษออกคราทอกซินเอในตัวอย่างพริกจากประเทศปากีสถาน พบว่ามีตัวอย่างปนเปื้อนสารพิษออกคราทอกซินเอจำนวน 13 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 80 ตัวอย่าง ปริมาณการปนเปื้อนอยู่ระหว่าง $23 - 94 \text{ ug kg}^{-1}$ (Tahira et al., 2012) แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการปนเปื้อนของออกคราทอกซินเอในพริกแห้งยังมีน้อย มีความจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากสินค้าพริกแห้งมีความสำคัญขึ้นจากการบริโภคอาหารตะวันออกมากขึ้น ประกอบกับปริมาณที่พบปนเปื้อนก็มีค่าสูงมากเป็นที่น่าสังเกต

ออกคราทอกซินเอมักจะพบการปนเปื้อนในประเทศที่บริโภคเครื่องเทศ และสารให้กลิ่นรสเหล่านี้เป็นหลัก และยังพบออกคราทอกซินเอปนเปื้อนในเปปเปอร์ที่ผลิตจากข้าวบาร์เลย์อีกด้วย คาดว่าน่าจะมาจากการที่ออกคราทอกซินเอปนเปื้อนมาในข้าวบาร์เลย์ (National Toxicology Program, 2014)

จากการรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนออกคราทอกซินเอในเครื่องเทศของไทย อ้างอิงจากข้อมูลจากรายงาน เรื่อง การประเมินความเสี่ยงของคนไทยต่อการได้รับสารพิษเชื้อราผ่านการบริโภคพริกแห้งและเครื่องเทศที่ผลิตในประเทศ ของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เสนอต่อ อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร ในปี พ.ศ. 2559 โดยเครื่องเทศเป้าหมายของการวิจัยเพื่อศึกษาปริมาณออกคราทอกซินเอที่ปนเปื้อน คือพริกแห้ง จากรายงานพบการปนเปื้อนออกคราทอกซินเอปนเปื้อนร้อยละ 25 จากตัวอย่าง 90 ตัวอย่าง โดยพริกแห้งที่ทำการเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ พริกแห้งใหญ่ (43 ตัวอย่าง) หรือ พริกบางช้างและพริกแห้งเล็ก (47 ตัวอย่าง) ที่นิยมทำแห้งจากพริกจินดาที่ปลูกภายในประเทศ ตัวอย่างทั้งหมดเก็บจากจังหวัด กรุงเทพฯและปริมณฑล (20 ตัวอย่าง) นครราชสีมา (20 ตัวอย่าง) กาญจนบุรี (29 ตัวอย่าง) และ พิษณุโลก (21 ตัวอย่าง) วิเคราะห์ด้วย

วิธีลิควิดโครมาโตกราฟีสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) จากห้องปฏิบัติการของสถาบันอาหาร ผลการวิเคราะห์พบสารพิษออกคราโทซินเอปนเปื้อนในตัวอย่างพริกแห้งจำนวน 25 ตัวอย่าง แบ่งเป็นในพริกเม็ดใหญ่ 7 ตัวอย่างและพริกเม็ดเล็ก 18 ตัวอย่าง โดยปริมาณการปนเปื้อนของพริกเม็ดใหญ่และเม็ดเล็กอยู่ในช่วง 1.6-167.21 และ 1.62-807.84 $\mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานการปนเปื้อนออกคราโทซินเอในพริกขี้หนูปนจำนวน 5 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างจากตลาดในจังหวัด นนทบุรี (2 ตัวอย่าง) ปทุมธานี (2 ตัวอย่าง) และย่านบางซื่อ (1 ตัวอย่าง) ซึ่งพบออกคราโทซินเอ 12.24, 15.01, 12.23, 9.84 และ 84.88 $\mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ (สถาบันอาหาร, 2556) รายละเอียดการปนเปื้อนออกคราโทซินเอแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การปนเปื้อนสารพิษออกคราโทซินเอในตัวอย่างพริกแห้งปี 2559

ชนิดตัวอย่าง	ปริมาณสารพิษ ($\mu\text{g kg}^{-1}$), การปนเปื้อน (ตัวอย่างที่พบ/ตัวอย่างทั้งหมด)				
	กรุงเทพฯ และ ปริมณฑล	นครราชสีมา	พิษณุโลก	กาญจนบุรี	รวม
พริกแห้งเม็ดใหญ่	1.6-167.2, (3/10)	ND, (0/13)	1.8-2.7, (3/10)	12.7, (1/10)	1.6-167.2, (7/43)
พริกแห้งเม็ดเล็ก	2.3-287.3, (7/11)	4.7-75.1, (4/16)	1.6-9.4, (5/10)	70.8,807.8, (2/10)	1.6-807.8, (18/47)
รวมพริกแห้ง ทั้งหมด	1.6-287.3, (10/21)	4.8-75.1, (4/29)	1.6-9.4, (8/20)	12.7-807.8, (3/20)	1.6-807.8, (25/90)

หมายเหตุ: ND หมายถึง Not detected

ค่า LOD = 0.20 $\mu\text{g kg}^{-1}$ และ ค่า LOQ = 0.40 $\mu\text{g kg}^{-1}$

3.1.3.2 ชนิดของเครื่องเทศที่ไม่พบการปนเปื้อนออกราทอกซิน

จากรายงานการตรวจวิเคราะห์ห่อคราโทอกซินเอของศูนย์วิจัยและประเมินความเสี่ยงด้านอาหารปลอดภัย สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม ไม่พบการปนเปื้อนออกราทอกซินเอใน พริกไทยดำเม็ด จากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง (สถาบันอาหาร, 2559) และ ไม่พบการปนเปื้อนออกราทอกซินเอในกาแฟคั่วบด จำนวน 5 ตัวอย่าง (สถาบันอาหาร, 2556) เช่นเดียวกับลูกเกด พบรายงานการตรวจไม่พบออกราทอกซินเอในลูกเกดบรรจุถุงจำนวน 5 ยี่ห้อ (สถาบันอาหาร, 2560)

3.1.3.3 สถานการณ์การปนเปื้อนออกราทอกซินเอ

การทบทวนเอกสารการปนเปื้อนออกราทอกซินในเครื่องเทศนั้นยังมีไม่มากนัก พบการรายงานการสุ่มตัวอย่างเครื่องเทศ ได้แก่ พริกไทยดำ เมล็ดผักชี ขิงผงและผงขมิ้น วางขายในประเทศอินเดีย ซึ่งพบการปนเปื้อนสูงสุดในตัวอย่างผงขมิ้น ($102 \mu\text{g kg}^{-1}$) (Thirumala – Devi et al., 2001) อีกทั้งจากรายงานการสุ่มตัวอย่างเครื่องเทศ ในช่วงเดือน กันยายน 2011 – กุมภาพันธ์ 2012 จากร้านขายเครื่องเทศทางภาคตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศอิตาลี พบการปนเปื้อนออกราทอกซินสูงสุดในเครื่องเทศผสม ($19.06 \mu\text{g kg}^{-1}$) จากการสุ่มตัวอย่างเครื่องเทศ 4 ชนิด คือ พริกแห้ง เครื่องเทศผสม พริกไทยและเครื่องเทศอื่นๆ (Prelle et al., 2014) ปาปรีกาที่วางขายในประเทศบราซิลเป็นชนิดเครื่องเทศที่ตรวจพบว่าปนเปื้อนออกราทอกซินเอมากถึงร้อยละ 85.7 จาก ตัวอย่างทั้งหมด 70 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อออกราทอกซินเครื่องเทศจากประเทศต่างๆ

เครื่องเทศ	จำนวนตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่างที่ปนเปื้อน (ร้อยละ)	ความเข้มข้นเฉลี่ย ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	ช่วงความเข้มข้น ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	ประเทศ	อ้างอิง
พริกไทยดำ	26	14 (54)	-(a)	ND – 69	อินเดีย	Thirumala – Devi et al., 2001
เมล็ดผักชี	50	20 (40)	-(a)	ND – 51		
ขิงผง	25	2 (8)	-(a)	23, 80		
ผงขมิ้น	25	9 (36)	-(a)	ND - 102		
พริกแห้ง	25	15 (60)	-(a)	ND – 16.35	อิตาลี	Prelle et al., 2014
เครื่องเทศผสม	21	7 (33.3)	-(a)	ND – 19.06		
พริกไทย	30	4 (13.3)	-(a)	ND – 15.85		
เครื่องเทศอื่นๆ	25	2 (9.3)	-(a)	ND – 11.08	บราซิล	Shundo et al., 2009
ปาปรีกา	70	6(85.7)	7.0	ND – 97.2		

*-(a) = ไม่พบรายงาน

ตารางที่ 12 เครื่องมือวิเคราะห์ออกคราทอกซินในงานวิจัยต่างๆ

ผู้วิจัย (ปีที่รายงาน)	ชนิดอาหาร	เครื่องมือวิเคราะห์	LOD** ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	LOQ*** $\mu\text{g kg}^{-1}$
Thirumala – Devi และคณะ (2001)	–*	HPLC	0.01	0.03
Prelle และคณะ (2014)	พริกแห้ง	LC-MS	0.70	2.13
	เครื่องเทศผสม	LC-MS	0.05	0.15
	พริกไทย	LC-MS	0.86	2.61
	เครื่องเทศอื่นๆ	LC-MS	0.04	0.12
Shundo (2007)	ปาปริกา	HPLC	0.24	0.80
ชนัญญา (อยู่ระหว่างวิจัย)	พริกแห้ง	HPLC	0.23	0.45

*ไม่ระบุข้อมูล

**LOD = ปริมาณต่ำสุดที่ตรวจพบ

***LOQ = ปริมาณต่ำสุดที่สามารถรายงานค่าเป็นตัวเลขได้

3.1.4 ข้อกำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินและออกคราทอกซินในประเทศไทย

ปริมาณอะฟลาทอกซิน ถูกกำหนดในอาหารหลายประเภทในกฎหมายอาหารกว่า 100 ประเทศทั่วโลก (Hans et al, 2007) ซึ่งปริมาณที่ยอมให้พบได้นั้น แตกต่างกันในแต่ละประเทศ และแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของอาหาร ปริมาณอะฟลาทอกซินที่ยอมให้พบได้ในข้าวของประเทศแถบยุโรป เช่น สวีเดน ต้องไม่มากกว่า 2 พีพีบี ($\mu\text{g kg}^{-1}$) สำหรับอะฟลาทอกซินบีวัน (AFB_1) และต้องไม่มากกว่า 4 พีพีบี ($\mu\text{g kg}^{-1}$) สำหรับปริมาณอะฟลาทอกซินรวม (Total Aflatoxin) (Fredlund, 2009) ต่อมาปี 2010 Commission Regulation (EU) No 165 ได้ระบุให้ข้าวที่ผ่านมาตรฐานมีปริมาณอะฟลาทอกซินบีวันได้ไม่เกิน 2 พีพีบี และปริมาณอะฟลาทอกซินรวมไม่เกิน 4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ และข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปจะต้องมีปริมาณอะฟลาทอกซินบีวันไม่เกิน 5 และ 10 พีพีบี สำหรับอะฟลาทอกซินบีวันและอะฟลาทอกซินรวมตามลำดับ (EU, 2010) คาดว่าการปรับปริมาณที่ยอมให้ได้รับมีการปรับปรุงขึ้นกับระดับความเสี่ยงของผู้บริโภคและการสำรวจข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนในอาหาร ก่อนหน้านั้นเมื่อ 10 ปีก่อน Codex Alimentarius Commission (1999) กำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินที่มีในถั่วลิสงต้องไม่เกิน 15 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Codex, 1999) ในขณะที่หลายประเทศกำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินในข้าวที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน ไต้หวันและอียิปต์ สำหรับอะฟลาทอกซินบีวันไม่เกิน 10 พีพีบี บราซิลและอินเดียกำหนด ปริมาณอะฟลาทอกซินรวมไม่เกิน 30 พีพีบี เม็กซิโกและสหรัฐอเมริกา กำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินรวมไม่เกิน 20 พีพีบี รัสเซีย ปริมาณอะฟลาทอกซินรวมไม่เกิน 5 พีพีบี บัลกาเรียและฮังการี กำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินรวมไม่เกิน 4 พีพีบี (Reddy.,2008) และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย กำหนดให้กฎหมายอาหารหรือประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2522) กำหนดอะฟลาทอกซินรวมปนเปื้อนในอาหารไม่เกิน 20 พีพีบี

เมื่ออะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคและยังส่งผลถึงการค้าระหว่างประเทศ ในแต่ละประเทศจึงได้มีการกำหนดค่าการปนเปื้อนของสารพิษ เมื่ออะฟลาทอกซินในอาหารต่างๆ รวมถึงในเครื่องเทศ โดยสหภาพยุโรป หรือ European Union (EU) ได้กำหนดปริมาณการปนเปื้อนสูงสุดของ เมื่ออะฟลาทอกซิน ดังนี้ เมื่ออะฟลาทอกซินบีวัน ห้ามเกิน 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ และ เมื่ออะฟลาทอกซินไม่เกิน 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ ส่วนในประเทศไทยได้กำหนดปริมาณเมื่ออะฟลาทอกซินรวมในอาหารทุกประเภท

ห้ามเกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในแต่ละประเทศอาจใช้ข้อกำหนดตาม EU แต่บางประเทศมีข้อกำหนดแตกต่างออกไป ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ข้อกำหนดค่าการปนเปื้อนสูงสุดที่พบได้ของสารพิษอะฟลาทอกซินรวมในแต่ละประเทศ

ประเทศ	ชนิดอาหาร	ปริมาณอะฟลาทอกซินรวม ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
สหภาพยุโรป (EU)	พริก	5 (อะฟลาทอกซินปี 1) และ
	พริกไทย	10 (อะฟลาทอกซินรวม)
	ขมิ้น	
	ขิง	
	จันทน์เทศ	
Codex	ถั่วลิสง อัลมอนต์ ถั่วบราซิล ถั่วฮาเซล (hazelnuts) ถั่วพิสตาชิโอ (pistachios) ผ่านกระบวนการผลิต	15
	ถั่วฮาเซล (hazelnuts) ถั่วพิสตาชิโอ (pistachios) แบบพร้อมรับประทาน (ready-to-eat)	10
แคนาดา	ถั่วและผลิตภัณฑ์จากถั่ว	15
โคลัมเบีย	ทุกประเภท	20
	ธัญชาติ (sorghum, millets)	30
เดนมาร์ก	วัตถุดิบอาหารก่อนทำความสะอาด	4
นิวซีแลนด์	ถั่วลิสง ทรันท์ (tree nuts)	15
สหรัฐอเมริกา	ทุกประเภท	20
ออสเตรเลีย	ถั่วลิสง ทรันท์ (tree nuts)	15
	อาหารชนิดอื่นๆ	5
ฮ่องกง	ถั่วลิสง	20
	อาหารชนิดอื่นนอกเหนือจากถั่วลิสง	15
ไทย	อาหาร	20

ที่มา: Codex (2013), Mazumder และ Sasmal (2001) และ European Union (2006)

ออกราทอกซินเอทีปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ในแต่ละประเทศจึงได้มีการกำหนดค่าการปนเปื้อนของสารพิษออกราทอกซินเอในอาหารต่างๆ รวมถึงในพริกแห้งและเครื่องเทศ ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 14 ข้อกำหนดค่าการปนเปื้อนสูงสุดที่พบได้ของสารพิษออกคราโทกซินเอในแต่ละประเทศ

ประเทศ	ชนิดอาหาร	ปริมาณ ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
สหภาพยุโรป (EU)	พริก	30
	พริกไทย	
	ขมิ้น	15
	ขิง	
	จันทน์เทศ	
Codex Committee on Contaminants In Foods (CCCF)	ข้าวสาลีไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป	5
กรีซ	กาแฟ (ผลดิบและผ่านกระบวนการ)	20
คิวบา	กาแฟและธัญชาติ	5
ชูดาน	ข้าวสาลี	15
เซอร์เบียและมอนเตเนโกร	อาหารทุกชนิด	10
เดนมาร์ก	ไต่หนู	25
ตุรกี	เมล็ดธัญชาติ	5
	ผลิตภัณฑ์จากธัญชาติ	3
	ลูกเกด	10
	น้ำองุ่น	3
	องุ่นอบแห้ง	5
บัลแกเรีย	ธัญชาติที่สามารถรับประทานได้โดยไม่ผ่านกระบวนการ	3
	ธัญชาติที่ต้องผ่านกระบวนการ	4
	เครื่องเทศ	10
	อาหารทุกชนิด	10
	ไต่หนู	25
เซอร์เบียและมอนเตเนโกร	เมล็ดธัญชาติ	5
	ผลิตภัณฑ์จากธัญชาติ	3
	ลูกเกด	10
	น้ำองุ่น	3
	องุ่นอบแห้ง	5
เดนมาร์ก	ธัญชาติที่สามารถรับประทานได้โดยไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มเติม	3
	ธัญชาติที่ต้องผ่านกระบวนการเพิ่มเติม	4
	เครื่องเทศ	10
	เมล็ดกาแฟสด	8
	เมล็ดกาแฟคั่ว	4
ตุรกี	เปียร์	0.2
	ธัญชาติ	30
	อาหารบำรุง	20
	อาหารบำรุงสำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี	5
	ธัญชาติ	5
โมร็อกโก	ธัญชาติ	30
โรมาเนีย	อาหารบำรุง	20
ลัตเวีย	อาหารบำรุงสำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี	5
	ธัญชาติ	5

ตารางที่ 14 (ต่อ)

สวิตเซอร์แลนด์	ผลไม้แห้ง	20
	เครื่องเทศ	20
	อาหารทุกชนิด	5
สาธารณรัฐเช็ก	แป้งและผลิตภัณฑ์จากธัญชาติ	3
	อาหารชนิดอื่นๆ	10
อิตาลี	กาแฟ	8
	เมล็ดกาแฟคั่ว	4
	โกโก้และผลิตภัณฑ์จากโกโก้	0.5
	เบียร์	0.2
	น้ำผลไม้	50
	อาหารเด็ก	0.5
อินโดนีเซีย	กาแฟ	ต้องไม่พบ
อิสราเอล	ธัญชาติและผลิตภัณฑ์จากธัญชาติ	50
อิหร่าน	ผลไม้แห้ง	10
	อาหารเด็กชนิดที่ทำจากธัญชาติแต่ไม่ผสมนม	1
	ข้าวบาร์เลย์	50
	ข้าวโพด	50
	ข้าว	5
	ข้าวสาลี	5
	ข้าวฟ่าง	20
อุรุกวัย	ข้าว ข้าวบาร์เลย์ ถั่ว กาแฟ ข้าวโพด	50
เอสโตเนีย	ตับหมู	10
	ธัญชาติและผลิตภัณฑ์จากธัญชาติ	5
ฮังการี	ธัญชาติ	5
	ผลิตภัณฑ์จากธัญชาติทุกชนิด	3
	ลูกเกด เมล็ดกาแฟคั่วและผลิตภัณฑ์จากกาแฟ	10
	เมล็ดกาแฟสด	15

ที่มา: The government of the Hong Kong Special Administrative Region (2006), European Union (2010), Duarte *et al.* (2010)

3.1.5 ประเมินความเสี่ยงของสารอะฟลาทอกซินและออกราทอกซิน

การประเมินความเสี่ยงต่อพิษของสารพิษเชื้อรา เป็นวิธีการในการจัดรวบรวมและนำข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสารพิษเชื้อรามาประเมินความเสี่ยงอย่างเป็นระบบ เพื่อหาโอกาส (probability) ของการเกิด หรือผลอันไม่พึงประสงค์ (adverse effect) ต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับสัมผัสสารพิษเชื้อรานั่น

การประเมินความเสี่ยงต่อพิษของสารพิษเชื้อรา ควรใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพิษของสารพิษเชื้อราที่ต้องการประเมินที่มีอยู่ทั้งหมดที่สำรวจได้ในเวลานั้น โดยตระหนักว่าข้อมูลความเป็นพิษของสารพิษเชื้อราอาจมีเพิ่มขึ้นในภายหลัง และอาจต้องมีการพิจารณาข้อมูลใหม่เป็นระยะ ๆ ขั้นตอนที่ใช้ในการประเมินมี 4 ขั้นตอน คือ

1. การบ่งชี้ความเป็นอันตราย (hazard Identification)
2. การประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารพิษ (dose - response assessment)
3. การประเมินการได้รับสัมผัสสารพิษ (exposure assessment)
4. ลักษณะและความรุนแรงของความเสี่ยงจากสารพิษเชื้อรา (risk characterization)

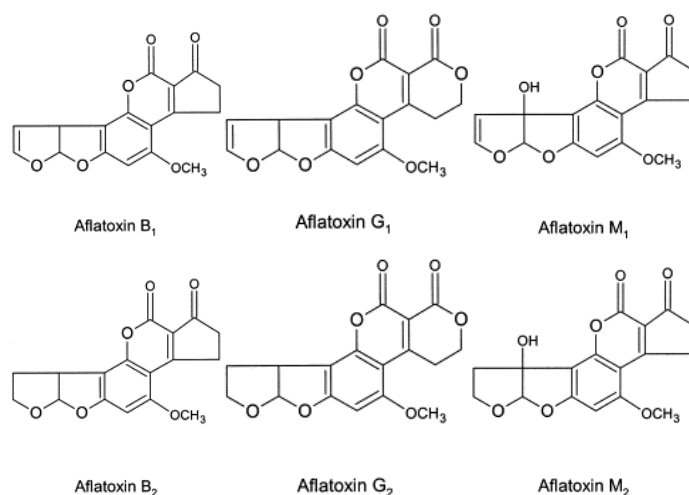
ขั้นตอนที่ 1 และ 2 คือ การระบุว่าเป็นสารอันตราย (hazard identification) และการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารพิษเชื้อรา (dose - response assessment) นั้น เป็นข้อมูลวิชาการทางพิษวิทยาที่สามารถสืบค้นได้จากเอกสารวิชาการ หรือฐานข้อมูลของหน่วยงานต่าง ๆ เช่น WHO FAO และ JECFA เป็นต้น ส่วนข้อมูลในขั้นตอนที่ 3 การประเมินปริมาณการได้รับสารพิษ นั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งของวัตถุพิษหรืออาหารนั้น ซึ่งผู้เกี่ยวข้องหรือกลุ่มของผู้บริโภคจะมีการสัมผัสรับสารพิษแตกต่างกันไป ดังนั้นแต่ละประเทศจึงต้องทำการทดลองศึกษาเพื่อประเมินการได้สัมผัสรับสารพิษเชื้อราตามบริบทของประเทศและกลุ่มประชาชนของตนเอง

การประเมินการได้รับสัมผัสสารพิษ (exposure assessment) เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในขบวนการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารพิษเชื้อรา เพราะความเป็นพิษจะไม่เกิดขึ้นถ้าไม่มีการได้รับสารนั้นเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นความเสี่ยงหรืออันตรายจึงขึ้นอยู่กับปริมาณสารพิษที่ได้รับ (exposure) ปริมาณการได้รับสารพิษขึ้นอยู่กับความถี่ และระยะเวลาที่สัมผัสกับสารพิษเชื้อรานั่น

3.1.5.1. อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin: AFs)

คุณสมบัติทางเคมี

อะฟลาทอกซินหรือAflatoxins (AFs) เป็นสารพิษจากเชื้อรา *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus parasiticus* และยังพบว่าสร้างจากเชื้อราชนิดอื่นได้แก่ *A. niger*, *A. tamarii*, *A. fumigatus* โดย AFs สามารถแบ่งได้หลายชนิดตามโครงสร้างทางเคมี แต่ที่พบโดยมากในพืชผลการเกษตรและอาหาร ได้แก่ Aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂, M₁ และ M₂ (ภาพที่ 2) จากการศึกษาพบว่าอะฟลาทอกซินปีวันมีความเป็นพิษสูงที่สุดจากสารพิษกลุ่มอะฟลาทอกซินทั้งหมด (Filazi และSireli, 2013)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของสารอะฟลาทอกซิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hussein and Brasel (2001)

อะฟลาทอกซินไม่ละลายในสารละลายไม่มีขี้ แต่สามารถละลายได้เล็กน้อยในน้ำและไฮโดรคาร์บอน และละลายได้ดีในเมทานอล อะซีโตน หรือ คลอโรฟอร์ม อะฟลาทอกซินไม่คงตัวต่ออากาศและแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสารละลายมีขี้ ออกซิไดซ์ซึ่งเอเจนท์ แสงอัลตราไวโอเลต หรือในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด เบสต่ำกว่า 3 หรือมากกว่า 10 และ อะฟลาทอกซินจะสลายตัวไปที่จุดหลอมเหลวระหว่าง 237-299 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 15) แต่จะไม่ถูกทำลายทั้งหมดที่อุณหภูมิการปรุงอาหารปกติเช่น 80 – 180 องศาเซลเซียส วัตถุดิบที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินเมื่อนำมาทำอาหารอุณหภูมิสำหรับการปรุงอาหารสามารถทำให้ลดปริมาณ ลงบ้าง ดังเช่นการคั่วพิตาชิโอที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถลดปริมาณ AFs ได้ ร้อยละ 63 จากความเข้มข้นเริ่มต้น 44 $\mu\text{g kg}^{-1}$ หรือลดลงไปร้อยละ 24 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นสูงกว่าเท่ากับ 213 $\mu\text{g kg}^{-1}$ หรือลดได้ร้อยละ 17 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำเท่ากับ 21 $\mu\text{g kg}^{-1}$ จะเห็นได้ว่าปัจจัยขึ้นกับ อุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นเริ่มต้นของอะฟลาทอกซินด้วย

ตารางที่ 15 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของอะฟลาทอกซิน

คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี	ข้อมูลสำคัญ				เอกสารอ้างอิง
	B ₁	B ₂	G ₁	G ₂	
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นผลึกไม่มีสีจนถึงสีเหลืองอ่อนที่อุณหภูมิห้อง				IARC (1976)
มวลโมเลกุล(กรัมต่อโมล)	312.3	314.3	328.3	330.3	Sigma-Aldrich
สูตรเคมี	C ₁₇ H ₁₂ O ₆	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	Sigma-Aldrich
จุดเดือด	ไม่พบข้อมูล				National Toxicology Program (2016)
จุดหลอมเหลว	237-299 องศาเซลเซียส				National Toxicology Program (2016)
การละลาย	สามารถละลายได้ในน้ำ 3.150 กรัมในน้ำ 1 ลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส				National Toxicology Program (2016)
λ max (ค่าความยาวคลื่นที่สารละลายดูดซึมแสงได้ดีที่สุด)	223, 265 และ 362 นาโนเมตร เมื่อละลายในเอทานอล				National Toxicology Program (2016)
Vapor pressure (ความดันไอ)	1.2×10^{-10} mmHg ที่ 25 องศาเซลเซียส				National Toxicology Program (2016)

3.1.5.2 อันตรายจากการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซิน

ก) เมตาบอลิซึมของอะฟลาทอกซิน

เมื่ออะฟลาทอกซินเข้าสู่ร่างกายแล้วจะผ่านกระบวนการดูดซึมและกระจายตัวไปตามร่างกาย จากการศึกษาในอาสาสมัคร เมื่อคนได้รับอะฟลาทอกซินปีวันในปริมาณน้อย (microdosing technique) แล้วติดตามผลการกระจายตัวของอะฟลาทอกซินปีวันด้วย Accelerator Mass Spectrometry (AMS) โดยอาสาสมัคร 3 คนได้รับ [¹⁴C]-labelled aflatoxin ในปริมาณ 30 นาโนกรัมจากนั้นจะตรวจติดตาม [¹⁴C]-labelled aflatoxin ด้วย AMS ในเลือดและปัสสาวะ พบว่าร่างกายสามารถกำจัด [¹⁴C]-labelled aflatoxin ออกทางปัสสาวะถึงร้อยละ 95 ในเวลา 24 ชั่วโมง แต่ในการดูดซึมนั้นก็เกิดขึ้นในอัตราเร็วเช่นกัน พบว่าร่างกายดูดซึมภายในเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอันดับปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง หรือ first order kinetic (Jubert, 2007) เมื่อร่างกายดูดซึมอะฟลาทอกซินปีวันแล้ว จากนั้นอะฟลาทอกซินปีวันจะเข้าสู่ระบบเลือดด้วยวิธี Passive Diffusion และจับกับโปรตีนพลาสมา (plasma protein) หรือสารแมโครโมเลกุล (macro molecule) ต่างๆ ในเลือดด้วยพันธะโคเวเลนต์ กระจายสู่ร่างกายส่วนต่างๆ โดยเฉพาะที่ตับ และที่ตับอะฟลาทอกซินจะเข้าสู่กระบวนการเมตาบอลิซึม กระบวนการเมตาบอลิซึมของอะฟลาทอกซินปีวันเริ่มจากอะฟลาทอกซินปีวันถูกออกซิไดซ์ที่ตำแหน่ง 8,9 ใน furan ring ด้วยเอนไซม์ Cytochrome P450 (Cytochrome P450 enzyme: CYP) ซึ่งเอนไซม์หลักที่ทำหน้าที่ในคนได้แก่ CYP3A4 และ CYP1A2 ได้สารเมตาบอไลต์จากปฏิกิริยาเร่งโดย CYP3A4 และ CYP1A2 คือ *exo-epoxide* กับ Aflatoxin Q₁ และ *endo-epoxide* กับ Aflatoxin M₁ ตามลำดับ โดยจากการศึกษา In vitro พบว่าอะฟลาทอกซินปีวันและอะฟลาทอกซินเอ็มวันจะถูกกำจัดออกจากร่างกายผ่านทางปัสสาวะ ส่วนเมตาบอไลต์ที่สำคัญซึ่งก่อให้เกิดโรคมะเร็งในคนและสิ่งมีชีวิตอื่นๆคือ AFB₁-

8,9-*exo*-epoxide จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของ CYP3A4 โดยพบว่า AFB₁-8,9-*exo*-epoxide เป็นเมตาบอไลต์ที่ไม่เสถียร สามารถทำปฏิกิริยากับ DNA ได้เป็นอย่างดี โดย AFB₁-8,9-*exo*-epoxide จะเข้าทำปฏิกิริยากับ DNA ที่ตำแหน่ง N7 ของเบสกวีนีน (guanine base) เกิดเป็น 8,9-dihydro-8-(N7-guanosyl)-9-hydroxy aflatoxin B1 (AFB₁-N7-Guo) พบว่าเกิดปฏิกิริยามากถึงร้อยละ 98 ซึ่งการทำปฏิกิริยากับ DNA มีผลต่อการเกิดมะเร็ง เนื่องจากความผิดปกติของ DNA ส่งผลให้เกิดการถอดรหัสผิดพลาดจาก AGG เป็น AGT ที่ตำแหน่ง codon ที่ 249 ของ TP53 gene จึงทำให้การสร้าง DNA อีกสายผิดปกติ จึงเกิดการแบ่งเซลล์ที่ผิดพลาด มีโอกาสเกิดโรคมะเร็งขึ้น พบว่าอวัยวะที่มีโอกาสเกิดมะเร็งมากที่สุดคือ ตับ

ข) ความเป็นพิษของอะฟลาทอกซิน

ความเป็นพิษเฉียบพลัน

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของอะฟลาทอกซิน ได้ศึกษาในสัตว์ทดลองหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าสิ่งมีชีวิตต่างสายพันธุ์กันและต่างเพศกันมีผลต่อค่า LD₅₀ (ระดับความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ โดยคำนวณบนฐานของการทดลองกับสัตว์ทดลองเช่น หนู ซึ่งคิดจากปริมาณของสารเคมีเป็นมิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนูเป็นกิโลกรัม ที่สามารถฆ่าหนูจำนวนร้อยละ 50 ของหนูที่ทดลองทั้งหมด) ด้วย นอกจากนี้ในสัตว์ทดลองแล้ว ยังมีรายงานระบาดวิทยาการเกิดพิษเฉียบพลันในคนด้วยดังนี้

สำหรับในประเทศไทยเกิดอุบัติการณ์ของโรค Reye's syndrome ในปี 2557 ขึ้น พบในเด็กอายุระหว่าง 1-7 ปี อาการของโรคคือคลื่นไส้ ชักกระตุก รวมถึงหมดสติ และตายในเวลา 24-48 ชั่วโมง สาเหตุการเกิดโรค เกิดจากการรับประทานข้าวเหนียวที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจากการวินิจฉัยผู้เสียชีวิตพบว่าเสียชีวิตจากสมองบวม ตับถูกทำลาย หรือมีขนาดโตมากกว่าปกติ ต่อม่าน้ำเหลืองบวม มีไขมันสะสมในตับ (ทิพย์ และคณะ, 2530; สุรลักษณ์, 2538) หรือในกรณีอุบัติการณ์ที่เกิดในประเทศอินเดีย พบว่ามีการเกิดโรคจากคนที่บริโภคข้าวโพดที่ปนเปื้อนด้วยอะฟลาทอกซิน จำนวน 1000 คน และมีผู้เสียชีวิตมากถึง 100 คน กรณีดังกล่าวสามารถประมาณได้ว่าค่า LD₅₀ ในคนประมาณ 5 mg kg⁻¹

ตารางที่ 16 LD₅₀ ของอะฟลาทอกซินบีวันต่อสัตว์สายพันธุ์ต่างๆ โดยวิธีให้ทางปาก (Oral)

ชนิดสัตว์	LD ₅₀ (mg kg ⁻¹)
หนูเมาส์	9
หนูแรท	4.8
แฮมสเตอร์	10
สุนัข	0.5-1.0
หมู	0.62
ลิง	2.2

ที่มา National Toxicology Program (2016)

ค) ความเป็นพิษกึ่งเรื้อรัง

การศึกษาในหนูแรทเรื่องการตายของเซลล์ตับเนื่องจากสารพิษ AFB₁ พบว่าเมื่อหนูแรทได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินบีวัน ที่ปริมาณ 50 ug kg⁻¹ หลังจากนั้น 8 สัปดาห์ ได้นำหนูแรทมาตรวจสอบทางจุลพยาธิวิทยาโดยวิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่า AFB₁ สามารถส่งผลให้เซลล์ตับตายได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (Meki *et al.*, 2001)

ง) ความเป็นพิษเรื้อรัง

อะฟลาทอกซินถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งจากธรรมชาติที่รุนแรงที่สุด โดย IARC จัดให้อะฟลาทอกซินเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์กลุ่มที่ 1 (Carcinogenic to Humans) เนื่องจากมีรายงานการศึกษาเป็นจำนวนมากพบว่าอะฟลาทอกซินบีวันก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองต่างๆ ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 17 การศึกษาผลของอะฟลาทอกซินบีวันต่อการเกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองชนิดต่างๆ

ชนิดสัตว์ทดลอง, ระยะเวลา ทดลอง	ปริมาณที่ทดลอง, จำนวนสัตว์ทดลอง/จำนวนกลุ่ม ทดลอง	ผลการทดลอง(การเกิดมะเร็ง)	ความเชื่อมั่น แตกต่างจาก กลุ่มควบคุม	อ้างอิง
Tree Shew 160 สัปดาห์	Dietary milk dose of 0 (control) หรือ 200-400 ug AFB1/kg bw/day 20-29 ตัว/group	Hepatocellular Carcinomas: control, 0/20; AFB1 treated, 6/29	$p < 0.05$	Su <i>et al.</i> , 2004
Tree shrew 150 สัปดาห์	Dietary milk dose of 0 (control) หรือ 150 µg/kg bw/day, 5 ครั้งต่อสัปดาห์ 13-48 ตัว/group	Hepatocellular carcinomas: control, 0/13; AFB1 treated, 35/48	$p < 0.0001$	Duan <i>et al.</i> , 2005
Trout (fry) 13 เดือน	0 (control) หรือ 0.5 µg/mL AFB1ใน 0.01% เอ ทานอล นาน 30 min (exposure in tank) ≈400 ตัว/group	Liver tumours: control 0/~400; AFB1 treated, 20/~400 (30% hepatocellular carcinomas, 70% mixed carcinomas)	แตกต่าง อย่างมี นัยสำคัญ	Tilton <i>et al.</i> , 2005
Tree shrew 90 สัปดาห์	Dietary (milk) dose of 0 (control) or 400 µg/kg bw/d 12-15 ตัว/group	Hepatocellular carcinomas: control, 0/12; aflatoxin B1, 11/15	$p < 0.0001$	Li <i>et al.</i> , 2008

ที่มา: IARC (2002)

นอกจากการก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองต่างๆแล้ว ยังพบว่ามีรายงานการก่อมะเร็งของ AFB₁ ในมนุษย์อีกด้วย จากหลักฐานทางระบาดวิทยา (epidemiology) พบว่าการเกิดมะเร็งตับในคนมีความสัมพันธ์กับการได้รับอะฟลาทอกซินบีวัน จากการรับประทานอาหาร โดยพบว่าในประเทศอูกันดาซึ่งเป็นประเทศที่บริโภคอาหารที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินบีวัน มีอุบัติการณ์การเกิดมะเร็งตับเพิ่มขึ้น (Alpert *et al.*, 1971) และจากการศึกษาในประเทศอเมริกาตอนใต้ ซึ่งผู้บริโภคมีการได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินบีวัน ในปริมาณ 13-197 ng kg⁻¹ bw พบว่ามีคนเป็นมะเร็งตับมากกว่าทาง ตะวันตกและทางเหนือซึ่งได้รับ AFB₁ เพียง 0.2-0.3 ng kg⁻¹ bw ถึงร้อยละ 10 (Stoloff, 1983)

ในการศึกษาทางระบาดวิทยาในประเทศไทย พบว่าจากการตรวจสอบใน 3 พื้นที่ ในพื้นที่ที่ได้รับอะฟลาทอกซินบีวันมากกว่าอีก 2 พื้นที่ มีอุบัติการณ์การเกิดโรคมะเร็งตับมากกว่าถึง 3 เท่า โดยความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับอะฟลาทอกซินบีวัน และอุบัติการณ์การเกิดโรคมะเร็งตับ เป็นความสัมพันธ์เชิงบวก พบว่าความสัมพันธ์ในลักษณะนี้ยังพบได้ในทำนองเดียวกันกับจากการศึกษาทางระบาดวิทยาได้จากประเทศเคนยา (Kenya) และโมซัมบิก (Mozambique) (IARC, 1976) รายละเอียดการศึกษาทางระบาดวิทยาได้แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 หลักฐานทางระบาดวิทยาของอะฟลาทอกซินปีวันต่อการเกิดโรคมะเร็งตับในประเทศต่างๆ

Population	Dietary AFB ₁ Intake (ng/kg bw/day)	Cases (per 10 ⁵) of Primary liver cancer/year ^a					
		In adults (>15 years)				อัตราพิษใน population	
		Men		Women		Both sexes	
		No.	Incidence	No.	Incidence	No.	Incidence
Kenya (high altitude)	3-5	1	3.1	0	-		
Kenya (medium altitude)	6-8	13	10.8	6	3.3		
Kenya (low altitude)	10-15	16	12.9	9	5.4		
Thailand (Songkhla)	5-8					2	2.0
Thailand (Ratburi)	45-77					6	6.0
Mozambique	222						25.4 ^b

ที่มา IARC (1976)

หมายเหตุ ^a คือ ระยะเวลาศึกษาคือ ในเคนยา 4 ปี, ในประเทศไทย 1 ปี และในโมซัมบิก 3 ปี

^b คือ ผู้ชาย 35.0 ผู้หญิง 15.7 โดยจำนวนเคสไม่ได้ระบุ (number of cases not available)

จากการศึกษาพบว่าอะฟลาทอกซินปีวันก่อให้เกิดมะเร็งตับชนิด Hepatocellular carcinoma (HCC) มะเร็งตับชนิดนี้เกิดจาก AFB₁ กับเชื้อไวรัสตับอักเสบบี (Hepatitis B virus: HBV) ส่งผลให้เกิดความผิดปกติที่เซลล์ตับ จากการศึกษพบว่าผู้ป่วยที่เป็นไวรัสตับอักเสบบี (HBsAg) มีโอกาสการเกิดมะเร็งเนื่องจากอะฟลาทอกซินปีวัน มากกว่าคนปกติถึง 30 เท่า (Wu *et al.*, 2007a, 2007b, 2009) และจากการสำรวจพบว่าในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีผู้ที่เป็น HBV ถึงร้อยละ 0.02 จากประชากรทั้งหมด ซึ่งบุคคลที่เป็น HBV นี้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการได้รับ AFB₁ มากกว่าคนปกติ จากการศึกษาในประเทศไทยพบว่าในผู้ที่เป็น HBV ที่ปริมาณการได้รับอะฟลาทอกซินปีวัน ในช่วง 53-73 ng/kg bw/day ก่อให้เกิดโรค HCC ได้ถึง 15.9-21.9/100,000 คน และสำหรับคนที่ไม่ได้เป็น HBV มีโอกาสเกิดโรค HCC 0.53-0.73/100,000 คน (Kirk *et al.*, 2005; Lui and Wu, 2010)

3.1.5.3 การประเมินความเสี่ยงของอะฟลาทอกซินในประชากรจากการบริโภคอาหาร

ในบรรดาสารพิษเชื้อรา พบว่า อะฟลาทอกซินปีวันเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคมามากที่สุด โดยในหลายประเทศมีการประเมินความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งตับ ชนิด HCC เนื่องจากการได้รับ AFB₁ เข้าสู่ร่างกาย จากการทบทวนเอกสารพบว่ามีรายงานการศึกษาสำคัญ 4 รายงานเกี่ยวกับการศึกษาโอกาสเกี่ยวกับการรับประทานอาหารปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจากอาหารไทย พริก และผลิตภัณฑ์จากพริก ดังนี้

ในปี 2014 Yogendrarajah และคณะ ได้ประเมินความเสี่ยงของประชาชนชาวศรีลังกาต่อการเกิดมะเร็งตับชนิด HCC จากการได้รับอะฟลาทอกซินปีวันจากการบริโภคพริกแห้ง ผลการประเมินค่าเฉลี่ยของการบริโภคพริกแห้งของประชาชนชาวศรีลังกา พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ Estimate Daily Intake หรือ EDI ของสารพิษอะฟลาทอกซินในประชาชนทางตอนเหนือและตอนใต้ของศรีลังกามีค่าเท่ากับ 3.49 และ 2.13 ng kg⁻¹ bw day⁻¹ ตามลำดับ และเมื่อประเมินความเสี่ยงของประชาชนชาวศรีลังกาในการเกิดโรคมะเร็งตับ HCC จะได้ว่าประชาชนทางตอนเหนือและตอนใต้ของประเทศศรีลังกามีความเสี่ยงเท่ากับ 0.046 และ 0.028 case/year/100,000 คน โดยผู้วิจัยได้แนะนำว่าประเทศศรีลังกาควรมีการสื่อสารความเสี่ยงเรื่องสารพิษจากเชื้อราอะฟลาทอกซินปีวัน สู่ผู้บริโภค เนื่องจากในตัวอย่างพริกแห้งมีปริมาณการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อรา มากและในขณะเดียวกันพริกเป็นอาหารมีปริมาณการบริโภคที่สูงทำให้เกิดโอกาสเสี่ยงต่อสุขภาพ

จากการสัมภาษณ์ผู้ทำวิจัย (อยู่ระหว่างรอการตีพิมพ์ผลงานวิจัย สนับสนุนทุนวิจัยจาก มกอช. ปีงบประมาณ 2558) พบ รายงานการประเมินความเสี่ยงอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศและผลิตภัณฑ์ จำนวน 185 ตัวอย่าง ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล พบว่า กลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินมีเพียงกลุ่มผู้บริโภคเฉพาะพริกป่นหรือพริกเมล็ดแห้งเท่านั้น (Eater only) พริกทั้งสองชนิดมีการปนเปื้อนสูง ($27.39 \mu\text{g kg}^{-1}$) หากบริโภคที่ปริมาณ 17.74 กรัมต่อคนต่อวันเป็นประจำติดต่อกันเป็นเวลานาน มีโอกาสเสี่ยงต่อการบริโภคได้ สำหรับออคราทอกซินพบว่าประชากรทุกกลุ่ม คือ ผู้บริโภคทั่วไปและผู้ที่ยืมบริโภคอาหารนั้น (Per capita และ Eater only ตามลำดับ) มีความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสออคราทอกซินเนื่องจากมีปริมาณการปนเปื้อนในพริกป่นและพริกเมล็ดแห้งสูง ($310 \mu\text{g kg}^{-1}$) หากบริโภคมามากกว่าหรือเท่ากับ 3.14 กรัมต่อคนต่อวันเป็นประจำติดต่อกันเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามจากการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยโครงการวิจัยดังกล่าวได้ตั้งข้อสังเกตเกี่ยวกับการปนเปื้อนออคราทอกซินว่า ควรต้องมีการเก็บตัวอย่างเพิ่ม เนื่องจากการปนเปื้อนออคราทอกซินที่พบในปริมาณสูงพบเพียงตัวอย่างเดียว (จากทั้งหมด 40 ตัวอย่าง) เมื่อนำค่ามาเฉลี่ยจึงทำให้ค่าเฉลี่ยสูงตาม จากข้อมูลแสดงให้เห็นถึงโอกาสการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออคราทอกซินในพริกแห้งและพริกป่น รวมถึงปริมาณที่บริโภคแล้วอาจก่อให้เกิดการสะสมของอันตรายจากสารพิษเชื้อราทั้งสองชนิด ผลการได้รับสัมผัสเครื่องเทศโดยเฉพาะพริกแห้งมีความแตกต่างจากข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของไทย

รายงานการประเมินความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินปีวันในข้าวกล้องขาว คือ 0.46 และ $1.36 \text{ ng kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$ ที่ระดับการบริโภคที่ 50^{th} เพอร์เซ็นต์ไทล์ และ 97.5^{th} เพอร์เซ็นต์ไทล์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณการได้รับสัมผัสของข้าวกล้องสี คือ 0.53 และ $1.58 \text{ ng kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$ ที่ระดับการบริโภคที่ 50^{th} เพอร์เซ็นต์ไทล์ และ 97.5^{th} เพอร์เซ็นต์ไทล์ ตามลำดับ โดยคำนวณจากผู้บริโภคที่มีอายุเฉลี่ย มากกว่า 3 ปี ดังนั้น เมื่อคำนวณโอกาสที่จะมีผู้ป่วยเป็นมะเร็งตับจากการบริโภคข้าวกล้องขาวที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน คือ 0.011 และ 0.033 คนต่อปีต่อคน ในผู้บริโภคระดับการบริโภคที่ 50^{th} เพอร์เซ็นต์ไทล์ และ 97.5^{th} ตามลำดับ และสำหรับโอกาสที่จะมีผู้ป่วยเป็นมะเร็งตับจากการบริโภคข้าวกล้องสีที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน คือ 0.013 และ 0.039 คนต่อปีต่อคน ในผู้บริโภคระดับการบริโภคที่ 50^{th} เพอร์เซ็นต์ไทล์ และ 97.5^{th} ตามลำดับ (Iamtaweearoen, 2016) นอกจากนี้จากรายงานการประเมินความเสี่ยงอะฟลาทอกซินปีวันในถั่วลิสงที่วางขายในตลาดในกรุงเทพมหานคร พบปริมาณการปนเปื้อนอยู่ในช่วง N.D.- $362.48 \mu\text{g kg}^{-1}$ จากตัวอย่างทั้งหมด 60 ตัวอย่าง โดยจากตัวอย่างถั่วลิสงทั้งหมด แบ่งเป็น ถั่วลิสงดิบ (20) ถั่วลิสงคั่ว (20) และถั่วลิสงบด (20) พบว่าถั่วลิสงบดมีการปนเปื้อนสูงสุด $362.48 \mu\text{g kg}^{-1}$ มีค่าการได้รับสัมผัสจากการบริโภคถั่วบดของประชากรไทยเท่ากับ $2.13 \text{ ng kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$ ซึ่งทำให้มีโอกาสที่จะทำให้มีผู้ป่วย ป่วยเป็นมะเร็งตับ 0.12 คนต่อปีต่อแสนคนหรือ 2 คน ใน ล้านคน หรือ 20 คนใน 10 ล้านคน (Kooprasertying, 2016) จากรายงานข้างต้นแสดงโอกาสการเกิดมะเร็งตับจากการบริโภคถั่วป่นสูงกว่าข้าวกล้อง 18 คนใน 10 ล้านคน แต่ค่าการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินปีวันสูงสุดของข้าวกับถั่วต่างกันมาก คือ $26.61 \mu\text{g kg}^{-1}$ และ $362.48 \mu\text{g kg}^{-1}$ ดังนั้น นอกเหนือของค่าการปนเปื้อนแล้วควรคำนึงถึงค่าการบริโภคอาหารชนิดนั้นๆ ที่ต้องการประเมินความเสี่ยงของแต่ละประเทศด้วย โดยค่าการบริโภคควรมาจากแหล่งประชากรที่ต้องการประเมินความเสี่ยงจริงหรือเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรนั้นให้ดีที่สุด เพื่อการประเมินความเสี่ยงที่ถูกต้องและแม่นยำ

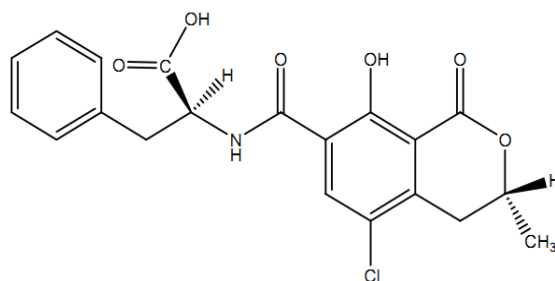
ในปี 2008 สุพรรณษา และคณะ ได้ประเมินความเสี่ยงของประชาชนในจังหวัดกรุงเทพมหานครต่อการเกิดมะเร็งตับ HCC จากการบริโภคพริกแกงแดง โดยเปรียบเทียบความเสี่ยงจากพริกแกงที่เตรียมเองกับพริกแกงที่ซื้อจากตลาด พบว่าการได้รับอะฟลาทอกซินเฉลี่ยในประชากรจังหวัดกรุงเทพมหานคร อายุตั้งแต่ 6-60

ปี จากการบริโภคผักแฉะจากตลาดมีโอกาสเสี่ยงสูงกว่าจากการเตรียมผักแฉะเอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.2557 และ 0.0387 ng kg⁻¹ bw day⁻¹ ตามลำดับ และมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตับ HCC เท่ากับ 2.2271 และ 2.2041 คน/ปี/100,000คน และถ้าคิดเป็นกรณีความเสี่ยงสูงสุดคือ ที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นไทล์ พบว่าการได้รับอะฟลาทอกซิน เท่ากับ 0.5717 และ 0.0870 ng/kg bw/day คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 2.2606 และ 2.2092 คน/ปี/100,000คน และผลการประเมินความเสี่ยงจากผักแฉะโดย กิตติรัตน์ และคณะ (2008) พบว่าการได้รับอะฟลาทอกซิน เฉลี่ยในประชากรจังหวัดสุพรรณบุรี อายุ 6-60 ปี จากการบริโภคผักแฉะจากตลาดและจากการเตรียมเองมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยมีค่าเท่ากับ 0.6147 และ 0.6071 ng/kg bw/day ตามลำดับ และมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตับ HCC เท่ากับ 2.27 และ 2.26 คน/ปี/100,000คน ตามลำดับ ดังนั้นหากผู้บริโภคเตรียมวัตถุดิบในการทำผักแฉะก็สามารถลดโอกาสเสี่ยงต่อการได้รับสารพิษ เชื้อราโดยเฉพาะอะฟลาทอกซิน

3.1.5.4 ออคราโทกซินเอ (Ochratoxin A; OTA)

คุณสมบัติทางเคมี ออคราโทกซินเอ

สารพิษเกิดจากเชื้อรา 2 กลุ่ม คือ *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. ออคราโทกซินเป็นสารกลุ่มcyclicpentaketids, dihydroisocoumarin derivatives เชื่อมต่อกับ L-phenylalanine (ภาพที่ 2) โดยมีสารตั้งต้นคือ Acetyl CoA และ Melonate ผ่านกระบวนการหลายขั้นตอนจนเกิดเป็นออคราโทกซินเอ ซึ่งจัดเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษมากที่สุดและสามารถพบได้มากที่สุดในกลุ่มสารพิษออคราโทกซิน (The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2006) ตารางที่ 16 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของออคราโทกซินเอ โดยผลึกของออคราโทกซินเอจะเป็นผลึกที่ไม่มีสีที่อุณหภูมิห้อง แต่จะเรืองแสงสีเขียวหรือฟ้าเมื่ออยู่ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต(International Agency for Research on Cancer; IARC, 1976) สารชนิดนี้จะแสดงคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน มีค่า pKa เท่ากับ 3.46 ออคราโทกซินเอ ละลายอยู่ในสารละลายกรดแต่จะไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์จำพวก คลอโรฟอร์ม เอทานอล เมทานอล และไซลีน (National Toxicology Program; NTP, 2014) โดยทั่วไปแล้วจะไม่เสถียรต่อแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความเข้มข้นสูง แต่จะเสถียรมากเมื่ออยู่ในความมืดและในเอทานอล โดยทั่วไปแล้วออคราโทกซินเอ จะสามารถทนความร้อนได้พอสมควร โดยเมื่อทดสอบการลดสารพิษออคราโทกซินเอ ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ธัญพืชด้วยการเข้าเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) พบว่าเมื่อฆ่าเชือนาน 3 ชั่วโมง สารพิษจากเชื้อราออคราโทกซินเอยังคงเหลือมากกว่าร้อยละ 35 (NTP, 2014)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของออคราโทกซินเอ

ที่มา: Khoury และ Atoui (2010)

ตารางที่ 19 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของอคราโทกซินเอ

คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี	ข้อมูลสำคัญ	เอกสารอ้างอิง
ลักษณะทางกายภาพ	ผลึกไม่มีสีที่อุณหภูมิห้อง แต่เรืองแสงสีเขียวหรือฟ้าภายใต้แสง UV	IARC (1976)
มวลโมเลกุล(กรัมต่อโมล)	403.8	HSDB (2010)
สูตรเคมี	$C_{20}H_{18}ClNO_6$	Sigma-Aldrich
จุดเดือด	ไม่มีข้อมูล	National Toxicology Program (2016)
จุดหลอมเหลว	169 องศาเซลเซียส	National Toxicology Program (2016)
การละลาย	สามารถละลายได้ในน้ำ 1.31 มิลลิกรัมในน้ำ 1 ลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส	National Toxicology Program (2016)
pKa (สัมประสิทธิ์การแตกตัวของกรด)	3.46	Akron (2010)
λ max (ค่าความยาวคลื่นที่สารละลายดูดซึมแสงได้ดีที่สุด)	213 และ 332 นาโนเมตร เมื่อละลายในเบนซีน	National Toxicology Program (2016)
Vapor pressure (ความดันไอ)	7.56×10^{-15} mmHg ที่ 25 องศาเซลเซียส	National Toxicology Program (2016)

3.1.5.5 อันตรายจากการได้รับอคราทอกซินเอ

ก) เมตาบอลิซึมของอคราทอกซินเอ

มนุษย์ได้รับอคราทอกซินเอจากการรับประทานอาหาร จากนั้นร่างกายจะดูดซึมอคราทอกซินเอกระจายไปในส่วนต่างๆ และกำจัดออกจากร่างกาย ซึ่งกระบวนการต่างๆจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละชนิดสิ่งมีชีวิต ส่วนใหญ่แล้วในคนและสัตว์จะดูดซึมอคราทอกซินเอในระบบทางเดินอาหาร โดยเฉพาะบริเวณลำไส้เล็ก สัดส่วนการดูดซึมของสิ่งมีชีวิตสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ หมู(ร้อยละ 66) >หนูแรท (ร้อยละ 56) > กระต่าย (ร้อยละ 56) > ไก่ (ร้อยละ 40) จากนั้นอคราทอกซินเอจะเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด และจับกับพลาสมาโปรตีนในเลือดและสารโมเลกุลใหญ่อื่นๆ โดยพบว่าอคราทอกซินเอสามารถจับกับสารในเลือดได้ถึงร้อยละ 99.98 หลังจากเข้าสู่ระบบเลือดอคราทอกซินเอจะกระจายไปตามส่วนต่างๆ และเข้าสู่กระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดสิ่งมีชีวิต คนและสัตว์ส่วนใหญ่กระบวนการเมตาบอลิซึม อคราทอกซินเอจะเกิดขึ้นที่ตับอคราทอกซินเอจะถูกไฮโดรไลซิสได้เป็น (as)-4-Hydroxyochratoxin A และ (4R)-4-Hydroxyochratoxin A ซึ่งในตับของคนและหนูจะพบในรูปแบบ 4R เป็นส่วนใหญ่ พบว่าเป็นรูปที่เป็นพิษน้อยกว่าอคราทอกซินเอเดิม (parent compound) ส่วนในหนูจะเจอในรูปแบบของ 4S เป็นส่วนใหญ่ แต่ไม่มีการศึกษาวิจัยใดที่รายงานว่า 4S ก่อให้เกิดพิษมากกว่าหรือน้อยกว่า อคราทอกซินเอ เดิม ในสัตว์ชนิดอื่นเช่นในวัวจะมีแบคทีเรียในกระเพาะส่วนรูเมนเปลี่ยน อคราทอกซินเอ ให้เป็น อคราทอกซิน อัลฟา ซึ่งจะมีความเป็นพิษน้อยกว่าอคราทอกซินเอปกติ อคราทอกซินเอจะถูกกำจัดออกจากร่างกายของสิ่งมีชีวิตโดยส่วนใหญ่ถูกกำจัดผ่านไต แต่ในสัตว์บางชนิดอาจกำจัดด้วยวิธีอื่นร่วมด้วยเช่นในหนูจะถูกกำจัดผ่านทางเดินน้ำดี ระยะเวลาในการกำจัดอคราทอกซินเอออกจากร่างกายจะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดสิ่งมีชีวิต โดยในหนูแรทและหนูพูปว่ามีระยะ 5 และ 6 วันตามลำดับ

ในปี 2000 Studer-Rohr และคณะ ได้ศึกษาในอาสาสมัคร โดยเมื่อร่างกายของคนได้รับ ^3H -labelled อคราทอกซินเอปริมาณ 395 ng (3.8 μCi) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากกระบวนการในร่างกายในสองรูปแบบ (Two compartment model) โดยขั้นแรกพบว่าเมื่อดูดซึมแล้ว จะแพร่กระจายเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อจับกับพลาสมาโปรตีน และถูกลำเลียงไปที่ไตเพื่อกำจัดอย่างรวดเร็ว ซึ่งในขั้นนี้จะมีครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)ประมาณ 20 ชั่วโมง จากนั้นจะตามด้วยขั้นที่สองคือการกำจัดอย่างช้าๆโดยไต ซึ่งอัตราเร็วของการกำจัดจะเท่ากับ 0.11 mL/min รวมเวลาที่อคราทอกซินเออยู่ในร่างกาย($t_{1/2}$)เท่ากับ 35 วัน เมื่อศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราเร็วในการกำจัดอคราทอกซินเอออกจากร่างกายของไตในอาสาสมัครจำนวน 8 คน เป็นเวลานาน 2 เดือน พบปริมาณอคราทอกซินเอเริ่มแรกอยู่ในช่วง 0.2-0.9 ng/mL plasma จากการตรวจสอบตลอด 2 เดือนพบว่าปริมาณอคราทอกซินเอในบางคนอยู่ในระดับคงที่ และบางคนมีค่าขึ้นลง ในระหว่าง 2 เดือนพบว่ามีอัตราการกำจัดอคราทอกซินเออยู่ระหว่าง 0.093-0.109 mL/min (ประมาณ 0.13 ลิตรต่อวัน) จากการศึกษาพบว่า ถึงแม้ร่างกายจะได้รับสารพิษไม่สม่ำเสมอ (อาทิตย์ละครั้งหรือเดือนละครั้ง) แต่สามารถตรวจเจออคราทอกซินเอในร่างกายได้เนื่องจากการกำจัดที่ช้านั่นเอง

ข) ความเป็นพิษของอคราทอกซินเอ

i. ระดับความเป็นพิษเฉียบพลัน

ส่วนใหญ่การรายงานความพิษเฉียบพลันจะรายงานในรูปของ LD₅₀ (Lethal dose 50%) โดยมีการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของอคราทอกซินเอในสัตว์ทดลองหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 20 พบว่าสัตว์ที่มีความไวต่ออคราทอกซินเอคือสุนัข และ หมู ส่วนหนูเมาส์และหนูแรทจะมีความไวน้อยที่สุด

ตารางที่ 20 LD₅₀ ของอคราทอกซินเอต่อสัตว์สายพันธุ์ต่างๆ

สายพันธุ์สัตว์	LD ₅₀ (mg/kg bw)		
	Oral*	Intraperitoneal**	Intravenous**
หนูเมาส์	46–58	22–40	26–34
หนูแรท	20–30	13	13
สุนัข	0.2	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
หมู	1	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
ไก่	3.3	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล

ที่มา ดัดแปลงจาก Harwig et al. (1983)

* การรับประทาน, ** ฉีดเข้าช่องท้อง, *** ฉีดเข้าหลอดเลือดดำ

หนูแรทที่ถูกฉีด benzene-free ochratoxin A ที่ความเข้มข้นในช่วง 17-22 mg kg⁻¹ bw จากนั้นหลังจาก 48 ชั่วโมง พบว่ามีการเลือดออกในอวัยวะภายใน และไฟบรินในม้ามจับตัวเป็นก้อน นอกจากนั้นยังเกิดภาวะเลือดแข็งตัวในหลอดเลือดแบบแพร่กระจายของอวัยวะต่างๆ ได้แกใน เนื้อเยื่อ choroid plexus ในโพรงสมอง ตับ ไต และหัวใจ มีผลต่อหัวใจ อาจก่อให้เกิดการช็อคและทำให้หัวใจขาดเลือดได้ (Albassam et al., 1987)

ii. ระดับความเป็นพิษกึ่งเรื้อรัง

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าออกคราทอกซินเอส่งผลทำให้เกิดผลต่อไตมากที่สุด จากการศึกษาระยะสั้นในหนูเมาส์ หนูแรท สุนัข และหมู พบว่าปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับออกคราทอกซินเอส่งผลโดยตรงต่อการเกิดโรคหรือเนื้องอกในไต พบว่าชนิดสายพันธุ์และเพศมีผลต่อการเกิดโรคไตด้วย ออกคราทอกซินเอสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์ในไตได้ เมื่อให้หนูแรทได้รับออกคราทอกซินเอในปริมาณ 0.25 0.50 หรือ 1.00 mg/kg bw โดยได้รับออกคราทอกซินเอ 3 ครั้งต่ออาทิตย์เป็นเวลา นาน 4 อาทิตย์ พบว่าการตายของเซลล์ไตเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับออกคราทอกซินเอมากขึ้น (Domijan *et al.*, 2004) ให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกับกระต่าย เมื่อให้สารพิษจากเชื้อราออกคราทอกซินเอร่วมกับสารพิษจากเชื้อรา Critinin ในกระต่ายโดยให้ผ่านทางอาหารที่ปริมาณสารพิษคือ 0 และ 0.75 mg/kg of feed เป็นเวลานาน 60 วัน พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของเอพิทีเรียลเซลล์ในไต และยังพบอีกว่า มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในไมโทคอนเดรียและแวคคิวโอล ในไมโทคอนเดรียพบว่าการลดลงของ brush border และ microvilli เสียหาย รวมถึงในแวคคิวโอลมีการเปลี่ยนแปลงคือมีอ็อกเซนเนสส์สำคัญหายไป ได้แก่นิวเคลียส (Kumar *et al.*, 2007)

การทดลองที่สำคัญคือการทดลองในหนู เนื่องจากหนูเป็นสายพันธุ์ที่ไวที่สุดต่อการเกิดพิษในไตอันเป็นผลมาจากออกคราทอกซินเอ JECFA ได้กำหนดให้ค่า LOEL ของหนู เป็นค่า Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) อีกด้วย จากการศึกษพบว่าเมื่อให้หนูได้รับอาหารที่มีการปนเปื้อนด้วยสารพิษจาก ออกคราทอกซินเอในปริมาณ 0.008 ถึง 0.041 mg/kg bw/day พบว่าเมื่อปริมาณเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเอนไซม์ PEPCK และgamma-glutamyl transpeptidase ลดลง ซึ่งทำให้การทำงานของไตลดลง ส่งผลต่อมาคือการหลั่งของอินนูลินลดลง และทำให้มีการกำจัดกลูโคสมากขึ้น ส่วนที่เสียหายคือ ไซโตโซลิกของ PEPCK ซึ่งถูกยับยั้งด้วย ออกคราทอกซินเอ (Krogh & Elling, 1977; Elling, 1979a, 1979b, 1983; Elling *et al.*, 1985; Krogh *et al.*, 1988) ดังนั้นค่า LOEL สำหรับหนูคือ 0.008 mg/kg bw/day (JECFA, 2007) จากค่า LOEL ที่ได้จากการทดสอบในหนู ทาง JECFA จึงได้คำนวณค่า PTWI สำหรับมนุษย์ขึ้นมาเท่ากับ 112 ng/kg bw/week โดยใช้ safety factor เท่ากับ 500 ดังที่ได้รายงานในรายงานการประชุมครั้งที่ 37 จากนั้นได้มีการประเมินเกี่ยวกับออกคราทอกซินเออีกครั้งในการประชุมครั้งที่ 44 โดยทางคณะกรรมการ JECFA ได้กำหนดค่า PTWI ลดลงเท่ากับ 100 ng/kg bw/week และได้คงค่านี้อยู่จนถึงปัจจุบัน (JECFA, 2007)

iii. ระดับความเป็นพิษเรื้อรัง

จากการศึกษาผลของออกคราทอกซินเอในระยะของการเกิดพิษเรื้อรัง โดย JECFA และ EFSA (European Food Safety Authority, 2006) พบว่าผลของออกคราทอกซินเอสามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อไต จากการศึกษาระยะ 13 วัน และ 16 วัน แต่ยังไม่สามารถเข้าใจกลไกการเกิดมะเร็งว่ามาจากสาเหตุใด ได้มีสมมุติฐานต่างๆหลายข้อ เช่น การที่ออกคราทอกซินเอ ทำปฏิกิริยากับ DNA โดยตรงทำให้เกิดการเป็นพิษทางพันธุกรรม(Genotoxicity) หรือการที่สร้าง tumor secondary ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine-tRNA synthetase และยับยั้งการสร้างโปรตีน หรืออาจจะไปทำลายการสื่อสารระหว่างเซลล์และทำให้การแบ่งเซลล์ผิดปกติไป หรืออาจทำให้ไมโทคอนเดรียเกิดการการทำงานที่ผิดปกติ ซึ่งทำให้เกิดการเสียหายของ DNA เนื่องจากการที่ถูกทำลายด้วยอนุมูลอิสระ (ROS) เมื่อให้ออกคราทอกซินเอปริมาณ 0, 1 หรือ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมแก่หนูเมาส์เป็นเวลานาน 24 เดือน โดยหนูเมาส์จะถูกตรวจสอบทุกวันว่าตาย

หรือไม่ และมีการชั่งน้ำหนัก พร้อมตรวจสอบปริมาณอาหารที่หนูเมาส์กินทุกวัน หลังจากผ่านไป 1 เดือนพบว่า หนูเมาส์กลุ่มที่ได้รับปริมาณออกคราทอกซินเอ สูงที่สุด มีน้ำหนักลดลง โดยหนูเพศผู้มีน้ำหนักลดลงร้อยละ 33 และเพศเมียมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 25 จากการสังเกตภายนอก ไม่พบการเปลี่ยนแปลงหรือลักษณะการเกิดพิษใดๆ ส่วนโรคที่เกี่ยวกับไตพบเฉพาะในกลุ่มที่ให้ออกคราทอกซินเอในปริมาณสูงสุดเท่านั้น โดยจะพบความรุนแรงในหนูเมาส์เพศผู้มากกว่าเพศเมีย พบว่าที่อัตราการเกิดมะเร็งเกี่ยวกับระบบไต พบในเพศผู้ถึงร้อยละ 53 และในเพศเมียร้อยละ 29 ที่ปริมาณการได้รับออกคราทอกซินเอปริมาณสูงสุด แต่ตรวจไม่พบการเปลี่ยนแปลงไตสำหรับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับออกคราทอกซินเอปริมาณต่ำลงมา

ค) รายงานด้านความเป็นพิษทางพันธุกรรม (Genotoxicity)

ออกคราทอกซินเอสามารถก่อให้เกิดการแตกหักของสาย DNA ได้ จากการศึกษานินูแรทที่ได้รับปริมาณออกคราทอกซินเอความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.25, 0.50, 1.0 หรือ 2.0 mg/kg bw/day โดยได้รับ 5 วันต่อสัปดาห์ นาน 2 สัปดาห์ โดยประเมินจาก comet assay ซึ่งตรวจสอบที่ตับ ไต และม้าม พบว่าที่ตับและไตมีการแตกหักของ DNA เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของออกคราทอกซินเอเพิ่มขึ้น โดยวัดจากการที่ตรวจพบเอนไซม์ Fpg มากขึ้น เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการซ่อมแซม DNA ที่เกิดการแตกหัก (Mally *et al.*, 2005b) และในปีเดียวกัน Kamp และคณะ (2005) ได้ศึกษาการเสียหายของ DNA จากออกคราทอกซินเอโดยการทดลองในหนูแรท โดยหนูแรทได้รับปริมาณ ออกคราทอกซินเอ ดังนี้ คือ 0, 0.03, 0.1 หรือ 0.3 mg/kg bw/day เป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ โดยช่วงความเข้มข้นที่ใช้สามารถกระตุ้นให้เกิดเนื้องอกในไตได้ หากได้รับเป็นเวลา 2 ปี (จากการทดลองในหนูแรท) จากการตรวจสอบความเสียหายของ DNA ด้วยวิธี comet assay พบว่าที่ทุกความเข้มข้นของออกคราทอกซินเอสามารถทำให้ DNA เกิดความเสียหายได้

ง) รายงานด้านความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์และการก่อลูกวิรูป

เมื่อฉีดออกคราทอกซินเอให้หนูแรทที่ความเข้มข้น 0, 0.125, 0.25, 0.50 และ 0.75 mg/kg bw per day ที่วันที่ 6-15 ของการตั้งครรภ์ พบว่าที่ออกคราทอกซินเอระดับ 0.25 mg/kg bw per day ขึ้นไปทำให้เอ็มบริโอและฟัตตาย โดยที่ความเข้มข้นสูงสุด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นทำให้เอ็มบริโอและฟัตตายมากขึ้น รวมทั้งฟัตสมีน้ำหนักและความยาวลดลง และมีความผิดปกติของกระดูกสันหลัง รวมไปถึงความผิดปกติต่อ ตับ ไต สมอง และเรตินาของตา (Wangikar *et al.*, 2004a, 2004b) พบว่าผลการทดสอบเป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองในกระต่าย คือเมื่อฉีดออกคราทอกซินเอที่ความเข้มข้น 0, 0.025, 0.05 or 0.10 mg/kg bw per day ที่วันที่ 6-18 ของการตั้งครรภ์ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด ก่อให้เกิดการตายของฟัตสแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และฟัตสมีน้ำหนักลดลง รวมไปถึงมีการเจริญของฟัตสที่ผิดปกติ เช่นมีการสร้างกระดูกที่ผิดปกติ ข้อเท้าอ เป็นตัน และการเกิดโรคเพิ่มขึ้น ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณสารพิษที่เพิ่มขึ้น (Wangikar *et al.*, 2005).

จ) รายงานด้านความเป็นพิษต่อระบบประสาท

จากการทดสอบใน *in vitro* กับ embryonic midbrain cells ในหนูแรท พบว่าที่ความเข้มข้น ออกคราทอกซินเอ 0.5 และ 1 ug/ml ทำให้จำนวนเซลล์มีปริมาณลดลง (Hong *et al.*, 2002) เช่นเดียวกับการทดลองในหนูเมาส์ โดยทดสอบกับ proliferating neural stem/progenitor cells จาก hippocampus ของหนูเมาส์ โดยทดสอบที่ความเข้มข้น 0.01–100 ug/ml พบว่าเมื่อปริมาณและเวลาเพิ่มขึ้นทำให้จำนวนเซลล์

ลดลงเช่นกัน (Sava *et al.*, 2007) ด้านการทดสอบในหนูแรทที่ได้รับออกราทอกซินเอปริมาณ 0 และ 289 µg/kg bw/day โดยผ่านการกินร่วมกับน้ำดื่มเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าหนูแรทมีความเข้มข้นของหน่วยย่อยของ receptor สำหรับเอนไซม์ hippocampal *N*-methyl-D-aspartate ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบความจำและการเรียนรู้ (Delibas *et al.*, 2003)

ฉ) รายงานด้านความเป็นพิษต่อระบบภูมิคุ้มกัน

เมื่อหนูแรทได้รับออกราทอกซินเอโดยการฉีด ที่ปริมาณ 0, 70, 340 หรือ 1680 µg/kg bw/day นาน 4 สัปดาห์ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของการตายอย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้นสูงสุด และมีการลดลงของระดับ immunoglobulin G (IgG) ที่ระดับความเข้มข้นของออกราทอกซินเอ เท่ากับ 340 µg/kg bw/day และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของออกราทอกซินเอพบว่าสัดส่วนของ T cell ในม้ามลดลง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด (Dortant *et al.*, 2001).

ช) รายงานการก่อมะเร็งของออกราทอกซินเอ

ด้วยเหตุนี้ IARC หรือ International Agency for Research on Cancer ซึ่งเป็นหน่วยงานจัดกลุ่มสารก่อมะเร็งขององค์การอนามัยโลกได้จัดให้ออกราทอกซินเออยู่ในกลุ่ม 2B คือ อาจจะก่อให้เกิดมะเร็งได้ในมนุษย์ แม้ว่าจะมีรายงานว่าออกราทอกซินเอสามารถทำให้หนูแรทและหนูเมาส์เกิดมะเร็งในไตได้ ดังตารางที่ 21 แต่ทางคณะกรรมการ JECFA เห็นว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดมะเร็งนั้นเป็นปริมาณที่ใช้ในการทดลองที่สูงมาก และต้องใช้เวลาจนถึงจะก่อให้เกิดมะเร็งในไตได้ ตลอดจนยังไม่มีข้อมูลระบาดวิทยาในคน ดังนั้น JECFA จึงกำหนดให้ออกราทอกซินเอไม่เป็นสารก่อมะเร็ง

ตารางที่ 21 ค่า LOELs และ NOELs สำหรับการก่อให้เกิด karyomegaly และการเกิดมะเร็งของ ออกราทอกซินเอในหนูแรทและหนูเมาส์เพศผู้

สายพันธุ์ที่ทดสอบ	ผลการศึกษา	ระยะเวลา	LOEL (ug/kg bw/day)	NOEL (ug/kg bw/day)
หนูเมาส์ ^a	เกิดมะเร็งในไต	2 ปี	4400	130
หนูแรท ^b	เกิด karyomegaly ใน proximal tubule cells	90 วัน	62.5	Not established
		9 และ 15 เดือน	70	21
	เกิดมะเร็งในไต	2 ปี	70	21

หมายเหตุ: ^a ได้รับ Ochratoxin A จากการกินร่วมกับอาหาร

^b ได้รับ Ochratoxin A จากการฉีด 5 วันต่อสัปดาห์

ที่มา: National Toxicology Program (2007)

3.1.5.6 การประเมินความเสี่ยงของอคราทอกซินเอในประชากรจากการบริโภคอาหาร

จากการศึกษาของ Yogendrarajah และคณะ (2014) ข้อมูลการสำรวจพบว่าประชากรชาวศรีลังกาในทางตอนเหนือและตอนใต้มีปริมาณการบริโภคพริกแห้งเท่ากับ 2.34 และ 1.34 กรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ และเมื่อประเมินค่าความเสี่ยงของประชาชนชาวศรีลังกาทางตอนเหนือได้รับปริมาณอคราทอกซินเอจากการบริโภคพริกแห้งเท่ากับ $3.59 \text{ ng kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$ ส่วนทางตอนใต้เท่ากับ $2.63 \text{ ng kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$ (ที่ 97.5 percentile) จากงานวิจัยกล่าวว่าประชาชนไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคจากการได้รับอคราทอกซินเอจากการบริโภคพริกแห้ง เนื่องจากค่าที่ได้รับน้อยกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด คือ $17.1 \text{ ng/kg bw/day}$ (JECFA, 2007) เช่นเดียวกับการประเมินความเสี่ยงของประชาชนชาวเนเธอร์แลนด์ต่อการได้รับอคราทอกซินเอจากการบริโภคซีเรียล ซึ่งพบว่าเป็นกลุ่มอาหารหลักที่มีอคราทอกซินเอปนเปื้อนในเนเธอร์แลนด์ถึงร้อยละ 55 โดยปริมาณการได้รับ อคราทอกซินเอที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นไทล์ของประชาชนชาวเนเธอร์แลนด์มีค่าเท่ากับ 28 ng/kg bw/week ซึ่งมีย่านน้อยกว่าค่า PTWI ที่ถูกกำหนดโดย JECFA คือ $100 \text{ ng/kg bw/week}$ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปว่าประชาชนชาวเนเธอร์แลนด์ไม่มีความเสี่ยงต่อการได้รับอคราทอกซินเอจากการบริโภคซีเรียล (Bakker และ Pieters, 2002)

3.1.6 ผลกระทบรวมอะฟลาทอกซินและอคราทอกซินต่อสัตว์เลี้ยง

การให้อาหารสัตว์ที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและอคราทอกซินพบว่าส่งผลในแบบเสริมฤทธิ์กัน ในแง่ของการผลิต คือ ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวสัตว์ลดลงอย่างมาก แต่ในทางกลับกัน ในแง่ของสารชีวเคมีภายในตัวสัตว์ ได้แก่ ฮีโมโกลบิน อัลบูมิน คอเลสเตอรอล กลูโคส เป็นต้น ได้รับผลกระทบจากการได้รับสารพิษเชื้อราทั้งสองชนิดแบบต้านฤทธิ์กัน คือ เมื่อสัตว์ได้รับสารพิษเชื้อราทั้ง 2 ชนิดในระดับความเข้มข้นที่เท่ากันกลับมีผลต่อสารพิษเชื้อราลดลง ทั้งนี้เกิดขึ้นจากอคราทอกซินจะยับยั้งการสะสมของอะฟลาทอกซินในชั้นไขมันของตับภายในตัวสัตว์ (Huff and Derr, 1981; Huff et al., 1984) ในแง่อื่นๆ ได้แก่ ผลผลิตของไข่ การเพิ่มของน้ำหนักตับและไตในตัวสัตว์ บาดแผลที่เกิดขึ้นที่ตับและไต ความผิดปกติของอวัยวะต่างๆ นั้นไม่สามารถสรุปได้ว่าการได้รับสารพิษทั้งสองชนิดส่งผลแบบใด เนื่องจากมีรายงานทั้งในรูปแบบการเสริมฤทธิ์ การเพิ่มฤทธิ์ และการต้านฤทธิ์ (ตารางที่ 22) อ้างอิงจาก Grenier และ Oswald (2011)

ตารางที่ 22 ผลกระทบร่วมอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินต่อสัตว์เลี้ยง

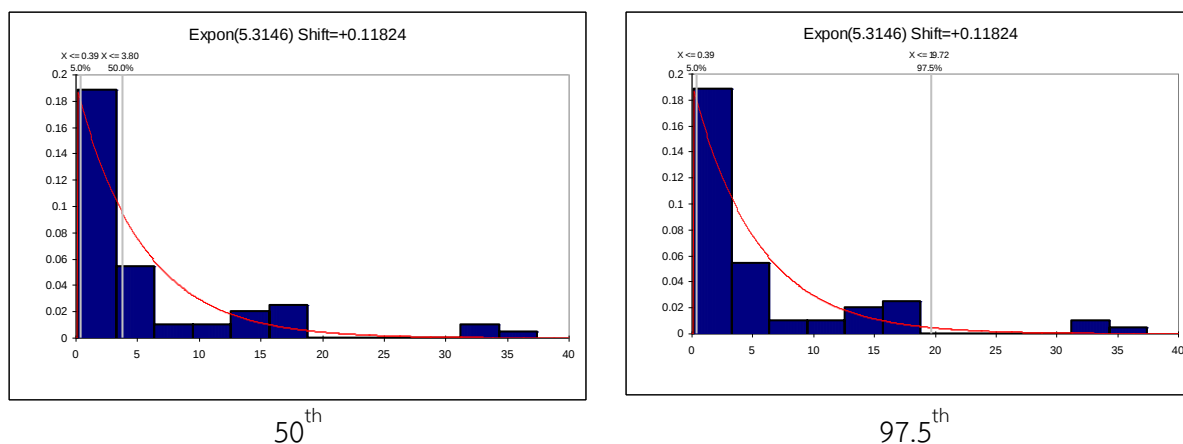
ผลของสารพิษต่อ	ลักษณะการออกฤทธิ์เมื่อมีการปนเปื้อนสารพิษเชื้อรา 2 ชนิด		
	เสริมฤทธิ์กัน	เพิ่มฤทธิ์	ต้านฤทธิ์
อัตราเพิ่มน้ำหนักตัวลดลง	✓		
ผลผลิตไข่	✓	✓	✓
สารชีวเคมีภายในตัวสัตว์			✓
น้ำหนักตับเพิ่มขึ้น	✓	✓	✓
น้ำหนักไตเพิ่มขึ้น	✓	✓	✓
การเกิดบาดแผลที่ตับและไต	✓	✓	✓
ระบบภูมิคุ้มกันลดลง		✓	✓
ความผิดปกติของอวัยวะภายใน	✓	✓	✓

ที่มา: ดัดแปลงจาก Grenier and Oswald (2011)

3.1.7 ผลประเมินความเสี่ยงอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆ

3.1.7.1 ผลการประเมินการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินจากค่าการบริโภคและการปนเปื้อนของพริกป่น

จากการรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆของไทย พบว่า พริกป่นเป็นตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนสูงเมื่อเทียบกับเครื่องเทศชนิดอื่น ส่วนพริกตรวจพบการปนเปื้อนเช่นกันพบในเกือบทุกปีที่เกิดรวบรวมข้อมูล (2555 – 2557) (ตารางที่ 5) การประเมินการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซิน ทำโดย นำค่าการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกป่น (65 ตัวอย่าง) จำลองรูปแบบการกระจายตัวของการปนเปื้อนด้วยโปรแกรม @Risk (Palisade USA) โดยแทนด้วยค่า ND ด้วยค่า Limit of Detection (LOD) $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$ การประเมินการปนเปื้อนเป็นแบบ Point estimate แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับการปนเปื้อนปกติ (50^{th} percentile) และระดับการปนเปื้อนสูง (97.5^{th} percentile) มีค่าเท่ากับ $3.80 \mu\text{g kg}^{-1}$ และ $19.72 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การกระจายตัวของการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกป่นที่ 50th และ 97.5th (แทน ND ด้วย LOD (0.2 µg kg⁻¹))

ข้อมูลปริมาณการบริโภคพริกป่นที่จะใช้ในการคำนวณการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินจากพริกป่น ใช้ข้อมูลการบริโภคจากสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2559) ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลการบริโภคอาหารชนิดต่างๆ จากการสำรวจการบริโภคของประชากรทั้งประเทศกว่า 8,478 คน โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 3 รอบ ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2557 ถึง เดือนเมษายน 2558 เพื่อให้มีความแตกต่างของการบริโภคอาหารในแต่ละฤดูกาล โดยค่าการบริโภคพริกป่นแสดงในตารางที่ 23 ค่าการบริโภคแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มประชากรทั่วไป (Per capita) และกลุ่มผู้บริโภคเฉพาะอาหารนั้น (Eater only) และนำค่าประเมินการปนเปื้อนที่ระดับ 50th และ 97.5th เปอร์เซ็นไทล์แทนลงในสมการปริมาณการได้รับสัมผัส (Shephard, 2008) คือ

ปริมาณได้รับสัมผัสทั้งหมด (ng kg⁻¹ body weight day⁻¹)

$$= \frac{\text{ปริมาณสารพิษเชื้อราที่ปนเปื้อนในอาหาร (ng g⁻¹) \times ปริมาณอาหารที่บริโภค (g day⁻¹)}{\text{น้ำหนักตัวของผู้บริโภค (kg.)}}$$

โดย น้ำหนักเฉลี่ยของประชากรไทยในช่วงอายุต่างๆ อ้างอิงตามข้อมูลของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (ภาคผนวก ค)

ตารางที่ 23 ปริมาณการบริโภคพริกป่นของประชากรไทยในช่วงอายุต่างๆ

ช่วงอายุ	ค่าการบริโภคพริกป่น*			
	Per capita (กรัมต่อคนต่อวัน)		Eater only (กรัมต่อคนที่บริโภคต่อวัน)	
	Mean	97.5th	Mean	97.5th
6 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 13 ปี	0.20	1.40	1.19	2.80
13 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 18 ปี	0.50	2.80	1.72	2.80
18 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 35 ปี	0.77	4.00	1.94	5.60
35 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 65 ปี	0.58	2.80	1.56	4.20
อายุ 65 ปีเต็ม และมากกว่า	0.47	4.20	1.38	5.60
อายุ 3 ปีขึ้นไป	0.56	2.80	1.64	4.20

*มกอช 2559

จากการรายงานการสำรวจข้อมูลการบริโภคพริกป่น พบว่าช่วงอายุผู้บริโภคที่บริโภคพริกป่นสูงสุด 2 กลุ่ม คือ ผู้บริโภค ที่อายุ 65 ปีเต็มและมากกว่า และผู้บริโภคกลุ่มอายุ 18 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 35 ปี ในกลุ่มผู้บริโภคพริกป่นเท่านั้น (Eater only) มีค่าเท่ากับ 5.6 กรัมต่อคนที่บริโภคต่อวัน เมื่อนำมาคำนวณค่าการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซิน พบว่า กลุ่มผู้บริโภคที่อายุ 65 ปีเต็มและมากกว่ามีโอกาสได้รับสัมผัสสูงสุด ($1.98 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$) หากบริโภคพริกป่นนี้ ที่ระดับการปนเปื้อน 97.5^{th} เปอร์เซ็นต์ไทล์ หมายความว่า หากผู้บริโภคที่อายุ 65 ปีเต็มและมากกว่าในกลุ่มผู้บริโภคพริกป่นเท่านั้น (Eater only) บริโภคพริกป่น 5.6 กรัมต่อคนที่บริโภคต่อวัน โดยพริกป่นที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน $19.72 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ จะได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซิน $1.98 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ เนื่องจากอะฟลาทอกซินเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่มที่ 1 คือ ก่อมะเร็งในมนุษย์ และผู้ป่วยไวรัสตับอักเสบบีมีโอกาสได้รับความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการได้รับสัมผัสกับอะฟลาทอกซินมากกว่าคนปกติ 30 เท่า (IARC, 1993) ดังนั้น คุณลักษณะความเสี่ยงของอะฟลาทอกซิน สามารถคำนวณจาก สมการของ JECFA (1998) โดย

$$\text{Potency (cancer/year/100,000)} = \text{Exposure} \times \text{Average potency}$$

$$\text{โดย Average potency} = (0.3 \times \text{HBsAg}^+ \text{ prevalence rate}) + (0.01 \times \text{HBsAg}^- \text{ prevalence rate})$$

$$= (0.3 \times 0.05) + (0.01 \times 0.95)$$

$$= 0.0245$$

โอกาสที่คนเป็นมะเร็งตับ (Potency) เท่ากับ ค่าการได้รับสัมผัสคูณกับค่าเฉลี่ยของโอกาส ซึ่งเท่ากับ 0.3 (คนป่วยเป็นไวรัสตับอักเสบบีมีโอกาสได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินมากกว่าคนปกติ 30 เท่า) คูณด้วย 0.05 (คนไทยเป็นไวรัสตับอักเสบบีร้อยละ 5) (Ott et al., 2012)) บวกด้วยโอกาสของกลุ่มคนที่ไม่เป็นไวรัสตับอักเสบบี คือ 0.01 คูณด้วย 0.95 (กลุ่มคนไทยที่ไม่เป็นไวรัสตับอักเสบบี) ดังนั้น ค่าโอกาสที่คนเป็นมะเร็งตับ (Potency) เท่ากับ 0.0245

ตารางที่ 24 ข้อมูลปริมาณการได้รับสัมผัส AFs จากการบริโภคผักปน (ND แทนด้วย $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$)

ช่วงอายุ	ระดับการปนเปื้อน	Exposure (ng/kg.bw/day)			
		Per capita		Eater only	
		Mean	97.5th	Mean	97.5th
6 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 13 ปี	50th (3.80)	0.02	0.16	0.14	0.32
	97.5th (19.72)	0.12	0.83	0.70	1.65
13 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 18 ปี	50th (3.80)	0.04	0.20	0.12	0.20
	97.5th (19.72)	0.18	1.03	0.63	1.03
18 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 35 ปี	50th (3.80)	0.05	0.24	0.12	0.34
	97.5th (19.72)	0.24	1.25	0.61	1.75
35 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 65 ปี	50th (3.80)	0.03	0.17	0.09	0.25
	97.5th (19.72)	0.18	0.87	0.49	1.31
อายุ 65 ปีเต็ม และมากกว่า	50th (3.80)	0.03	0.29	0.09	0.38
	97.5th (19.72)	0.17	1.49	0.49	1.98
อายุ 3 ปีขึ้นไป	50th (3.80)	0.04	0.18	0.11	0.28
	97.5th (19.72)	0.19	0.96	0.56	1.44

*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

จากตารางที่ 24 หากกรณีปนเปื้อนสูงสุดได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซิน $1.98 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ เมื่อคำนวณหาโอกาสการเกิดมะเร็งระดับจากการบริโภคผักปน พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0485 คนต่อปีต่อ 100,000 คน (ตารางที่ 25) หรือ 5 คน ใน 10 ล้านคน ซึ่งเป็นจำนวนที่สูงสุดหรือเป็นกรณีที่แย่ที่สุดที่ (worst case) อาจเกิดขึ้นจากการบริโภคผักปนที่คำนวณจากค่าการปนเปื้อนสูงสุดที่ 97.5^{th} เปอร์เซ็นไทล์ ($19.72 \mu\text{g kg}^{-1}$) อย่างไรก็ตาม พบว่า โอกาสการเกิดมะเร็งระดับจากการบริโภคผักปนที่สูงสุด (0.0485 คนต่อปีต่อ 100,000) นั้นต่ำกว่าโอกาสการเกิดมะเร็งระดับจากการบริโภคถั่วบด คือ 1.2 คนต่อปีต่อ 100,000 (Kooprasertying, 2016) แต่ยังคงสูงกว่าโอกาสการเกิดมะเร็งระดับจากการบริโภคผักแห้งที่ปนเปื้อนอะฟลาทอกซินปีวันในประเทศไทยศรีลังกา คือ 0.046 คนต่อปีต่อ 100,000 คน และ 0.028 คนต่อปีต่อ 100,000 คน ในคนทางตอนเหนือและคนทางตอนใต้ของประเทศไทยศรีลังกาตามลำดับ (Yogendrarajah et al., 2014)

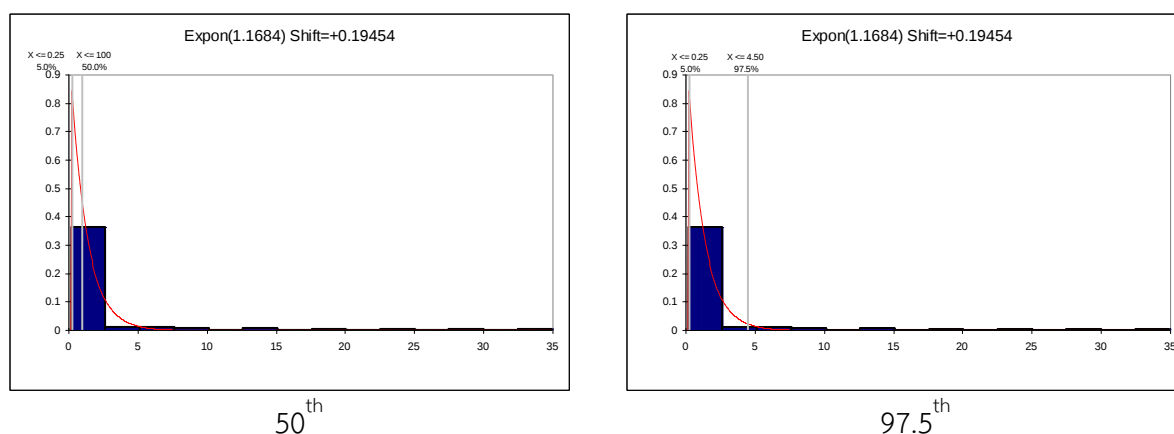
ตารางที่ 25 จำนวนคนที่จะมีโอกาสป่วยเป็นมะเร็งจากการบริโภคผักปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน (ND แทนด้วย $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$) โดยคำนวณจากค่าการปนเปื้อนพริกพริกปน

ช่วงอายุ	ระดับการปนเปื้อน	โอกาสป่วยเป็นมะเร็ง (คน/ปี/100,000 คน)			
		Per capita		Eater only	
		Mean	97.5th	Mean	97.5th
6 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 13 ปี	50th (3.80)	0.0006	0.0039	0.0033	0.0078
	97.5th (19.72)	0.0029	0.0203	0.0172	0.0405
13 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 18 ปี	50th (3.80)	0.0009	0.0049	0.0030	0.0049
	97.5th (19.72)	0.0045	0.0253	0.0156	0.0253
18 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 35 ปี	50th (3.80)	0.0011	0.0059	0.0029	0.0083
	97.5th (19.72)	0.0059	0.0306	0.0148	0.0429
35 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 65 ปี	50th (3.80)	0.0008	0.0041	0.0023	0.0062
	97.5th (19.72)	0.0044	0.0214	0.0119	0.0321
อายุ 65 ปีเต็ม และมากกว่า	50th (3.80)	0.0008	0.0070	0.0023	0.0093
	97.5th (19.72)	0.0041	0.0364	0.0120	0.0485
อายุ 3 ปีขึ้นไป	50th (3.80)	0.0009	0.0045	0.0027	0.0068
	97.5th (19.72)	0.0047	0.0235	0.0138	0.0352

*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

3.1.7.2 ผลการประเมินการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินจากการปนเปื้อนพริกแห้ง

จากการรวบรวมข้อมูลพริกแห้งปนเปื้อน พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในปี 2555-2557 มีปริมาณปนเปื้อนสูงสุด คือ $34.9 \mu\text{g kg}^{-1}$ เมื่อนำข้อมูลการปนเปื้อนทั้งหมด (214 ตัวอย่าง) จำลองสถานการณ์ด้วย @Risk โปรแกรม (Palisade, USA) เพื่อการกระจายตัวของข้อมูล โดยแทนค่า ND (ค่าต่ำกว่า LOD) ด้วย LOD ($0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$) ทำนองเดียวกับกรณีพริกป่น (ข้อ 3.1.7.1) พบว่า ค่าการปนเปื้อนที่ 50th และ 97.5th เปอร์เซ็นไทล์ คือ $1 \mu\text{g kg}^{-1}$ และ $4.5 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ โดยค่าการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินจากการบริโภคพริกแห้งแสดงไว้ในตารางที่ 26 ที่ระดับการปนเปื้อนและปริมาณการบริโภคที่ต่างกัน



ภาพที่ 5 การกระจายตัวของการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในพริกแห้งที่ 50th และ 97.5th (แทน ND ด้วย LOD ($0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$))

เนื่องจากไม่พบข้อมูลการบริโภคพริกแห้ง การคำนวณค่าการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินนี้จะคำนวณด้วยค่าการบริโภคพริกป่น (มกอช, 2559) ดังแสดงในตารางที่ 23 แต่ใช้ค่าการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจากพริกแห้งจากข้อมูลที่รวบรวมมา ซึ่งพบว่า ค่าการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินจากการบริโภคพริกป่นสูงสุด พบในประชากรในช่วงอายุ อายุ 65 ปีเต็มและมากกว่า ($0.45 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$) ในกลุ่มผู้บริโภคพริกป่นเท่านั้น (Eater only) ซึ่งส่งผลให้โอกาสการเกิดมะเร็งตับจากการบริโภคพริกแห้งในรูปพริกป่น คือ 0.0111 คนต่อปีต่อ 100,000 คน (ตารางที่ 27) หรือ 2 คน ใน 10 ล้านคน หรือหมายความว่า หากนำพริกแห้งนี้มาผลิตเป็นพริกป่นให้คนบริโภค จะพบว่ากลุ่มผู้บริโภคที่มีความเสี่ยงสูงสุด คือ ผู้บริโภคกลุ่มอายุ 65 ปีเต็มหรือมากกว่า โดยจะได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซิน $0.45 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ และหากนำค่าดังกล่าวไปประเมินโอกาสการเกิดมะเร็งตับจากการบริโภคพริกแห้ง จะมีโอกาสที่คนจะป่วยจากมะเร็งตับจำนวน 2 คน จาก 10 ล้านคน ซึ่งน้อยกว่าโอกาสการป่วยเป็นมะเร็งตับจากการบริโภคพริกป่นในหัวข้อ 3.1.7.1 (5 คน ใน 10 ล้านคน) กลุ่มที่มีความเสี่ยงรองลงมาคือกลุ่มช่วงอายุ 18 ปีเต็มถึงต่ำกว่า 35 ปีในกลุ่มผู้บริโภคพริกป่นเท่านั้น (Eater only) พบปริมาณการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซิน $0.40 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ และมีโอกาสป่วยเป็นมะเร็งตับจากการบริโภคพริกแห้งในรูปพริกป่น 0.0098 คนต่อปีต่อ 100,000 คน หรือ 10 คน ใน 100 ล้านคน หรือหมายความว่าหากประชากรอายุ 18 ปีเต็มถึงต่ำกว่า 35 ปีที่บริโภคพริกในปริมาณมาก หากพบการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินในระดับสูง ($4.50 \mu\text{g kg}^{-1}$) มีโอกาสได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซิน $0.40 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ และหากนำค่าดังกล่าวไปคำนวณโอกาสการเกิดมะเร็งตับ พบว่า มีโอกาสคนที่คนจะป่วยเป็นมะเร็งตับจากการบริโภคพริกแห้งนี้ 10 คน ใน 100 ล้านคน ซึ่งสูงกว่าโอกาสการเกิดมะเร็งตับซึ่งคำนวณจากค่าการปนเปื้อน

อะฟลาทอกซินปีวันในข้าวกล้อง (เก็บเกี่ยวฤดูฝน) คือ 3 คน ใน 100 ล้านคน (Iamtaweearoen et al., 2016)

ตารางที่ 26 ข้อมูลปริมาณการได้รับสัมผัส AFs จากการบริโภคพริกปนจากค่าการปนเปื้อนในพริกแห้ง (ND แทนด้วย $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$)

ช่วงอายุ	ระดับการปนเปื้อน	Exposure (ng/kg.bw/day)			
		Per capita		Eater only	
		Mean	97.5th	Mean	97.5th
6 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 13 ปี	50th (1.00)	0.01	0.04	0.04	0.08
	97.5th (4.50)	0.03	0.19	0.16	0.38
13 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 18 ปี	50th (1.00)	0.01	0.05	0.03	0.05
	97.5th (4.50)	0.04	0.24	0.14	0.24
18 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 35 ปี	50th (1.00)	0.01	0.06	0.03	0.09
	97.5th (4.50)	0.05	0.29	0.14	0.40
35 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 65 ปี	50th (1.00)	0.01	0.04	0.02	0.07
	97.5th (4.50)	0.04	0.20	0.11	0.30
อายุ 65 ปีเต็ม และมากกว่า	50th (1.00)	0.01	0.08	0.02	0.10
	97.5th (4.50)	0.04	0.34	0.11	0.45
อายุ 3 ปีขึ้นไป	50th (1.00)	0.01	0.05	0.03	0.07
	97.5th (4.50)	0.04	0.22	0.13	0.33

*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

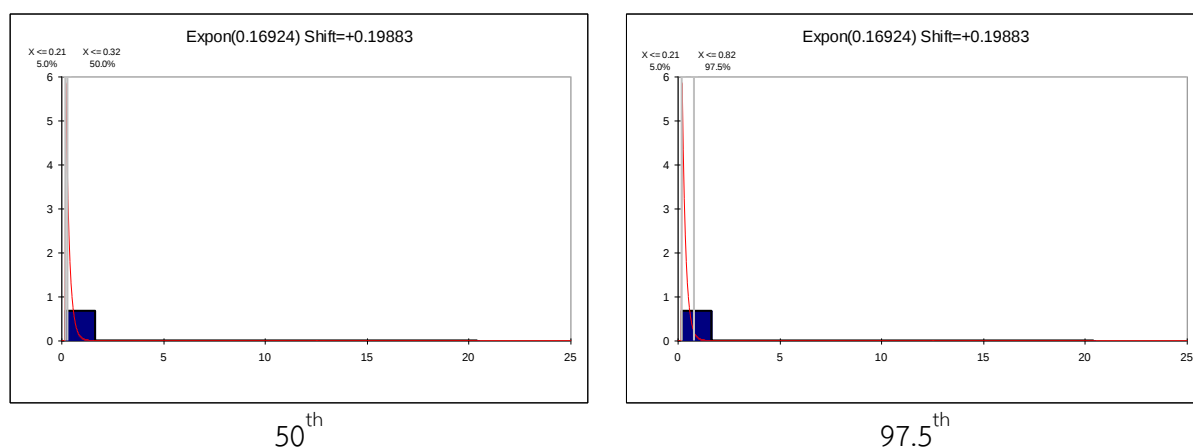
ตารางที่ 27 จำนวนคนที่จะมีโอกาสป่วยเป็นมะเร็งจากการบริโภคผักปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน (ND แทนด้วย $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$) โดยคำนวณจากค่าการปนเปื้อนพริกแห้ง

ช่วงอายุ	ระดับการปนเปื้อน	โอกาสป่วยเป็นมะเร็ง (คน/ปี/100,000 คน)			
		Per capita		Eater only	
		Mean	97.5th	Mean	97.5th
6 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 13 ปี	50th (1.00)	0.0001	0.0010	0.0009	0.0021
	97.5th (4.50)	0.0007	0.0046	0.0039	0.0092
13 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 18 ปี	50th (1.00)	0.0002	0.0013	0.0008	0.0013
	97.5th (4.50)	0.0010	0.0058	0.0035	0.0058
18 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 35 ปี	50th (1.00)	0.0003	0.0016	0.0008	0.0022
	97.5th (4.50)	0.0013	0.0070	0.0034	0.0098
35 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 65 ปี	50th (1.00)	0.0002	0.0011	0.0006	0.0016
	97.5th (4.50)	0.0010	0.0049	0.0027	0.0073
อายุ 65 ปีเต็ม และมากกว่า	50th (1.00)	0.0002	0.0018	0.0006	0.0025
	97.5th (4.50)	0.0009	0.0083	0.0027	0.0111
อายุ 3 ปีขึ้นไป	50th (1.00)	0.0002	0.0012	0.0007	0.0018
	97.5th (4.50)	0.0011	0.0054	0.0031	0.0080

*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

3.1.7.3 ผลการประเมินการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินจากค่าการปนเปื้อนเครื่องแกงและค่าการบริโภคเครื่องแกง

จากการรวบรวมผลการตรวจวิเคราะห์อะฟลาทอกซินในเครื่องแกง 145 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อน 10 ตัวอย่าง มีปริมาณปนเปื้อนสูงสุด $20.4 \mu\text{g kg}^{-1}$ เมื่อนำค่าการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องแกงมาจำลองสถานการณ์ด้วย @Risk (Palisade, USA) เพื่อการกระจายตัวของข้อมูล โดยแทนค่า ND ด้วย LOD ($0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$) พบว่า ค่าการปนเปื้อนที่ 50th และ 97.5th เพอร์เซ็นต์ไทล์ คือ $0.32 \mu\text{g kg}^{-1}$ และ $0.82 \mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ



ภาพที่ 6 การกระจายตัวของการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องแกงที่ 50th และ 97.5th (แทน ND ด้วย LOD ($0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$))

โดยค่าการบริโภคเครื่องแกงที่ใช้คำนวณอ้างอิงจากปริมาณการบริโภคเครื่องแกงจากงานวิจัยของ สุพรรณษา กังเซ่ง (Kongseng, 2008) ซึ่งได้จากการทำแบบสอบถามประชากร 368 คน ที่อาศัยในกรุงเทพมหานคร ช่วงอายุตั้งแต่ 6 -60 ปี โดยค่าการบริโภคเครื่องแกงได้จากการคำนวณกลับเป็นค่าการบริโภคเครื่องแกงแดงในอาหารแต่ละชนิด (ภาคผนวก ง)

เมื่อนำค่าการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในเครื่องแกงที่ 50th และ 97.5th เพอร์เซ็นต์ไทล์ ไปคำนวณค่าการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินจากการบริโภคเครื่องแกงในอาหาร 12 ชนิด พบว่า อาหารที่พบว่าได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินสูงสุดคือ น้ำยา ที่ระดับการปนเปื้อนสูง (97.5th) ในกลุ่มผู้บริโภคน้ำยาเท่านั้น (Eater only) ดังนั้น หากเครื่องแกงมีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน $0.82 \mu\text{g kg}^{-1}$ ผู้บริโภคจะได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินจากการบริโภคน้ำยา $0.184 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ เมื่อนำค่าดังกล่าวไปคำนวณโอกาสการเป็นมะเร็งตับจากการบริโภคเครื่องแกงจากอาหารคือ น้ำยา เท่ากับ 0.00452 คนต่อปีต่อ 100,000 คน (ตารางที่ 29) หรือ 5 คน ใน 100 ล้านคน ซึ่งจัดได้ว่ามีความเสี่ยงต่ำมาก อย่างไรก็ตาม โอกาสการเป็นมะเร็งตับจากการบริโภคเครื่องแกงจากอาหารคือ น้ำยา นั้นต่ำกว่าโอกาสการเป็นมะเร็งตับจากการบริโภคเครื่องแกงแดง คือ 2.26 คนต่อปีต่อ 100,000 คน (กิตติรัตน์และคณะ 2008) แม้ว่าค่าการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินสูงสุดนั้น คือ น้ำยา แต่โอกาสการเกิดมะเร็งตับจากการบริโภคอาหารชนิดดังกล่าวก็นั้นต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับพริกป่นและพริกแห้ง

ตารางที่ 28 ข้อมูลปริมาณการได้รับสัมผัส AFs จากการบริโภคเครื่องแกง จากค่าการปนเปื้อนเครื่องแกง (ND แทนด้วย $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$) ของประชากรในช่วงอายุ 6 – 60 ปี ในกรุงเทพมหานคร

ช่วงอายุ	ระดับการปนเปื้อน	Exposure (ng/kg.bw/day)			
		Per capita		Eater only	
		Mean	97.5th	Mean	97.5th
ทอดมัน	50th (0.32)	0.005	0.015	0.011	0.032
	97.5th (0.82)	0.012	0.038	0.028	0.082
น้ำยา	50th (0.32)	0.009	0.026	0.026	0.072
	97.5th (0.82)	0.022	0.066	0.067	0.184
ห่อหมก	50th (0.32)	0.003	0.008	0.009	0.025
	97.5th (0.82)	0.007	0.020	0.023	0.064
ผัดเผ็ด	50th (0.32)	0.005	0.016	0.015	0.045
	97.5th (0.82)	0.014	0.041	0.037	0.115
พะแนง	50th (0.32)	0.003	0.009	0.010	0.030
	97.5th (0.82)	0.008	0.024	0.025	0.076
ฉู่ฉี่	50th (0.32)	0.001	0.002	0.006	0.014
	97.5th (0.82)	0.002	0.005	0.015	0.037
แกงเห็ด	50th (0.32)	0.001	0.004	0.007	0.018
	97.5th (0.82)	0.003	0.009	0.018	0.046
แกงแดง	50th (0.32)	0.004	0.012	0.011	0.034
	97.5th (0.82)	0.010	0.031	0.028	0.086
แกงคั่ว	50th (0.32)	0.001	0.002	0.005	0.013
	97.5th (0.82)	0.002	0.005	0.013	0.034
แกงขี้เหล็ก	50th (0.32)	0.001	0.002	0.005	0.012
	97.5th (0.82)	0.002	0.005	0.012	0.030
แกงป่า	50th (0.32)	0.001	0.003	0.007	0.021
	97.5th (0.82)	0.003	0.008	0.019	0.053
แกงมัสมั่น	50th (0.32)	0.001	0.002	0.003	0.008
	97.5th (0.82)	0.002	0.006	0.008	0.020

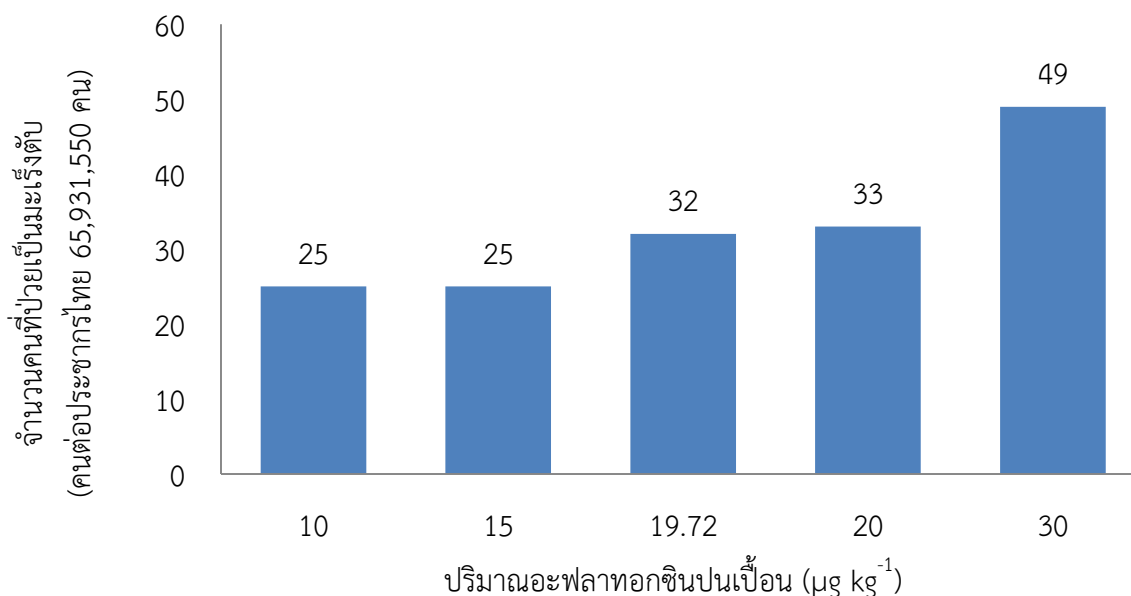
*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

ตารางที่ 29 จำนวนคนที่จะมีโอกาสป่วยเป็นมะเร็งจากการบริโภคอาหารชนิดต่างๆ ที่เครื่องแกงปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน (ND แทนด้วย $0.2 \mu\text{g kg}^{-1}$)

อาหาร	ระดับการปนเปื้อน	โอกาสป่วยเป็นมะเร็ง (คน/ปี/100,000 คน)			
		Per capita		Eater only	
		Mean	97.5th	Mean	97.5th
ทอดมัน	50th (0.32)	0.00012	0.00036	0.00027	0.00078
	97.5th (0.82)	0.00030	0.00093	0.00069	0.00201
น้ำยา	50th (0.32)	0.00021	0.00063	0.00064	0.00176
	97.5th (0.82)	0.00054	0.00162	0.00165	0.00452
ห่อหมก	50th (0.32)	0.00006	0.00019	0.00022	0.00061
	97.5th (0.82)	0.00016	0.00048	0.00057	0.00156
ผัดเผ็ด	50th (0.32)	0.00013	0.00039	0.00036	0.00110
	97.5th (0.82)	0.00033	0.00100	0.00091	0.00283
พะแนง	50th (0.32)	0.00008	0.00023	0.00024	0.00072
	97.5th (0.82)	0.00019	0.00058	0.00062	0.00185
ฉู่ฉี่	50th (0.32)	0.00002	0.00005	0.00014	0.00035
	97.5th (0.82)	0.00004	0.00013	0.00037	0.00090
แกงเห็ดลือ	50th (0.32)	0.00003	0.00009	0.00017	0.00044
	97.5th (0.82)	0.00007	0.00022	0.00043	0.00113
แกงแดง	50th (0.32)	0.00010	0.00029	0.00027	0.00082
	97.5th (0.82)	0.00025	0.00075	0.00068	0.00211
แกงคั่ว	50th (0.32)	0.00002	0.00005	0.00013	0.00032
	97.5th (0.82)	0.00004	0.00012	0.00032	0.00082
แกงซี่เหล็ก	50th (0.32)	0.00002	0.00005	0.00012	0.00028
	97.5th (0.82)	0.00004	0.00013	0.00030	0.00073
แกงป่า	50th (0.32)	0.00003	0.00008	0.00018	0.00051
	97.5th (0.82)	0.00007	0.00020	0.00045	0.00131
แกงมัสมั่น	50th (0.32)	0.00002	0.00006	0.00008	0.00019
	97.5th (0.82)	0.00005	0.00015	0.00019	0.00048

*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

3.1.8 ประเมินโอกาสการเกิดมะเร็งจากการได้รับสัมผัสอะฟลาทอกซินในพริกป่น



ภาพที่ 7 ปริมาณอะฟลาทอกซิน ($\mu\text{g kg}^{-1}$) ที่ส่งผลต่อการเกิดมะเร็งตับ

จากการรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนของเครื่องเทศทั้งหมด พบว่า พริกป่น เป็นเครื่องเทศที่มีร้อยละการปนเปื้อนสูงสุด ($19.72 \mu\text{g kg}^{-1}$) ขณะเดียวกันก็พบว่ามีค่าการได้รับสัมผัสและโอกาสการเกิดมะเร็งตับสูงสุดเช่นกัน คือ $1.98 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ และ 0.0485 คนต่อปีต่อ 100,000 คน ซึ่งหากนำมาเปรียบเทียบกับประชากรไทยในปัจจุบันจำนวน 65,931,550.00 คน (ประกาศกรมการปกครอง 2560) จากการคำนวณพบว่ามีโอกาสที่พบคนป่วยจากมะเร็งตับ 32 คน (ภาพที่ 7) หรือหากแทนค่ามาตรฐานอะฟลาทอกซินตามตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ.2529 คือ ที่ $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ จะส่งผลให้มีโอกาสที่ผู้ป่วยจากโรคมะเร็ง 33 คนจากจำนวนประชากรไทยทั้งหมด ซึ่งหากนำปริมาณอะฟลาทอกซินที่ยอมให้พบในอาหารของแต่ละประเทศมาแทนค่าการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน และคำนวณหาการได้รับสัมผัสและโอกาสการเกิดมะเร็งตับจากการบริโภคพริก พบว่าจะมีโอกาสที่ประชากรป่วยด้วยมะเร็งตับจากการบริโภคพริกป่น (ตารางที่ 30) สูงกว่าเมื่อกำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินที่ยอมรับให้พบได้ในอาหารที่ $15 \mu\text{g kg}^{-1}$ แต่ทั้งนี้ค่าที่คำนวณได้อาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดมะเร็งในตัวยังมีปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย ไม่ได้เกิดจากการบริโภคพริกป่นที่ปนเปื้อนสารพิษเชื้อราเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 30 ปริมาณอะฟลาทอกซินที่ส่งผลต่อการเกิดมะเร็งตับ

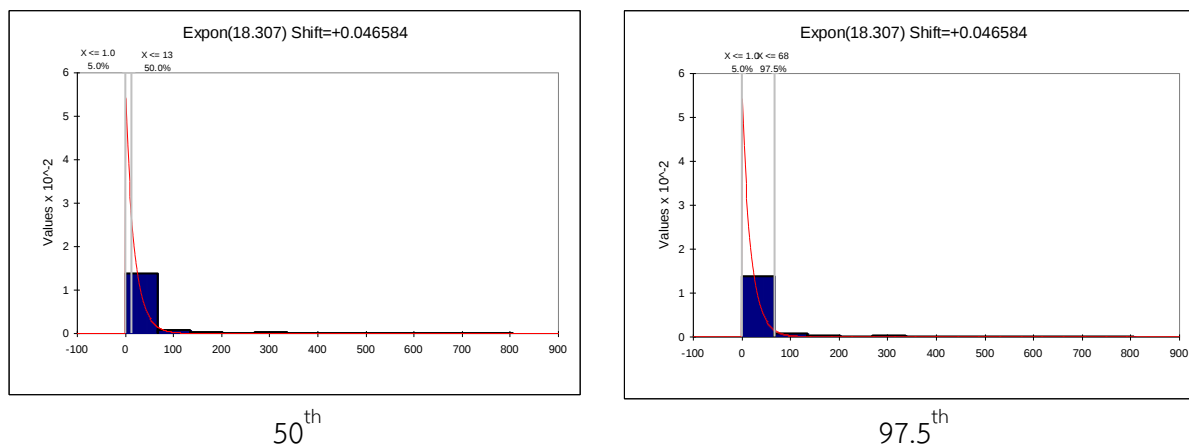
ปริมาณอะฟลาทอกซิน ที่ยอมให้ พบในอาหาร ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	จำนวนคนเป็นมะเร็ง ต่อ ปี ต่อ 100,000 คน	จำนวนคนเป็นมะเร็ง ต่อ ปีต่อประชากรไทย ทั้งหมด*	อ้างอิง
10	0.037	25	EU
15	0.037	25	โคเด็กซ์, แคนาดา,
19.72	0.049	32	-
20	0.049	33	ไทย, ฮองกง, อเมริกา,
30	0.074	49	โคลัมเบีย

*ประชากรไทยทั้งหมด 65,931,550.00 คน (ประกาศกรมการปกครอง 2560)

3.1.8 ผลประเมินความเสี่ยงออกราทอกซินในเครื่องเทศชนิดต่างๆ

3.1.8.1 ผลการประเมินการได้รับสัมผัส ออกราทอกซินจากค่าการปนเปื้อนพริกแห้งและค่าการบริโภคพริกป่น

จากการรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนออกราทอกซินเอในเครื่องเทศชนิดต่างๆ พบว่า พริกแห้งเป็นเครื่องเทศชนิดเดียวที่พบรายงาน การปนเปื้อนออกราทอกซินเอจากการเก็บตัวอย่างในปี 2559 จากกรุงเทพมหานครฯ (21 ตัวอย่าง) นครราชสีมา (29 ตัวอย่าง) พิษณุโลก (20 ตัวอย่าง) และกาญจนบุรี (20 ตัวอย่าง) รวม 90 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนในช่วงความเข้มข้นของออกราทอกซินอยู่ในช่วง ND – 807.84 $\mu\text{g kg}^{-1}$ เมื่อนำค่าการปนเปื้อน 90 ตัวอย่าง ไปจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม @ Risk (Palisade, USA) เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลที่ 50th และ 97.5th percentile โดย ค่า ND แทนด้วย ค่า Limit of Quantitation (LOQ) สำหรับการค่า LOQ ของออกราทอกซินเอ คือ 0.5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ การกระจายตัวของพริกแห้งที่ 50th percentile และที่ 97.5th percentile (ภาพที่ 8) คำนวณแล้วมีค่าเท่ากับ 13 $\mu\text{g kg}^{-1}$ และ 68 $\mu\text{g kg}^{-1}$ ตามลำดับ



ภาพที่ 8 การกระจายตัวของ การปนเปื้อนออกคราทอกซินในพริกแห้งที่ 50th และ 97.5th (แทน ND ด้วย LOQ ($0.5 \mu\text{g kg}^{-1}$))

ปริมาณการได้รับสัมผัสส่อคราทอกซินในพริกแห้งแสดงไว้ในตารางที่ 31 โดยข้อมูลปริมาณการบริโภคพริกป่นเป็นข้อมูลของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช, 2559) (ตารางที่ 23) ปริมาณการได้รับสัมผัสส่อคราทอกซินสูงสุดพบในกลุ่มผู้บริโภคที่บริโภคเฉพาะพริกป่น (Eater only) ช่วงอายุอายุ 65 ปีเต็มและมากกว่ามีค่า $6.83 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ ที่ระดับการปนเปื้อนที่ 97.5th ($68 \mu\text{g kg}^{-1}$) รองลงมาคือ ผู้บริโภคที่บริโภคเฉพาะพริกป่น (Eater only) ช่วงอายุ 18 ปีเต็มถึงต่ำกว่า 35 ปีมีค่า $6.03 \text{ ng kg}^{-1} \cdot \text{bw day}^{-1}$ ที่ระดับการปนเปื้อนที่ 97.5th ($68 \mu\text{g kg}^{-1}$) (ตารางที่ 31)

ตารางที่ 31 ข้อมูลปริมาณการได้รับสัมผัสส่อคราทอกซินเอจากการบริโภคพริกป่น

ช่วงอายุ	การปนเปื้อน	Exposure (ng/kg.bw/day)			
		Per capita		Eater only	
		Mean	97.5th	Mean	97.5th
3 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 6 ปี	50th (13)	0.02	0.30	0.50	1.06
	97.5th(68)	0.12	1.58	2.64	5.52
6 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 13 ปี	50th (13)	0.08	0.55	0.46	1.09
	97.5th(68)	0.41	2.85	2.42	5.70
13 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 18 ปี	50th (13)	0.12	0.68	0.42	0.68
	97.5th(68)	0.64	3.56	2.19	3.56
18 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 35 ปี	50th (13)	0.16	0.82	0.40	1.15
	97.5th(68)	0.83	4.31	2.09	6.03
35 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 65 ปี	50th (13)	0.12	0.57	0.32	0.86
	97.5th(68)	0.62	3.00	1.67	4.50
อายุ 65 ปีเต็ม และมากกว่า	50th (13)	0.11	0.98	0.32	1.31
	97.5th(68)	0.57	5.12	1.68	6.83
อายุ 3 ปีขึ้นไป	50th (13)	0.13	0.63	0.37	0.95
	97.5th(68)	0.66	3.31	1.94	4.96

*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

เนื่องจากอคราทอกซินเอ (OTA) เป็นสารพิษเชื้อราที่ถูกจัดจำแนกเป็นสารที่อาจเป็นไปได้ในการที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งกับมนุษย์ (Possibly carcinogenic to humans) (IARC, 1993) ซึ่ง Joint FAO/WHO Expert Committee On Food Additives (JECFA) (2007) ได้กำหนดให้ปริมาณสารที่ร่างกายสามารถทนรับได้ต่อสัปดาห์ตลอดชีวิตแล้วไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI)) คือ $100 \text{ ng OTA kg}^{-1} \text{ body weight per week}$ ซึ่งเมื่อนำมาคิดเป็นปริมาณสาร อคราทอกซินต่อวัน (Tolerance Daily Intake; TDI) คือ $14 \text{ ng OTA kg}^{-1} \text{ body weight per day}$ จึงใช้เป็นปริมาณที่ยอมให้บริโภคได้ต่อวัน ซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณค่าความเสี่ยงจากการบริโภคพริกแห้ง ดังนี้

ร้อยละความเสี่ยง (%RISK) =

$$\frac{\text{ปริมาณการได้รับสัมผัสทั้งหมด (Exposure) (ng kg}^{-1} \text{ body weight per day)} \times 100}{\text{ปริมาณที่ยอมให้บริโภคได้ต่อวัน (TDI) (ng kg}^{-1} \text{ body weight per day)}}$$

โดย ถ้า %RISK < 100 (exposure < TDI) มีความปลอดภัย

ถ้า %RISK > 100 (exposure > TDI) มีความเสี่ยงในการบริโภค

เมื่อนำค่าการได้รับสัมผัสส่อคราทอกซินเอสูงสุด คือ $6.83 \text{ ng kg}^{-1} \text{.bw day}^{-1}$ มาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยง พบว่ามีค่าความเสี่ยงร้อยละ 48.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มีความปลอดภัยในการบริโภคคือ %Risk น้อยกว่า 100 (ตารางที่ 32)

ตารางที่ 32 ร้อยละความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสออกคราทอกซินจากการบริโภคพริกป่น

ช่วงอายุ	การปนเปื้อน	ร้อยละความเสี่ยง			
		Per capita		Eater only	
		Mean	97.5th	Mean	97.5th
3 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 6 ปี	50th (13)	0.16	2.15	3.61	7.54
	97.5th(68)	0.84	11.3	18.9	39.4
6 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 13 ปี	50th (13)	0.56	3.89	3.31	7.79
	97.5th(68)	2.91	20.4	17.3	40.7
13 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 18 ปี	50th (13)	0.87	4.87	2.99	4.87
	97.5th(68)	4.55	25.5	15.6	25.5
18 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 35 ปี	50th (13)	1.13	5.88	2.85	8.24
	97.5th(68)	5.93	30.8	14.9	43.1
35 ปีเต็ม ถึงต่ำกว่า 65 ปี	50th (13)	0.85	4.09	2.28	6.14
	97.5th(68)	4.43	21.4	11.9	32.1
อายุ 65 ปีเต็ม และมากกว่า	50th (13)	0.78	6.99	2.30	9.32
	97.5th(68)	4.09	36.6	12.0	48.8
อายุ 3 ปีขึ้นไป	50th (13)	0.90	4.52	2.65	6.77
	97.5th(68)	4.72	23.6	13.8	35.4

*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

3.1.8.2 ผลการประเมินการได้รับสัมผัส ออกคราทอกซินจากค่าการปนเปื้อนพริกแห้งและค่าการบริโภคเครื่องแกง

พริกแห้งนอกจากบริโภคโดยตรงเป็นเครื่องปรุงในรูปพริกป่นแล้วยังเป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องแกง ซึ่งนำมาประกอบอาหารหลายชนิด เช่น ทอดมัน น้ำยา ห่อหมก ฯลฯ ซึ่งในการคำนวณนี้ใช้ค่าการบริโภค (consumption) พริกแห้งจากเครื่องแกงแดงในอาหาร จำนวน 12 ชนิด ซึ่งเป็นข้อมูลอ้างอิงจาก สุพรรณษา กังเซ็ง (Kongsenge, 2008) ดังแสดงใน ภาคผนวก ง (ตารางภาคผนวกที่ ง2) ปริมาณการได้รับสัมผัสออกคราทอกซินจากการบริโภคเครื่องแกงในอาหาร 12 ชนิด (ตารางที่ 33) จากการคำนวณพบปริมาณการได้รับสัมผัสสูงสุดในน้ำยา ซึ่งมีค่าการได้รับสัมผัสออกคราทอกซิน $2.14 \text{ ng kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$ ที่ระดับการปนเปื้อนสูง (95th percentile) เมื่อนำมาคำนวณร้อยละความเสี่ยงของการบริโภคพบว่า มีค่าร้อยละ 15.29 ซึ่งอยู่ในระดับปลอดภัยต่อการบริโภค (ตารางที่ 34) รองลงมา คือ ผัดเผ็ด ซึ่งมีค่าการได้รับสัมผัสออกคราทอกซิน $1.34 \text{ ng kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$ ที่ระดับการปนเปื้อนสูง (95th percentile) เมื่อนำมาคำนวณร้อยละความเสี่ยงของการบริโภคพบว่า มีค่าร้อยละ 9.57

ตารางที่ 33 ปริมาณการได้รับสัมผัสส่อคราทอกซินจากการบริโภคผักแห้งในอาหารแต่ละชนิด

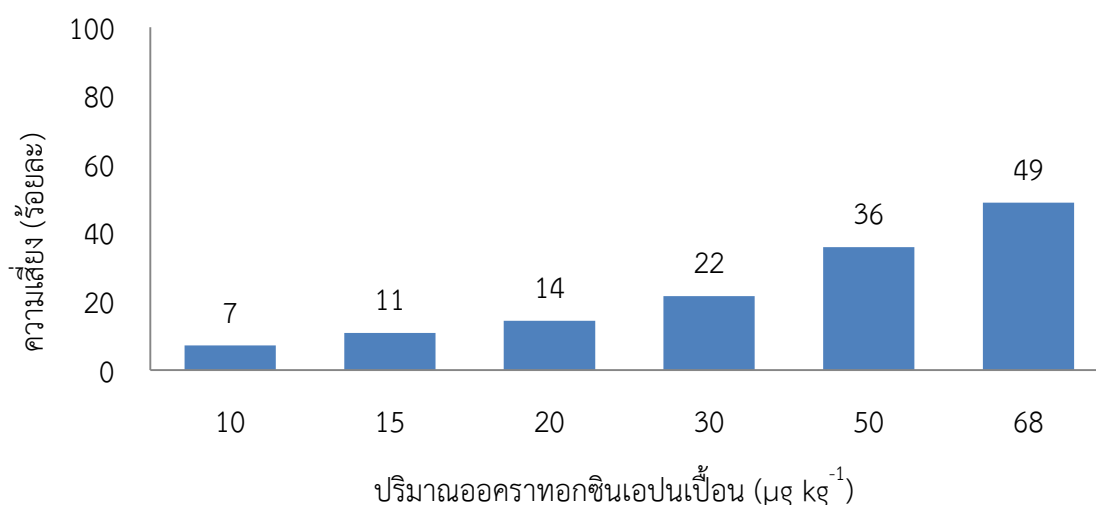
ชนิดอาหาร	การปนเปื้อน	Exposure (ng/kg bw/day)			
		Per capita		Eater only	
		Mean	95th	Mean	95th
ทอดมัน	50th (13)	0.027	0.084	0.063	0.182
	97.5th (68)	0.144	0.441	0.327	0.952
น้ำยา	50th (13)	0.049	0.147	0.149	0.409
	97.5th (68)	0.255	0.766	0.780	2.141
ห่อหมก	50th (13)	0.015	0.044	0.052	0.142
	97.5th (68)	0.078	0.228	0.272	0.741
ผัดเผ็ด	50th (13)	0.030	0.090	0.083	0.256
	97.5th (68)	0.157	0.473	0.433	1.340
พะแนง	50th (13)	0.017	0.053	0.056	0.168
	97.5th (68)	0.091	0.275	0.292	0.879
ฉู่ฉี่	50th (13)	0.004	0.011	0.033	0.082
	97.5th (68)	0.021	0.060	0.175	0.427
แกงเห็ด	50th (13)	0.007	0.020	0.039	0.102
	97.5th (68)	0.035	0.105	0.204	0.534
แกงแดง	50th (13)	0.023	0.068	0.062	0.191
	97.5th (68)	0.118	0.354	0.323	0.999
แกงคั่ว	50th (13)	0.004	0.011	0.029	0.075
	97.5th (68)	0.019	0.057	0.152	0.390
แกงขี้เหล็ก	50th (13)	0.004	0.012	0.027	0.066
	97.5th (68)	0.020	0.062	0.144	0.344
แกงป่า	50th (13)	0.006	0.019	0.041	0.118
	97.5th (68)	0.032	0.097	0.215	0.619
แกงมัสมั่น	50th (13)	0.005	0.014	0.017	0.043
	97.5th (68)	0.025	0.073	0.091	0.228

*หมายเหตุ ค่าในวงเล็บหลังระดับการปนเปื้อน คือ ปริมาณการปนเปื้อน ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

ตารางที่ 34 ข้อมูลความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสส่อคราตอกซินเอกจากการบริโภคพริกแห้งในเครื่องแกงของอาหารแต่ละชนิด

ชนิดอาหาร	การปนเปื้อน	% ความเสี่ยง			
		Per capita		Eater only	
		Mean	95th	Mean	95th
ทอดมัน	50th (13)	0.196	0.602	0.447	1.300
	97.5th (68)	1.027	3.148	2.339	6.800
น้ำยา	50th (13)	0.348	1.047	1.065	2.924
	97.5th (68)	1.822	5.474	5.569	15.293
ห่อหมก	50th (13)	0.107	0.312	0.372	1.011
	97.5th (68)	0.558	1.632	1.945	5.290
ผัดเผ็ด	50th (13)	0.215	0.646	0.592	1.830
	97.5th (68)	1.122	3.380	3.094	9.574
พะแนง	50th (13)	0.125	0.376	0.399	1.200
	97.5th (68)	0.653	1.965	2.088	6.276
ฉู่ฉี่	50th (13)	0.029	0.082	0.239	0.584
	97.5th (68)	0.150	0.428	1.251	3.053
แกงเหลือง	50th (13)	0.048	0.143	0.278	0.729
	97.5th (68)	0.252	0.748	1.455	3.815
แกงแดง	50th (13)	0.161	0.484	0.441	1.364
	97.5th (68)	0.843	2.530	2.305	7.133
แกงคั่ว	50th (13)	0.026	0.078	0.208	0.533
	97.5th (68)	0.136	0.408	1.088	2.788
แกงขี้เหล็ก	50th (13)	0.027	0.085	0.196	0.469
	97.5th (68)	0.143	0.442	1.027	2.455
แกงป่า	50th (13)	0.044	0.133	0.294	0.845
	97.5th (68)	0.231	0.694	1.537	4.420
แกงมัสมั่น	50th (13)	0.034	0.100	0.125	0.311
	97.5th (68)	0.177	0.524	0.653	1.625

3.1.10 ประเมินโอกาสการเกิดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสอคราทอกซินในเครื่องเทศ



ภาพที่ 9 ปริมาณอคราทอกซินต่อร้อยละความเสี่ยงของความปลอดภัยในการบริโภค

เนื่องจากอคราทอกซินเอเป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม 2B คือ เป็นสารที่อาจเป็นไปได้ในการก่อมะเร็งในมนุษย์ (possible carcinogenic to humans) (IARC, 1993) โดยจากการประชุมของ Joint FAO/WHO Expert Committee On Food Additive (JECFA) ในปี 2007 ได้มีข้อตกลงที่กำหนดให้ ปริมาณสารที่ร่างกายสามารถทนรับได้ต่อสัปดาห์ตลอดชีวิตแล้วไม่ก่อให้เกิดอันตราย (Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI)) คือ $100 \text{ ng OTA kg}^{-1} \text{ body weight per week}$ ซึ่งเมื่อนำมาคิดเป็นต่อวัน (Tolerance Daily Intake; TDI) คือ $14 \text{ ng OTA kg}^{-1} \text{ body weight per day}$ โดยค่าที่คำนวณได้จะมีหน่วยเป็นร้อยละความเสี่ยง หากค่าร้อยละความเสี่ยงมากกว่า 100 แสดงว่ามีความเสี่ยงในการบริโภค โดยอาจเกิดมะเร็ง โดยเฉพาะบริเวณไต หรือ ระบบทางเดินปัสสาวะได้ แต่หากค่าร้อยละต่ำกว่า 100 แสดงว่า มีความปลอดภัยในการบริโภค

จากข้อมูลร้อยละความเสี่ยงของอคราทอกซิน พบว่า ค่าร้อยละความเสี่ยงสูงสุดพบในพริกป่น (ร้อยละ 48.8) ซึ่งค่าดังกล่าวต่ำกว่า 100 ซึ่งแสดงถึงความปลอดภัยในการบริโภค อย่างไรก็ตาม จากภาพที่ 9 ได้คำนวณร้อยละความเสี่ยงของอคราทอกซินเอที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ อ้างอิงจากปริมาณอคราทอกซินที่ยอมให้พบในอาหารได้ในแต่ละประเทศ (ตารางที่ 35) หากกำหนดตาม EU จะให้ค่าร้อยละความเสี่ยงที่ 22 โดยปริมาณอคราทอกซินที่ยอมให้มีในเครื่องเทศที่ $30 \mu\text{g kg}^{-1}$ ทั้งนี้ประเทศไทยยังไม่มีกำหนดปริมาณปนเปื้อนอคราทอกซินเอในอาหาร

ตารางที่ 35 ปริมาณออกาทอกซินที่ส่งผลต่อร้อยละความปลอดภัยในการบริโภค

ปริมาณออกาทอกซิน ที่ยอมให้ พบในอาหาร ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	ร้อยละความเสี่ยง	อ้างอิง
10	7	บัลแกเรีย, เซอร์เบีย
15	11	สหภาพยุโรป (EU)**
20	14	สวีเดน, เซอร์เบีย
30	22	สหภาพยุโรป (EU)***
50	36	อิหร่าน
68*	49	-

* ค่าที่ได้จากข้อมูลการประเมินการปนเปื้อนออกาทอกซินระดับสูง

**จีน, จีน, จันทน์เทศ

***พริก, พริกไทย

บทที่ 4 สรุปผลการศึกษาวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ลงในฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ ได้แก่ Web site Science direct, ISI Web of Science, Mycotoxin research โดยใช้คำสำคัญตามที่กำหนดไว้ ไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและ/หรือออกราทอกซินในเครื่องเทศของไทยที่ตีพิมพ์ในฐานข้อมูลเหล่านี้ แต่พบเป็นงานวิจัยที่มีตัวอย่างการวิเคราะห์อะฟลาทอกซินในเครื่องเทศในฐานข้อมูลระดับชาติอยู่ 1 ชิ้นงานวิจัย จากงานวิจัยที่ผ่านคัดกรองจำนวน 29 ชิ้น ว่าเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์อะฟลาทอกซินและ/หรือในเครื่องเทศ และจากการวิเคราะห์ถึงรูปแบบงานวิจัยที่ได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์นั้น ส่วนใหญ่จะต้องเกี่ยวข้องกับการกำหนดโจทย์การวิจัยที่ชัดเจน เช่น มีการเชื่อมโยงกับวิธีการวิเคราะห์ เป็นต้น หากเป็นการสำรวจแบบสุ่มตรวจนั้น จำนวนงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในฐานข้อมูลระดับนานาชาตินั้นจะต่ำกว่า คิดเป็นร้อยละ 7 (2 จาก 29 งานวิจัย) และงานวิจัยที่ทำจนถึงขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงมีเพียงร้อยละ 7 (2 จาก 29 งานวิจัย) ส่งผลให้ไม่สามารถนำงานวิจัยที่สืบค้นมาวิเคราะห์อภิमानได้ นอกจากนี้ในการวิเคราะห์อภิमानนั้น นิยมใช้กับงานวิจัยที่มีการกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบและสรุปข้อมูลออกมาได้ในเชิงสถิติ ซึ่งในเชิงสถานการณ์การปนเปื้อนนั้นไม่มีการกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม จึงไม่สามารถนำข้อมูลที่มีมาเปรียบเทียบเพื่อสรุปวิเคราะห์อภิमानได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้เปลี่ยนจากการวิเคราะห์อภิमानเป็นการรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบเพื่อให้สามารถระบุถึงสถานการณ์การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินในเครื่องเทศของประเทศไทยได้

จากการรวบรวมข้อมูลการปนเปื้อนของอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินจากห้องปฏิบัติการต่างๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2555 – 2559 เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์การปนเปื้อนการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในตัวอย่างพบว่า พริกป่นเป็นเครื่องเทศที่มีการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินและออกราทอกซิน สูงสุดทั้งในเชิงปริมาณและความถี่ ($ND - 37.4 \mu g kg^{-1}$ และ ร้อยละ 54) และพบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน รองลงมาในตัวอย่างพริกแห้ง และเครื่องแกง ตามลำดับ และพบปนเปื้อนบ้างในตัวอย่างเครื่องเทศที่มีการใช้ในปริมาณน้อย ได้แก่ เมล็ดผักชี ขมิ้นผง และขิงผง ในจำนวนตัวอย่างเครื่องเทศที่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินมีเพียง 7 ตัวอย่าง จาก 497 ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนเกินระดับ $20 \mu g kg^{-1}$ (ค่าระดับความเข้มข้นการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินที่ยอมรับได้ของประเทศไทย)

ในทางกลับกันตัวอย่างเครื่องเทศที่ไม่พบการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินจากการรวบรวมข้อมูล ได้แก่ พริกไทย (161 ตัวอย่าง) อบเชย (72 ตัวอย่าง) กระเทียม (31 ตัวอย่าง) และเครื่องเทศอื่นๆ โดยแนวโน้มการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในปี พ.ศ.2559 นั้นลดลงเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2555 – 2557 จากร้อยละ 8.66-11.96 เหลือ 0.59

ในช่วงปี พ.ศ. 2555 – 2557 ไม่พบการตรวจวิเคราะห์ออกราทอกซินในเครื่องเทศจากห้องปฏิบัติการที่ได้ขอความอนุเคราะห์ข้อมูล แต่ในปี พ.ศ. 2559 พบพริกแห้งปนเปื้อนออกราทอกซินร้อยละ 28 (25/90) ความเข้มข้นอยู่ในช่วง $ND - 807.84 \mu g kg^{-1}$ และไม่พบการปนเปื้อนออกราทอกซินในพริกไทยดำและลูกเกด

เมื่อนำข้อมูลการปนเปื้อนไปประเมินความเสี่ยงด้วยการใช้ข้อมูลการปนเปื้อนที่ได้รวบรวม กับฐานข้อมูลการบริโภคเครื่องเทศจากสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เพื่อประเมินความเสี่ยงที่ 50th และ 97.5th percentile สำหรับความเสี่ยงในการบริโภคเครื่องเทศที่ปนเปื้อนสารพิษเชื้อราอะฟลาทอกซินยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเนื่องจากค่าโอกาสป่วยเป็นมะเร็งนั้นมีค่าต่ำกว่า 1 คนต่อปีต่อประชากร 100,000 คน โดยการประเมินความเสี่ยงการบริโภคเครื่องเทศของประชากรไทยพบโอกาสป่วยเป็นมะเร็งอยู่ในช่วงระหว่าง 0.0001-0.0352 คนต่อปีต่อประชากร 100,000 คน

สำหรับสถานการณ์การปนเปื้อนสารพิษเชื้อราออกราทอกซินในพริกอ้างอิงจากค่า TDI เมื่อประเมินความเสี่ยงแล้วพบว่ายังมีความปลอดภัยอยู่ โดยค่าความเสี่ยงสูงสุด 97.5th percentile (สถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด) คือ ที่ระดับการปนเปื้อน 68 $\mu\text{g kg}^{-1}$ ส่งผลให้มีค่าความเสี่ยงที่ร้อยละ 49 (หากมากกว่า 100 จึงจัดว่ามีความเสี่ยงต่อการบริโภค) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการปนเปื้อนที่นำมาคำนวณหาความเสี่ยงของสารพิษทั้งสองตัวนั้นมีค่าสูงกว่าระดับกฎหมายของไทย ณ ปัจจุบันจึงสรุปได้ว่าทั้งสถานการณ์การปนเปื้อนนี้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและค่าระดับการปนเปื้อนที่กำหนดขึ้นยังมีความเหมาะสมอยู่

จากผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราอะฟลาทอกซินและออกราทอกซิน สะท้อนให้ตระหนักถึงการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและกระบวนการเก็บรักษาของของเครื่องเทศต่างๆ เช่น พริกแห้ง พริกป่น เครื่องแกง อย่างไรก็ตาม การตรวจติดตามการปนเปื้อนของสารพิษเชื้อราโดยเฉพาะอะฟลาทอกซินและออกราทอกซินเ วัตถุติดการเกษตรชนิดอื่นๆอย่างสม่ำเสมอ สามารถใช้ข้อมูลการปนเปื้อน ลดโอกาสการได้รับสัมผัสของผู้บริโภคจากสารพิษเชื้อราได้

บรรณานุกรม

- กระทรวงสาธารณสุข. 2529. มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. กระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529).
- กระทรวงสาธารณสุข. 2559. วัตถุเจือปนอาหาร. กระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 381 (พ.ศ. 2559).
- ชาครียา ฉลาดและสุนันทา ช้องสาย. 2555. จุลินทรีย์และสารพิษอะฟลาทอกซินในอาหารที่จำหน่ายใน จังหวัดตรัง. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2: 56-59.
- ทิพย์ ปาณะโตม ศิริพรรณ เอี่ยมรุ่งเรือง, วารุณี แสนสุภา,และทรงพล รัตนพันธุ์. 2530. การปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในอาหารสำเร็จรูปที่ทำจากถั่ว. ฝ่ายค้นคว้าและวิจัยกองวิชาการสำนักงาน คณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข กรุงเทพฯ หน้า 54.
- ไทยรัฐและสถาบันอาหารโครงการอาหารปลอดภัย. 2560. โอคราที่อกชิน เอ ในลูกเกด (Online). <https://www.thairath.co.th>, 1 พฤศจิกายน 2560.
- ไทยรัฐและสถาบันอาหารโครงการอาหารปลอดภัย. 2559. สารพิษจากเชื้อรากับพริกไทยดำ (Online). <https://www.thairath.co.th>, 1 พฤศจิกายน 2560.
- ไทยรัฐและสถาบันอาหารโครงการอาหารปลอดภัย. 2556. สารพิษจากเชื้อรา ในกาแฟคั่วบด (Online). <https://www.thairath.co.th>, 1 พฤศจิกายน 2560.
- ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ “การประเมินความเสี่ยงของคนไทยต่อการได้รับสารพิษเชื้อราผ่านการบริโภคพริกแห้งและเครื่องเทศที่ผลิตภายในประเทศ” เสนอต่อ สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- สุรลักษณ์ รอดทอง. 2538. จุลินทรีย์และโรคที่เกิดจากอาหาร. สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา. (เอกสารอัดสำเนา)
- Adanyi, A.N., I.A. Levkovets, S.R. Gil, A. Ronald, M.V. Aradi and I. Szendro, 2007. Development of immunosensor based on OWLS technique for determining Aflatoxin B1 and Ochratoxin A. Biosensors Bioelectron 22: 797-802.
- Albassam, M.A., Yong, S.I., Bhatnagar, R., Sharma, A.K. and Prior, M.G. 1987.

Histopathologic and electron microscopic studies on the acute toxicity of ochratoxin A in rats. *Vet. Pathol.*, 424:427–435.

Al-Abdalall, A.H.A., 2009. Production of aflatoxin by *Aspergillus flavus* and *Aspergillus niger* strains isolated from seeds of pulses. *Journal of Food Agricultural Environment* 7: 33-39.

Almeida AP, Alaburda J, Shundo L, Ruvieri V, Navas SA, Lamardo LCA and Sabino M. 2007. Ochratoxin A in Brazilian instant coffee. *Braz J Microbiol.* 38(2):300-303.

Ardic, M., Karakaya, Y., Atasever, M., Durmaz, H., 2008. *Food and Chemical Toxicology.* 46: 1596-1599.

Ardic, M., Karakaya, Y, Atasever, M. and Durmaz, H. 2008. Determination of aflatoxin B1 levels in deep-red ground pepper (isot) using immunoaffinity column combined with ELISA. *Food and Chemical Toxicology* 46: 596–1599.

Aydin, A., Erkan, E.M., Baokaya, R., and Ciftcioglu, G. 2007. Determination of Aflatoxin B1 levels in powdered red pepper. *Food Control* 28: 1015-1018

Bakker, M. and M.N. Pieters. 2008. Risk Assessment of Ochratoxin A in the Netherlands.

Barberis M.G., Merlera G.G., Reynoso M.M., Chulze S.N., Torres A.M. Factors affecting distribution and abundance of *Aspergillus* section *Nigri* in vineyard soils from grapevine growing regions of Argentina. 2014. *J. Sci. Food Agric.* ;94:3001–3007. doi: 10.1002/jsfa.6647. [[PubMed](#)] [[Cross Ref](#)]

Battilani P., Giorni P., Pietri A. Epidemiology of toxin-producing fungi and ochratoxin A occurrence in grape. . 2003. . *Eur. J. Plant Pathol* 109:715–722. doi: 10.1023/A:1026030408338. [[Cross Ref](#)]

Battilani P., Silva A. Controlling ochratoxin A in the vineyard and winery. In: Reynold A., editor. *Managing Wine Quality. Volume 1: Viticulture and Wine Quality.* 2010. Woodhead Publishing in Food Science; Cambridge, UK: pp. 515–546.

Bau M., Castella G., Bragulat M.R., Cabanes F.J. Rflp characterization of *Aspergillus niger* aggregate species from grapes from Europe and Israel. Int. J. Food Microbiol. 2006;111:18–21. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2006.03.008. [[PubMed](#)] [[Cross Ref](#)]

Bui-Klimke, T.R. and Wu, F. 2015. Ochratoxin A and human health risk: A review of the evidence Critical Reviews in Food Science and Nutrition 55(13): 1860-1869.

Cabanes F.J., Bragulat M.R., Castella G. Characterization of nonochratoxigenic strains of *Aspergillus carbonarius* from grapes. Food Microbiol. 2013;36:135–141. doi: 10.1016/j.fm.2013.05.004. [[PubMed](#)][[Cross Ref](#)]

Chauhan, N. M., Washe, A. P. and Minota T. 2016. Fungal infection and aflatoxin contamination in maize collected from Gedee zone, Ethiopia SpringerPlus. 5: DOI 10.1186/s40064-016-2485-x.

Clark HA and Snedeker SM. 2006. Ochratoxin A: Its cancer risk and potential for exposure. J Toxicol Environ Health B Crit Rev. 9(3):265-296.

Cho, S.H., Lee C.H., Jang, M.R., Son, Y.W., Lee, S.M., Choi, I.S., Kim, S.H., Kim, D.B. 2008. Aflatoxins contamination in spices and processed spice products commercialized in Korea. Food Chemistry 107: 1283–1288.

Codex Alimentarius Commission. 1999. Codex Alimentarius. Twenty-third Session, Rome, Italy 28 – 3 July 1999, Report of the Thirtieth Session of the Codex Committee on Food Additive and Contaminants, The Hague, The Netherlands, 9 – 13 March 1998, ALINO 99/12, Rome, FAO.

Codex. 2013. Codex general standards for contaminants and toxins in foods and feeds, Codex standard 193-1995. Available: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/CXS_193e.pdf, 26 September 2016.

Colak, H., Bingol, B.E., 2006. Determination of Aflatoxin Contamination in Red-Scaled, Red and Black Pepper by ELISA and HPLC. *Journal of Food and Drug Analysis* 14(3): 292-296.

Delibas, N., Altunas, I., Yonden, Z. and Ozcelik, N. 2003. Ochratoxin A reduces NMDA receptor subunits 2A and 2B concentrations in rat hippocampus: partial protective effect of melatonin. *Hum. Exp. Toxicol.* 22:335–339.

Dortant, P.M., Peters-Volleberg, G.W.M., Van Loveren, H., Marquardt, R.R. and Speijers, G.J.A. 2001. Age-related differences in the toxicity of ochratoxin A in female rats. *Food Chem. Toxicol.* 39:55–65.

Duan, X.X., Ou, J.S. and Li Y. 2005. Dynamic expression of apoptosis-related genes during development of laboratory hepatocellular carcinoma and its relation to apoptosis. *World J Gastroenterol.* 11:4740–4744.

Dusanee T., Ounruan P., Sujitra S., 2016. Aflatoxin Contamination of Chilli Powder in Canteens of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand. *KMITL Science Technology Journal* 16: Jan-Jun.

EFSA (European Food Safety Authority), 2006. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission related to ochratoxin A in food, adopted on 4 April 2006, *The EFSA Journal* (2006) 365, 1-56. Available from http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/doc/contam_opecj365_ochratoxin_a_food_en.pdf.

Erdogan, A., Thaaflatoxin contamination some pepper types sold in Turkey. 2004. *Chemosphere* 56: 321–325.

European Food Safety Authority (EFSA). 2006. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the commission related to ochratoxin A in food 365:1–56.

- European Union. 2010. Commission regulation (EU) No 2010/165. Official Journal of European Union. L50/1.
- Filazi, A., and U. T. Sireli. 2013. Occurrence of Aflatoxins in Food. In M. Razzaghi-Abyaneh (Ed.), Aflatoxins-Recent Advances and Future Prospects. Croatia: InTech.
- Fredlund, E., A.M. Thim, A. Gidlund, S. Brostedt, M. Nyberg and M. Olsen. 2009. Moulds and mycotoxins in rice from the Swedish retail market. Food Additives and Contaminants: Part A 26(4): 527-533.
- Ghitakou S, Koutras K, Kanellou E and Markaki P. 2006. Study of aflatoxin B1 and ochratoxin A production by natural microflora and *Aspergillus parasiticus* in black and green olives of Greek origin. Food Microbiol. 23(7):612-621.
- Giovati, L., Magliani, W., Ciociola, T., Santinoli, C., Conti, S. and Polonelli, L. 2005. AFM₁ in Milk: Physical, Biological, and Prophylactic Methods to Mitigate Contamination Toxins 7(10), 4330-4349.
- Grenier, B., Loureiro-Bracarense, A.P., Luciola, J., Pacheco, G., Cossalter, A.M., Moll, W.D., Schatzmayr, G. and Oswald, I.P., 2011. Individual and combined effects of subclinical doses of deoxynivalenol and fumonisins in piglets. Molecular Nutrition and Food Research DOI 10.1002/mnfr.201000402.
- Hans, P V.E., Ronald, C S. and Marco, A.J. 2007. Regulations relating to mycotoxins in food. Analytical and bioanalytical chemistry 389(1): 2007.
- Heenan C.N., Shaw K.J., Pitt J.I. Ochratoxin A production by *Aspergillus carbonarius* and *A. niger* isolates and detection using coconut cream agar. J. Food Mycol. 1998;1:67–72.

- Hong, J.T., Lee, M.K., Park, K.S., Jung, K.M., Lee, R.D., Jung, H.K., Park, K.L., Yang, K.J. and Chung, Y.S. 2002. Inhibitory effect of peroxisome proliferator-activated receptor gamma agonist on ochratoxin A-induced cytotoxicity and activation of transcription factors in cultured rat embryonic midbrain cells. *J. Toxicol. Environ. Health A*. 65:407-418.
- HSDB. 2010. Hazardous Substances Data Bank. National Library of Medicine.
Available source: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB> and search on CAS number, 23 September 2016..
- Hussain, A., Sohail, M. and Tullah, S. 2012. Aflatoxin Contamination of Spices Sold in Different Markets of Peshawar. *Journal of the Chemical Society of Pakistan* 34: 1052-1055.
- Huff, W.E., Doerr, J.A., Wabeck, C.J., Chaloupka, G.W., May, J.D. and Merkley, J.W., 1984. The individual and combined effects of aflatoxin and ochratoxin A on various processing parameters of broiler chickens. *Poultry Science* 63: 2153-2161.
- Hussein, H.S. and J.M. Brasel. 2001. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology* 167(2): 101-134.
- Huff, W.E. and Doerr, J.A., 1981. Synergism between aflatoxin and ochratoxin A in broiler chickens. *Poultry Science* 60: 550-555.
- Iamtaweearoen, P., P. Kooprasertying, T. Maneeboon, N. Anukul and W. Mahakarnchanakul. 2016. Exposure to aflatoxin B1 in Thailand by consumption of brown rice and color rice. *Mycotoxin Research* 32(1): 19-25.
- IARC (1983) IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 31, Some Food Additives, Feed Additives and Naturally Occurring Substances, Lyon, pp. 191-20.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 1976. Monograph on The Evaluation of The Carcinogenic Risk of Chemicals to Man: Some naturally occurring substances. 10:51-72.

- International Agency for Research on Cancer (IARC). 1993. Some Naturally Occurring Substances: Food Items and Constituents, Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins. Available Source: <https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol56/mono56.pdf>, November 11, 2013.
- Iqbal, S.Z., Asi, M.R., Zuber, M and Saif, M.J. 2013. Natural occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in commercial Chilli and Chilli sauce samples. Food Control DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.09.003.
- Iqbal, S.Z., Paterson, R.R.M., Bhatti, I.A., Asi, M.R., Sheikh, M.A., Bhatti, H.N. 2010. Aflatoxin B1 in chillies from the Punjab region, Pakistan. Mycotoxin research 26: 205–209.
- Iqbal, S.Z., Bhatti, I.A., Asi, M.R., Bhatti, H.N. and Sheikh, M.A. 2011. Aflatoxin Contamination in Chillies from Punjab Pakistan with Reference to Climate Change. International Journal of Agricultural and Biology 13: 261–265.
- Iqbal, S.Z., Paterson, R.R.M., Bhatti, H.N., and Asi, M.R. 2010. Survey of aflatoxins in chillies from Pakistan produced in rural, semi-rural and urban environments. Food Additives and Contaminants: Part B 3: 268–274.
- Jalili, M., and S. Jinap. 2012. Natural occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in commercial dried red chilli. Food Control 24:160-164.
- JECFA. 2007. Safety evaluation of certain food additives and contaminants in food: aflatoxin. Sixty-eighth Meeting of the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additives Series, 59. Geneva:WHO. 305-356.
- JECFA. 2007. Safety evaluation of certain food additives and contaminants in food: ochratoxin A. Sixty-eighth Meeting of the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additives Series, 59. Geneva:WHO. 357-429.
- JECFA. 2002. Evaluation of certain mycotoxins in food WHO Technical Report Series: 906 World Health Organization, Geneva.
- JECFA (2002) Evaluation of Certain Mycotoxins in Food. (56th Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Technical Reports Series No. 906, 2002

- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 1998. Safety evaluation of certain food additives and contaminants in food: aflatoxin. Forty-ninth Meeting of the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Food Additives Series, 40. Geneva:WHO. 359-469.
- Joint Food and Agriculture organization of the United Nations/ World Health Organization Expert Committee on Food Additives (JECFA). 2001. Safety Evaluation of Certain Mycotoxins in Food. Available Source: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v47je01.htm>, May 12, 2014.
- Kamp, H.G., Eisenbrand, G., Schlatter, J., Wurth, K. and Janzowski, C. 2005. Ochratoxin A: induction of (oxidative) DNA damage, cytotoxicity and apoptosis in mammalian cell lines and primary cells. *Toxicol.* 206:413–425.
- Kirk, G.D., Lesi, O.A., Mendy, M., Szymańska, K., Whittle, H., Goedert, J.J., Hainaut, P. and , Montesano R. 2005. 249(ser) TP53 mutation in plasma DNA, hepatitis B viral infection, and risk of hepatocellular carcinoma. *Oncogene* 24(38):5858-67.
- Kittirat Wongin. 2008. Estimated risk of liver cancer due to aflatoxin exposure from red curry paste consumption in rural population of Suphanburi. M.S. Thesis in Food and Nutritional Toxicology. Mahidol University.
- Kongseng, S., 2008. Estimated risk of liver cancer due to aflatoxin exposure from red curry paste consumption in Bangkok population. M.S. Thesis in Food and Nutritional Toxicology. Mahidol University.
- Kooprasertying, P. Maneeboon, T. Hongprayoon, R., Mahakarnchanakul, W. 2016. Exposure assessment of aflatoxins in Thai peanut consumption 2: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1204683>..
- Kumar, Pradeep, Mahato, D.K., Kamle, M., Mohanta, T K. and Kang S.G. 2017. Aflatoxins: A Global Concern for Food Safety, Human Health and Their Management. *Frontiers in Microbiology* 7: doi: 10.3389/fmicb.2016.02170.
- Kursun, O. and Mutlu, A.G. 2010. Aflatoxin in spices marketed in west mediterranean region of Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 9(23): 2979-2981.

- Kumar, M., Dwivedi, P., Sharma, A.K., Singh, N.D. and Patil, R.J. 2007 Ochratoxin A and citrinin nephrotoxicity in New Zealand White rabbits: an ultrastructural assessment. *Mycopathologia*. 163:21–30.
- Li, Y., Qin, X. and Cui J. (2008). Proteome analysis of aflatoxin B1-induced hepatocarcinogenesis in tree shrew (*Tupaia belangeri chinensis*) and functional identification of candidate protein peroxiredoxin II. *Proteomics*. 8:1490–1501.
- Lui, Y. and F. Wu. 2010. Global Burden of Aflatoxin-Induced Hepatocellular Carcinoma: A risk Assessment. *Environmental Health Perspective*. 118(6):818-824.
- Mally, A., Pepe, G., Ravoori, S., Fiore, M., Gupta, R., Dekant, W. and Mosesso, P. 2005. Ochratoxin A causes DNA damage and cytogenetic effects but no DNA adducts in rats. *Chem. Res. Toxicol*. 18:1253–1261.
- Mazumder, P. M., and D. Sasmal. 2001. Mycotoxins-Limits and Regulations. *Ancient Science of Life*. 20(3):1-19.
- Magnoli C, Astoreca A, Ponsone L, Fernández-Juri MG, Chiacchiera S and Dalcero A. 2006. Ochratoxin A and the occurrence of ochratoxin A-producing black aspergilli in stored peanut seeds from Córdoba, Argentina. *J Sci Food Agric*. 86(14):2369-2373.
- Meki, A.R., Andel-Ghaffar S.K. and El-Gibaly I. Aflatoxin B1 induces apoptosis in rat liver: protective effect of melatonin. *Neuro Endocrinol Lett* 22(6): 417-426.
- Napolitano A, Fogliano V, Tafuri A and Ritieni A. 2007. Natural occurrence of ochratoxin A and antioxidant activities of green and roasted coffees and corresponding byproducts. *J Agric Food Chem*. 55(25): 10499-10504.
- Nguyen, M., M. Tozlovanu, T. Tran and A. Pfohlleszkowicz. 2007. Occurrence of aflatoxin B1, citrinin and ochratoxin A in rice in five provinces of the central region of Vietnam. *Food Chemistry* 105 (1): 42-47.

- NTP. 2016. Report on Carcinogens, Thirteenth Edition. Research Triangle Park, NC: U.S. Department of Health and Human Services. Available source: <http://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/roc/roc13/>. 23 September 2016.
- NTP (National Toxicology Program) Report on Carcinogens (Ochratoxin A) U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health; Bethesda, MD, USA: 2014. [(accessed on 20 October 2015)]. Available online: <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/ochratoxina.pdf>.
- Ott J.J., G.A. Stevens, J. Groeger and S.T. Wiersma. 2012. Global epidemiology of hepatitis B virus infection: new estimates of age-specific HBsAg seroprevalence and endemicity. *Vaccine*. 30:2212–2219.
- Ozbey, F. and Kabak, B. 2012. Natural co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in spices. *Food Control* 28: 354-361.
- Paterson, R.R.M. and N. Lima. 2010. How will climate change affect mycotoxins in food. *Food Research International* 43(7): 1902-1914.
- Prelle, A., Spadaro, D., Garibaldi, A. and Gullino, M.L. 2014. Co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in spices commercialized in Italy. *Food Control* 39: 192-197.
- Reddy, C. S. Reddy, H.K. Abbas, C.A. Abel and K. Muralidharan. 2008. Mycotoxigenic fungi, mycotoxin and management of rice grains. *Toxin Reviews* 27(3-4): 287-317.
- Russell, R. and Patersan, M. 2007. 2 Aflatoxins contamination in chilli samples from Pakistan. *Food Control* 18: 817 – 820.
- Serra, R., Mendonça, C. and Venâncio, A. Fungi and ochratoxin A detected in healthy grapes for wine production. *Letters in Applied Microbiology* 42(1): 42-47.
- Shephard, G.S. 2008. Risk assessment of aflatoxins in food in Africa. *Food Additive and Contaminant: Part A* 25(10): 1246-1256.

- Shundo, L. de Almeida, A.P., Alaburda, J., Lamardo, L.C.A., Navas, S.A., Ruvieri, V. and Sabino, M. 2009. Aflatoxins and ochratoxin A in Brazilian paprika. *Food Control* 2009: 1099-1102.
- Stoloff, L. 1983. Aflatoxin as a cause of primary liver-cell cancer in the United States: a probability study. *Nutr Cancer* 5(3-4):165-86.
- Studer-Rohr, I., Schlatter, J. and Dietrich, D.R. 2000. Kinetic parameters and intra individual fluctuations of ochratoxin A plasma levels in humans. *Arch Toxicol.* 74: 499-510.
- Su, JJ., Ban K.C. and Li Y. 2004. Alteration of p53 and p21 during hepatocarcinogenesis in tree shrews. *World J Gastroenterol.* 10:3559–3563.
- Tahira, I., Khatoon, S., Hanif, N. Q., and N. Sultana. 2012. Method optimization and determination of ochratoxin A in red chilli. *Journal of Chemical Society of Pakistan.* 34:361-364
- The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Hong Kong. 2006. Ochratoxin A in Food. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Hong Kong.
- Thirumala-Devi, K., Mayo, M.A., Reddy, G., Emmanuel, K.E., Larondelle, Y. and Reddy, D.V.R. 2001. Occurrence of ochratoxin A in black pepper, coriander, ginger and turmeric in India. *Food Additives and Contaminants* 18(9): 830- 835.
- Tilton, S.C., Gerwick, L.G. and Hendricks J.D. 2005. Use of a rainbow trout oligonucleotide microarray to determine transcriptional patterns in aflatoxin B1-induced hepatocellular carcinoma compared to adjacent liver. *Toxicological Sciences.* 88:319–330.
- Tosun, H. and Arslan, R. 2013. Determination of Aflatoxin B1 Levels in Organic Spices and Herbs. *The ScientificWorld Journal* <http://dx.doi.org/10.1155/2013/874093>
- Wangikar, P.B., Dwivedi, P., Sharma, A.K. and Sinha, N. 2004b. Effect in rats of simultaneous prenatal exposure to ochratoxin A and aflatoxin B1. II. Histopathological features of teratological anomalies induced in fetuses. *Birth Defects Res. B Dev. Reprod. Toxicol.*

71:352–358.

Wangikar, P.B., Dwivedi, P., Sinha, N., Sharma, A.K. and Telang, A.G. 2005. Teratogenic effects in rabbits of simultaneous exposure to ochratoxin A and aflatoxin B(1) with special reference to microscopic effects. *Toxicol.* 215:37–47.

Wangikar, P.B., Dwivedi, P. and Sinha, N. 2004a. Effect in rats of simultaneous prenatal exposure to ochratoxin A and aflatoxin B1. I. Maternal toxicity and fetal malformations. *Birth Defects Res. B Dev. Reprod. Toxicol.* 71:343–351.

Yogendrarajah, P, Jacxsens L, Lachat, C., NiroshanWalpita, C., Kolsteren, P., Saeger, S.D., Meulenaer, B.D., 2014. Public health risk associated with the co-occurrence of mycotoxins in spices consumed in Sri Lanka *Food and Chemical Toxicology.* 74: 240-248.

Zinedine, A., Brera, C., Elakhdari, S., Catano, C., Debegnach, F., Angelini, S., Santis, B.D., Faid, M., Benlemlih, M., Minardi, V and Miraglia, M. 2006. Natural occurrence of mycotoxins in cereals and spices commercialized in Morocco. *Food Control* 17: 868–874.

ภาคผนวก ก

รหัสงานวิจัย □□□

แบบบันทึกลักษณะงานวิจัย

ชื่องานวิจัย _____

ชื่อผู้วิจัย _____ ปีที่ตีพิมพ์ _____

วารสารที่ตีพิมพ์/หน่วยงาน _____

คุณลักษณะงานวิจัยด้านการตีพิมพ์และหน่วยงานที่ผลิตงานวิจัย

1. รูปแบบของงานวิจัย ☐

(งานตีพิมพ์ระดับนานาชาติ 1, งานตีพิมพ์ระดับชาติ 2, thesis 3, รายงานต่างๆ 4)

2. ปีที่ตีพิมพ์ _____

3. สถาบันที่ทำงานวิจัย ☐

(ภายในประเทศ 1, เอเชีย 2, ยุโรป 3, อเมริกา 4, อื่นๆ 5)

4. วารสารที่ตีพิมพ์ ☐

(ภายในประเทศ 1, เอเชีย 2, ยุโรป 3, อเมริกา 4, อื่นๆ 5)

คุณลักษณะงานวิจัยด้านวิธีการ

1. ขนาดตัวอย่าง _____

2. การเก็บตัวอย่าง _____

3. ลักษณะตัวอย่าง ☐☐

(1 เครื่องเทศเดี่ยว, 2 เครื่องเทศผสม, 3 พริกแกง)

4. การตั้งสมมุติฐาน ☐☐5. ประเภทงานวิจัย ☐☐

(1 survey, 2 assessment, 3 survey + assessment)

6. Origin ☐☐

(1 Thai, 2 non-Thai)

7. วิธีวิเคราะห์ ☐☐

(1 HPLC, 2 TLC, 3 ELISA, 4 อื่นๆ)

8. ค่า LOD _____, LOQ _____

หมายเหตุ

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวกที่ ข1 แบบฟอร์มการวิเคราะห์ข้อมูล

Code	Source of Journal	Published year	Citation info	Author	Institution	Research Objective	Sample type	origin	n	Analysis	Target	limit of		contamination		
												LOD	LOQ	range	average	incidence

หมายเหตุ Code; รหัสของ journal ที่ได้คัดกรองไว้

Source of journal; แหล่งที่ตีพิมพ์งานวิจัย 1 = International publisher, 2 = National publisher, 3 = Thesis/report/ unpublished data

Citation info; ชื่อฐานข้อมูลที่ตีพิมพ์

Author; ชื่อผู้แต่ง

Institute; สถาบันที่ผู้แต่งสังกัด

Research objective; วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1 = Research, 2 = Assessment, 3 = Survey, 4 = Survey and Assessment

Sample type; ลักษณะของเครื่องเทศ 1 = Spice, 2 = Mix spice, 3 = Chili paste

Origin; แหล่งที่มาของตัวอย่าง 1 = Thailand, 2 = Others

n; จำนวนตัวอย่าง

Analysis; เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

Target; สารพิษเชื้อราที่ตรวจวิเคราะห์

ภาคผนวก ค

ตารางภาคผนวกที่ ค1 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ของประชากรไทยที่ช่วงอายุต่างๆ

กลุ่มอายุ (ปี)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัว (กิโลกรัม)*
0 - 2.9	10.55
3 - 5.9	17.25
6 - 12.9	33.38
13 - 17.9	53.42
18 - 34.9	63.12
35 - 64.9	63.53
65 ปีขึ้นไป	55.77
เฉลี่ยมากกว่า 3 ปีขึ้นไป	57.57

*มกอช 2559

ภาคผนวก ง

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณการบริโภคเครื่องแกงแดงในอาหารแต่ละชนิด สํารวจจากประชากรใน
กทม. อายุระหว่าง 6-60 ปี ($\text{g kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$)

ชนิดอาหาร	ปริมาณการบริโภคพริกแกงแดง* (g/kg bw/day)			
	Per capita		Eater only	
	Mean	95th	Mean	95th
ทอดมัน	0.0151	0.0463	0.0344	0.1000
น้ำยา	0.0268	0.0805	0.0819	0.2249
ห่อหมก	0.0082	0.0240	0.0286	0.0778
ผัดเผ็ด	0.0165	0.0497	0.0455	0.1408
พะแนง	0.0096	0.0289	0.0307	0.0923
ฉู่ฉี่	0.0022	0.0063	0.0184	0.0449
แกงเหลือง	0.0037	0.0110	0.0214	0.0561
แกงแดง	0.0124	0.0372	0.0339	0.1049
แกงคั่ว	0.0020	0.0060	0.0160	0.0410
แกงขี้เหล็ก	0.0021	0.0065	0.0151	0.0361
แกงป่า	0.0034	0.0102	0.0226	0.0650
แกงมัสมั่น	0.0026	0.0077	0.0096	0.0239

*Kongseng 2008

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณการบริโภคพริกแห้งในเครื่องแกงแดงของอาหารแต่ละชนิด สํารวจจาก
ประชากรใน กทม. อายุระหว่าง 6-60 ปี ($\text{g kg}^{-1} \text{ bw day}^{-1}$)

ชนิดอาหาร	ปริมาณการบริโภคพริกแห้งในพริกแกงแดง* (g/kg bw/day)			
	Per capita		Eater only	
	Mean	95th	Mean	95th
ทอดมัน	0.0021	0.0065	0.0048	0.0140
น้ำยา	0.0038	0.0113	0.0115	0.0315
ห่อหมก	0.0011	0.0034	0.0040	0.0109
ผัดเผ็ด	0.0023	0.0070	0.0064	0.0197
พะแนง	0.0013	0.0040	0.0043	0.0129
ฉู่ฉี่	0.0003	0.0009	0.0026	0.0063
แกงเหลือง	0.0005	0.0015	0.0030	0.0079
แกงแดง	0.0017	0.0052	0.0047	0.0147
แกงคั่ว	0.0003	0.0008	0.0022	0.0057
แกงขี้เหล็ก	0.0003	0.0009	0.0021	0.0051
แกงป่า	0.0005	0.0014	0.0032	0.0091
แกงมัสมั่น	0.0004	0.0011	0.0013	0.0033

*Kongseng 2008