ศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราและสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งและการลดปริมาณสารพิษโดยใช้วิธีทางกายภาพ

Study on Fungi and Ochratoxin A Contamination in Dried Fruits and Reduction by Physical Method

สุพี วนศิรากุล Su-phi Wanasirakul
เนตรา สมบูรณ์แก้ว Nettra Somboonkaew
อัจฉราพร ศรีจุดานุ Atcharaporn Srijudanu
อมรา ชินภูติ Amara Chinaphuti

ABSTRACT

The aim of this study was to determine and reduce the contaminations of fungi and ochratoxin A (OTA) in imported and local dried fruits sold in market of Thailand. Three hundred and six samples were collected from 20 different types of dried fruits. *Aspergillus niger, A. flavus, A. aculeatus, Rhizopus* sp., *Penicillium* sp. and *Fusarium* sp. Were detected in 159 samples (from 14 fruit varieties). OTA contamination was analyzed by an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) technique. OTA were detected in 19 varieties of dried fruit (234 samples) between 0.10 and 24.10 μg/kg. The highest OTA content was found in dried blueberry with 24.10 μg/kg followed by white raisin (13.00 μg/kg) and dried cranberry (9.55 μg/kg). Thus, these three dried fruit varieties were selected to decontaminate OTA using heat from hot air- or microwave ovens. Interactions of heating times and power significantly influenced the reduction of OTA contamination. The OTA levels in dried blueberry decreased by 28.46% after treated with microwave oven at 400 watt for 45 second. Higher OTA reductions were detected in white raisin (84.56%) and dried cranberry (74.35%) after microwave-heat at 400 watt for 60 second and 800 watt for 45 second, respectively. OTA contents in dried blueberry, white raisin and dried cranberry, heated at 80 °C hot air oven for 60 minutes, were dropped by 43.30, 81.85 and 83.59%, respectively. The results indicate that heating by either hot air- or microwave

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900
Postharvest and Processing Research and Development office, Department of Agriculture, Bangkok 10900

ovens could be an alternative method to reduce the OTA contamination in various dried fruits.

Key-words : dried fruit, ochratoxin A, mycotoxin decontamination, heating

บทคัดย่อ

ศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราและสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งที่จำหน่ายในประเทศไทย ทั้งที่ผลิตในประเทศ และนำเข้าจากต่างประเทศ พร้อมทั้งศึกษาวิธีการลดปริมาณสารพิษก่อนการบริโภค สุ่มเก็บตัวอย่างผลไม้อบแห้งจำนวน 20 ชนิด รวม 306 ตัวอย่าง มาศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อรา พบว่าผลไม้อบแห้ง 14 ชนิด จำนวน 159 ตัวอย่าง ปนเปื้อนเชื้อรา *Aspergillus niger, A. flavus, A. aculeatus, Rhizopus* sp., *Penicillium* sp. และ *Fusarium* sp. ตรวจการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งด้วยวิธี ELISA พบว่ามีผลไม้อบแห้ง 19 ชนิด จำนวน 234 ตัวอย่าง ปนเปื้อนสารโอคราทอกซิน เอ ปริมาณ 0.10-24.10 μg/kg โดยบลูเบอร์รี่อบแห้งมีการปนเปื้อนสารโอคราทอกซิน เอ สูงสุด 24.10 μg/kg รองลงมา คือ ลูกเกดขาว และแครนเบอร์รี่พบ 13.00 และ 9.55 μg/kg ตามลำดับเมื่อนำผลไม้อบแห้งทั้ง 3 ชนิดมาลดการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ ด้วยการอบในเตาไมโครเวฟ พบว่าปริมาณสารพิษในบลูเบอร์รี่ลดลง 28.46% เมื่อใช้กำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 45 วินาที ลูกเกดขาวสารพิษลดลง 84.56% ที่ระดับกำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 60 วินาที และในแครนเบอร์รี่สารพิษลดลง 74.35% เมื่อใช้กำลังไฟ 800 วัตต์ นาน 45 วินาที สำหรับการอบด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าการอบที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ปริมาณสารพิษลดลงได้มากกว่า โดยการอบด้วยอุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที มีผลทำให้ปริมาณสารพิษในบลูเบอร์รี่ ลูกเกดขาว และแครนเบอร์รี่ ลดลงได้ 43.30, 81.85 และ 83.59% ตามลำดับ การอบด้วยเตาไมโครเวฟและตู้อบลมร้อนในผลไม้อบแห้งก่อนการบริโภคสามารถลดปริมาณการปนเปื้อนของสารพิษได้

คำหลัก : ผลไม้อบแห้ง, โอคราทอกซิน เอ, การลดการปนเปื้อนสารพิษ, ความร้อน

คำนำ

การปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษจากเชื้อรา (Mycotoxins) เป็นปัญหาสำคัญของทุกประเทศทั่วโลก เนื่องจากพบปนเปื้อนในผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิด ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์ สารพิษจากเชื้อราเป็นสารทุติยภูมิที่สร้างโดยเชื้อรา เมื่อมีสภาพแวดล้อมเหมาะสม ส่วนใหญ่จะเป็นสารพิษที่มีอันตรายร้ายแรงต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยง ทำให้หลายประเทศมีการกำหนดค่าปริมาณสารพิษที่อนุญาตให้ปนเปื้อนได้ในอาหาร เป็นมาตรฐานบังคับ เช่น สหภาพยุโรป กำหนดว่าผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงที่นำเข้าจะต้องไม่ให้มีการปนเปื้อน

ของสารอะฟลาทอกซินเกิน 2 μg/kg ปัจจุบันประเทศในสหภาพยุโรปได้นำปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรามาเป็นข้อกีดกันทางการค้าในการนำเข้าสินค้าเกษตรหลายชนิดสำหรับการกำหนดปริมาณสูงสุดของสารพิษในระดับที่ยอมให้มีได้ในอาหารของแต่ละประเทศจะมีการกำหนดแตกต่างกันไป (อมรา, 2551)

สารโอคราทอกซิน (Ochratoxins) เป็นสารพิษที่สร้างขึ้นโดยเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1965 ต่อมาพบว่าสารพิษชนิดนี้สามารถสร้างโดยเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* หลายสายพันธุ์ เช่น *A. alliaceus, A. ostianus, A. sclerotiorum* และ *A. glaucus* ในปัจจุบันยังพบอีกว่าราดำ เช่น *A. niger, A. carbonarius* และ *A. foetidus* ก็สามารถสร้างสารพิษนี้ได้ ราในกลุ่ม *Aspergillus* สร้างสารพิษได้ในแถบอากาศร้อนชื้น ส่วนในประเทศแถบอากาศเย็นการสร้างสารพิษจะเกิดจากเชื้อราในกลุ่ม *Penicillium* เช่น *Penicillium verrucosum* และ *P. aurantiogriseum* เชื้อราเหล่านี้จะสร้างสารพิษเมื่อมีอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นในตัวผลิตภัณฑ์เหมาะสม (Blesa *et al*., 2006) โอคราทอกซิน มี 2 ชนิด คือ โอคราทอกซิน เอ และบี แต่ที่พบตามธรรมชาติ คือ โอคราทอกซิน เอ ซึ่งพบในผลิตผลเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี เมล็ดโกโก้ เมล็ดกาแฟและถั่วชนิดต่างๆ (อมรา, 2551) นอกจากนี้ยังพบในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ผลไม้อบแห้ง (Bercan, 2009) น้ำองุ่น เบียร์ และไวน์ (Belli *et al*., 2004) โอคราทอกซิน เอ เป็นสารที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับไต (nephrotoxic) ก่อให้เกิดลูกวิรูป (teratogenic) เป็นพิษต่อภูมิคุ้มกัน (immunotoxic) และเป็นพิษต่อพันธุกรรม (genotoxic) ในสัตว์ทดลองหลายชนิด (Bayman *et al*., 2002) International Agency for Research on Cancer (IRAC) ได้จัดให้สารโอคราทอกซิน เอ เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ด้วย (IRAC, 1993)

ผลไม้อบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพ สะดวกในการบริโภคและประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลไม้หลากหลายชนิด จึงนิยมนำผลไม้มาแปรรูปเป็นผลไม้อบแห้ง นอกจากนี้ยังมีผลไม้อบแห้งที่นำเข้าจากต่างประเทศอีกหลายชนิดที่คนไทยนิยมบริโภค เช่น ลูกเกด ฟิกซ์ บลูเบอร์รี่ และแครนเบอร์รี่ เป็นต้น แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาพบการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน และโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งหลายชนิด โดยพบการปนเปื้อนทั้งก่อนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะในระหว่างกระบวนการทำให้แห้งและการเก็บรักษา อะฟลาทอกซินมักพบการปนเปื้อนตั้งแต่อยู่ในแปลงจนถึงการเก็บรักษา ในขณะที่โอคราทอกซิน เอ มักพบในระหว่างขั้นตอนการทำให้แห้งและการเก็บรักษา (Magan and Aldred, 2005)

การจัดการสารพิษจากเชื้อราสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางเคมี ชีววิธี และวิธีทางกายภาพการใช้ความร้อน การใช้พลังงาน

แสง เป็นวิธีทางกายภาพที่มีความปลอดภัยและสะดวกต่อผู้บริโภค Chinaphuti (1999) รายงานว่าการอบถั่วลิสงป่นด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟขนาดกลางเป็นเวลา 5 นาที สามารถลดปริมาณสารอะฟลาทอกซิน ลงประมาณ 70% นอกจากนี้ Osborne (1979) รายงานว่า สารโอคราทอกซิน เอ จะถูกทำลายอย่างรวดเร็วในธัญพืชที่มีความแห้งมากกว่าในธัญพืชที่มีปริมาณน้ำมาก และพบว่าในระหว่างกระบวนการทำขนมปังไม่สามารถทำให้โอคราทอกซิน เอ สลายตัวได้ แต่เมื่อนำไปทำเป็นขนมปังอบกรอบปริมาณสารพิษลดลงถึง 62%

สหภาพยุโรปได้กำหนดค่าการปนเปื้อนสูงสุดของสารโอคราทอกซิน เอ สำหรับผลไม้อบแห้งต้องไม่เกิน 10 μg/kg (European Union, 2010) สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานของสารพิษนี้ในผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภครวมทั้งในผลไม้อบแห้งด้วย และเนื่องจากโอคราทอกซิน เอ มีโครงสร้างที่มีความคงตัว ไม่สามารถถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิหุงต้มปกติ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราที่สร้างสารพิษชนิดนี้ และปริมาณสารพิษในผลไม้อบแห้งที่จำหน่ายทั่วไป เพื่อให้ทราบว่าผลไม้อบแห้งชนิดใดมีการปนเปื้อนสารพิษสูง รวมทั้งหาวิธีการลดปริมาณสารพิษที่มีประสิทธิภาพสะดวก ผู้บริโภคสามารถปฏิบัติได้เอง เพื่อลดความเสี่ยงของผู้บริโภคในการได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกาย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราและสารโอคราทอกซิน เอ

สุ่มเก็บตัวอย่างผลไม้อบแห้งที่วางจำหน่ายในตลาดและห้างสรรพสินค้าต่างๆ จำนวน 20 ชนิด รวม 306 ตัวอย่าง แบ่งเป็นผลไม้อบแห้งที่ผลิตในประเทศ 154 ตัวอย่าง และผลไม้อบแห้งนำเข้าจากต่างประเทศ 152 ตัวอย่าง

1.1 การตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อราในผลไม้อบแห้ง

ตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อราโดยวิธี Direct Plate Count Method ล้างตัวอย่างผลไม้อบแห้งด้วยสารละลาย Sodium hypoclorite 10% นาน 1 นาที ซับตัวอย่างให้แห้งวางตัวอย่างบนอาหารเลี้ยงเชื้อรา DG18 โดยวางตัวอย่าง 7-10 ชิ้นต่อจานเลี้ยงเชื้อ จำนวน 5 จานเลี้ยงเชื้อต่อตัวอย่าง บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25±3 °ซ) เป็นเวลา 7 วัน บันทึกลักษณะและจำนวนเชื้อราที่พบ คำนวณการปนเปื้อนของเชื้อราดังสมการต่อไปนี้

$$\%\ \text{การปนเปื้อนของเชื้อรา} = \frac{\text{จำนวนชิ้นที่พบเชื้อรา}}{\text{จำนวนชิ้นที่วาง}} \times 100$$

1.2 การตรวจสอบปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง

ตรวจสอบปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ โดยวิธี ELISA ใช้ชุดทดสอบของ Veratox® NEOGEN

1.2.1 *การสกัดสารพิษจากตัวอย่าง*

ชั่งผลไม้อบแห้งตัวอย่างละ 25 กรัม ใส่ลงในเครื่องปั่น เติม 70% เมธานอล ปริมาตร 100 มล. ปั่นด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 2 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ปรับ pH ของสารสกัดให้อยู่ระหว่าง 6-7 เจือจางสารสกัดด้วยสารละลาย 0.01 M phosphate buffer saline (PBS)

1.2.2 *การตรวจสอบสารพิษ*

หยดสารพิษโอคราทอกซิน เอ มาตรฐาน 5 ระดับความเข้มข้น (0, 0.5, 1.25, 2.5 และ 6.25 ng/ml) และตัวอย่าง ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมสำหรับผสมสาร หยดเอนไซม์คอนจูเกตตามลงไป 100 μl ผสมสารให้เข้ากัน ดูดสารที่ผสมแล้ว 100 μl ลงในหลุมทดสอบ บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดนาน 10 นาที ล้างด้วย 0.01 M phosphate buffer saline - tween 20 (PBS-T) 5 ครั้ง ซับให้แห้ง หยดซับเสตรท (substrate) 100 μl ลงในหลุมทดสอบ บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืด นาน 10 นาที หยดสารหยุดปฏิกิริยา (stopping solution) 100 μl ลงในหลุมทดสอบ เขย่าเล็กน้อยอ่านค่าความเข้มสีด้วยเครื่อง MicroELISA Reader ที่ช่วงความยาว คลื่น 630 นาโนเมตร

2. การลดปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งด้วยวิธีทางกายภาพ

การเตรียมตัวอย่างทดลองโดยนำผลไม้อบแห้งที่มีการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ ในปริมาณสูง จำนวน 3 ชนิด ที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 (ทดสอบแต่ละชนิดของผลไม้อบแห้งแยกกัน) นำตัวอย่างผลไม้อบแห้งปริมาณ 5 กก. มาผสมให้มีความสม่ำเสมอ แล้วแบ่งชั่งตัวอย่าง ๆ ละ 200 กรัม ต่อ 1 ซ้ำ สำหรับการทดลอง

2.1 การอบด้วยเตาไมโครเวฟ

การอบด้วยเตาไมโครเวฟ (Sharp รุ่น R-241 ความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ซ กำลังไฟสูงสุด 800 วัตต์) จัดแบ่งตัวอย่างทดสอบเป็น 7 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1	กำลังไฟ 800 วัตต์ (ระดับความร้อนสูง) ระยะเวลา 30 วินาที
กรรมวิธีที่ 2	กำลังไฟ 800 วัตต์ (ระดับความร้อนสูง) ระยะเวลา 45 วินาที
กรรมวิธีที่ 3	กำลังไฟ 400 วัตต์ (ระดับความร้อนปานกลาง) ระยะเวลา 45 วินาที
กรรมวิธีที่ 4	กำลังไฟ 400 วัตต์ (ระดับความร้อนปานกลาง) ระยะเวลา 60 วินาที
กรรมวิธีที่ 5	กำลังไฟ 240 วัตต์ (ระดับความร้อนต่ำปานกลาง) ระยะเวลา 60 วินาที
กรรมวิธีที่ 6	กำลังไฟ 240 วัตต์ (ระดับความร้อนต่ำปานกลาง) ระยะเวลา 90 วินาที
กรรมวิธีที่ 7	ไม่ผ่านการอบ (ใช้ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษ)

นำตัวอย่างที่ผ่านการอบตามกรรมวิธีต่างๆ 6 กรรมวิธี รวมทั้งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบมาตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ ด้วยชุดทดสอบ Veratox® NEOGEN ขั้นตอนการวิเคราะห์สารพิษเช่นเดียวกับ ข้อ 1.2 คำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษ ดังสมการต่อไปนี้

$$\%\text{การลดลงของสารพิษ} = \frac{\text{ปริมาณสารพิษจากชุดควบคุม-ปริมาณสารพิษที่พบ}}{\text{ปริมาณสารพิษจากชุดควบคุม}} \times 100$$

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบ CRD (Completely Randomized Design) มี 6 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของกรรมวิธี โดยวิธี DMRT

2.2 การอบด้วยตู้อบลมร้อน

ประกอบด้วย 3 การทดลองย่อยที่แตกต่างกันตามระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ คือ 60 70 และ 80 ํซ มี 4 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ระยะเวลาในการอบ 30 นาที

กรรมวิธีที่ 2 ระยะเวลาในการอบ 45 นาที

กรรมวิธีที่ 3 ระยะเวลาในการอบ 60 นาที

กรรมวิธีที่ 4 ไม่ผ่านการอบ (ใช้ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษ)

ตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ ด้วยชุดทดสอบ Veratox® NEOGEN และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษ เช่นเดียวกับข้อ 2.1 และวิเคราะห์ข้อมูลรวม (Combined Analysis) แบบ CRD เพื่อหาปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบ

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราและสารโอคราทอกซิน เอ

1.1 การตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อราในผลไม้อบแห้ง

จากการตรวจผลไม้อบแห้ง 20 ชนิด จำนวน 306 ตัวอย่าง พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อราในผลไม้อบแห้ง 14 ชนิด จำนวน 159 ตัวอย่าง (51.96% ของตัวอย่างทั้งหมด) เชื้อราที่พบ ได้แก่ *Aspergillus niger, A. flavus, A. aculeatus, Rhizopus* sp., *Penicillium* sp. และ *Fusarium* sp. ซึ่ง *A. niger* และ *Penicillium* sp. เป็นเชื้อราที่สร้างสารโอคราทอกซิน เอ ได้ (Abarca *et al*., 1994 และ Cabanes *et al*., 2010) จากการศึกษาครั้งนี้พบเชื้อรา *A. niger* ในผลไม้อบแห้ง 12 ชนิด ได้แก่ แครนเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ บ๊วย บิงเชอร์รี่ พรุน มะขาม มะม่วง ลำไย ลูกเกดขาว ลูกเกดดำ สตรอเบอร์รี่ และอินทผลัม นอกจากนี้ยังพบ *Penicillium* sp. ในผลไม้อบแห้ง 4 ชนิด ได้แก่ พรุน มะขาม ลิ้นจี่ และลูกเกดดำ (Table 1)

1.2 การตรวจสอบปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง

จากการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ ด้วยวิธี ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay) พบว่า ผลไม้อบแห้ง 19 ชนิด จำนวน 234 ตัวอย่าง (76.47% ของตัวอย่างทั้งหมด) มีการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ อยู่ระหว่าง 0.30 - 24.10 ppb (μg/kg) พบการปนเปื้อนสูงสุดใน

Table 1. The percentage of contaminated and fungi in dried fruit samples.

Dried fruit	No. of samples	No. of contaminated	Contaminated fungi (%)						
			A. flavus	*A. niger*	*A. aculeatus*	*Penicillium* sp.	*Fusarium* sp.	*Rhizopus* sp.	Other
Kiwi	5	0	-	-	-	-	-	-	-
Cranberry	19	9	-	0.48	0.48	-	-	-	-
Blueberry	11	4	3.5	1	-	-	-	1.5	-
Apricot	7	5	4.28	4.28	-	-	-	-	-
Bing cherry	8	5	8	2.67	1.33				-
Guava	5	0	-	-	-	-	-	-	-
Prune	31	17	1.6	1	-	0.4	-	-	-
Chinese jujube	6	4	1.33	-	-	-	-	-	1.33
Figure	6	0	-	-	-	-	-	-	-
Tomato	12	0	-	-	-	-	-	-	-
Tamarind	7	7	4.67	6.67	-	1.33		5.33	-
Mango	9	3	-	1.33	-	-	-	-	-
Papaya	5	0	-	-	-	-	-	-	-
Longan	33	25	3.97	7.43	2.41	-	-	-	5.01
Lychee	20	16	4.4	-	0.8	0.4		0.4	3.2
White raisin	50	28	2.48	0.95	0.19	-	0.19	-	-
Black raisin	46	21	3.09	3.57	1.9	0.24	0.48	0.24	-
Strawberry	13	8	2.14	2	1	-	-	-	1
Pineapple	5	0	-	-	-	-	-	-	-
Date	8	7	4	42	4	-	-	-	-
Total	**306**	**159**	**43.46**	**73.38**	**12.11**	**2.37**	**0.67**	**7.47**	**10.54**

บลูเบอร์รี่อบแห้งปริมาณ 24.10 ppb รองลงมาคือ ลูกเกดขาว แครนเบอร์รี่ มะเขือเทศ และลิ้นจี่ พบ 13.0, 9.55, 9.4 และ 8.00 ppb ตามลำดับ และพบว่าผลไม้อบแห้งจำนวน 13 ชนิด ที่มีการปนเปื้อนของโอคราทอกซิน เอ ในทุกตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ กีวี แครนเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ บิงเชอร์รี่ ฝรั่ง พุทราจีน ฟิกซ์ มะขาม มะม่วง ลูกเกดขาว สตรอเบอร์รี่ สับปะรด และอินทผลัม (Table 2)

นอกจากนี้ยังพบว่าผลไม้อบแห้งนำเข้าจากต่างประเทศมีการปนเปื้อนของเชื้อราน้อยกว่าผลไม้อบแห้งที่ผลิตในประเทศ โดยพบการปนเปื้อน 40.79% และ 62.99% ตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้ามพบการปนเปื้อนของสารพิษ

Table 2. The number of OTA contaminated samples and concentration in dried fruit samples.

Dried fruit	No. of samples	No. of contaminated samples	Range of OTA concentration (μg/kg)
Kiwi	5	5	0.3 - 0.5
Cranberry	19	19	4.50 - 9.55
Blueberry	11	11	16.05 - 24.10
Apricot	7	4	0 - 1.00
Bing cherry	8	8	0.3 - 6.4
Guava	5	5	2.50 - 4.85
Prune	31	21	0 - 4.40
Chinese jujube	6	6	0.70 - 3.30
Figure	6	6	1.30 - 2.50
Tomato	12	7	0 - 9.40
Tamarind	7	7	1.20 - 5.10
Mango	9	9	0.30 - 3.00
Papaya	5	0	0
Longan	33	15	0 - 2.30
Lychee	20	9	0 - 8.00
White raisin	50	50	0.50 - 13.00
Black raisin	46	26	0 - 1.30
Strawberry	13	13	1.00 - 6.40
Pineapple	5	5	0.1 - 0.2
Date	8	8	0.3 - 1.15
Total	**306**	**234**	**0 - 24.10**

ในผลไม้อบแห้งนำเข้ามากกว่าผลไม้อบแห้งที่ผลิตในประเทศ โดยพบการปนเปื้อน 84.87% และ 68.18% ตามลำดับ (Table 3) จากการศึกษา พบว่าตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนของเชื้อราอาจไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษ หรือมีการปนเปื้อนในปริมาณน้อย และเชื้อราที่พบอาจไม่ใช่สายพันธุ์ที่สร้างสารพิษ ทั้งนี้การสร้างสารพิษของเชื้อราสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในแปลงปลูก ระหว่างเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยว และในระหว่างการเก็บรักษา (เนตรนภิส, 2554)

Table 3. The number of fungi and OTA contaminated in local and import dried fruit samples.

Source of sample	No. of samples	No. of fungi contaminated samples	No. of OTA contaminated samples
local	154	97 (62.99%)	105 (68.18%)
import	152	62 (40.79%)	129 (84.87%)

สำหรับผลไม้อบแห้งนำเข้า สารพิษอาจถูกสร้างทิ้งไว้ในผลิตผล แต่เชื้อราอาจถูกทำลายในระหว่างขั้นตอนการผลิต เช่น การลวกด้วยน้ำร้อน หรือไอน้ำ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2556) อีกทั้งผลิตภัณฑ์นำเข้าส่วนใหญ่มีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานโอกาสในการปนเปื้อนของเชื้อราจึงน้อย ในขณะที่ผลไม้อบแห้งที่ผลิตในประเทศผลิตภัณฑ์หลายชนิดใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน เมื่อมีสภาพแวดล้อม และอาหารที่เหมาะสมเชื้อราจึงเจริญได้ดีกว่า

2. การลดปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งด้วยวิธีทางกายภาพ

2.1 การอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งหลังทำการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่กรรมวิธีต่างๆ พบว่า การลดลงของสารโอคราทอกซิน เอ ในบลูเบอร์รี่ เมื่ออบที่ระดับกำลังไฟและระยะเวลาต่างกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสารพิษลดลงเฉลี่ย 20.70 - 28.46% ขณะที่การอบลูกเกดขาวด้วยเตาไมโครเวฟมีผลทำให้ปริมาณสารพิษลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอบที่ระดับกำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 60 วินาที สารพิษลดลงถึง 84.56% แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการอบที่กำลังไฟ 800 วัตต์ นาน 30 และ 45 วินาที และที่กำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 45 วินาที สำหรับแครนเบอร์รี่การอบด้วยกรรมวิธีต่างกัน มีผลทำให้สารพิษลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอบที่กำลังไฟ 800 วัตต์ นาน 45 วินาที ปริมาณสารพิษลดลงสูงสุด 74.35% รองลงมาคือ 58.02 และ 39.78% เมื่ออบที่ระดับกำลังไฟ 800 วัตต์ นาน 30 นาที และ 400 วัตต์ นาน 45 วินาที ตามลำดับ (Table 4) จากผลการทดลองพบว่า การอบผลไม้อบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟด้วยกำลังไฟระดับปานกลางหรือ 400 วัตต์ขึ้นไป สามารถลดปริมาณสารพิษลงได้โดยผลไม้ที่มีขนาดใหญ่และมีความชื้นมากกว่า สารพิษจะลดลงได้มากกว่า จากหลักการทำงานของไมโครเวฟ เมื่อคลื่นไมโครเวฟกระทบอาหารโมเลกุลของน้ำจะเกิดการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อน อาหารที่มีปริมาณน้ำมากกว่าก็จะเกิดความร้อนได้เร็วกว่า ความร้อนอาจไปทำลายโครงสร้างของสารพิษ

Table 4. The amount of OTA and percentage of OTA reduction after treated with microwave oven at different electric powers and times.

Treatment	Amount of OTA concentration (μg/kg)			Percentage of OTA of reduction		
	Blueberry	White raisin	Cranberry	Blueberry	White raisin	Cranberry
800 watt 30 sec	21.25	4.25	7.29	20.70 a	69.70 a	58.02 b
800 watt 45 sec	20.13	4.42	4.45	24.86 a	68.47 a	74.35 a
400 watt 45 sec	19.17	4.41	10.45	28.46 a	68.59 a	39.78 c
400 watt 60 sec	20.65	2.17	13.02	22.92 a	84.56 a	25.00 d
240 watt 60 sec	20.59	7.23	11.25	23.15 a	48.46 b	35.17 cd
240 watt 90 sec	20.03	9.47	13.28	25.22 a	32.48 b	23.49 d
Control	26.79	14.03	17.36			
			cv (%)	28.4	15.8	17.2

Mean in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 5. The percentage of OTA reduction in blueberry after treated with hot air oven at different temperatures and times.

Temperature (L)	Time (T)			L-mean
	30 min.	45 min.	60 min.	
80°C	37.88	39.90	43.30	40.36 a
70°C	29.51	34.08	39.31	34.30 ab
60°C	22.58	29.79	25.57	25.98 b
T-mean	29.99	34.59	36.06	33.55

cv = 26.0%

Mean in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by LSD.

Table 6. The percentage of OTA reduction in raisin after treated with hot air oven at different temperatures and times.

Temperature (L)	Time (T)			L-mean
	30 min.	45 min.	60 min.	
80°C	42.85 a	56.18 a	81.85 a	60.29
70°C	52.30 a	45.10 ab	56.33 b	51.24
60°C	2.07 b	28.60 b	7.31 bc	12.66
T-mean	32.41	43.29	48.50	41.40

cv = 23.7%

Means in a column followed by a common letter are not significantly different at 5% level by LSD.

Table 7. The percentage of OTA reduction in cranberry after treated with hot air oven at different temperatures and times.

Temperature (L)	Time (T)			L-mean
	30 min.	45 min.	60 min.	
80 ˚C	73.79	81.17	83.59	79.52 a
70 ˚C	58.15	68.93	77.73	68.27 b
60 ˚C	69.21	78.65	81.29	76.38 a
T-mean	67.05 b	76.25 a	80.87 a	74.72

cv = 8.5%

Mean in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by LSD.

มีผลให้ปริมาณสารพิษลดลงได้

2.2 การอบด้วยตู้อบลมร้อน

การลดลงของสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งหลังทำการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันพบว่า การอบบลูเบอร์รี่ที่อุณหภูมิต่างกัน ทำให้ปริมาณสารพิษลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลา การอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสารพิษลดลงเพิ่มมากขึ้น โดยการอบที่อุณหภูมิ 80 ˚ซ สามารถลดปริมาณสารพิษลงได้สูงสุด 40.36%ในขณะที่ระยะเวลาในการอบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) ปริมาณการลดลงของสารพิษในลูกเกดขาวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลา การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานมีผลทำให้ปริมาณสารพิษลดลงมากขึ้น การอบลูกเกดขาวด้วยอุณหภูมิ 80 ˚ซ เป็นเวลา 60 นาที สามารถลดสารพิษลงสูงสุดถึง 81.85% (Table 6) สำหรับแครนเบอร์รี่ที่อบด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลา โดยพบว่าการอบด้วยอุณหภูมิ 80 ˚ซ นาน 60 นาที มีผลทำให้สารพิษลดลงสูงสุด 83.59% (Table 7)

สรุปผลการทดลอง

1. เชื้อราที่พบในผลไม้อบแห้งที่ผลิตในประเทศไทย และนำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ *Aspergillus niger, A. flavus, A. aculeatus, Rhizopus* sp., *Penicillium* sp. และ *Fusarium* sp.

2. พบการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ ปริมาณสูงสุด ในบลูเบอร์รี่อบแห้ง ลูกเกดขาวและแครนเบอร์รี่อบแห้ง โดยการปนเปื้อนสารพิษในบลูเบอร์รี่ และลูกเกดขาว มีค่าเกิน 10 ppb ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนดสูงสุดสำหรับโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งที่กำหนดโดยกลุ่มสหภาพยุโรป

3. การอบลูกเกดขาวด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 60 วินาที สามารถลดปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ได้ 84.56% และการอบแครนเบอร์รี่อบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ 800 วัตต์ นาน 45 วินาที มีผลทำให้สารโอคราทอกซิน เอ ลดลง 74.35%

4. การอบแครนเบอร์รี่อบแห้ง ลูกเกดขาว และบลูเบอร์รี่อบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 ํซ นาน 60 นาที สามารถลดปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ลงได้ 83.59, 81.85 และ 43.30% ตามลำดับ

5. ผู้บริโภคสามารถนำวิธีการลดปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง ไปปฏิบัติในครัวเรือนได้ โดยเฉพาะการอบด้วยเตาไมโครเวฟซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย และสะดวก โดยเลือกระดับความร้อน และระยะเวลาที่เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิด เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

เนตรนภิส เขียวขำ. 2554. สารพิษจากเชื้อราในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว. *Postharvest Newsletter* 10: 5-7.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2556. ผลไม้อบแห้ง. แหล่งที่มา http://www.tistr-foodprocess.net/fruit__dry.html

อมรา ชินภูติ. 2551. สารพิษจากเชื้อราและการจัดการ. หน้า 1-21. ใน:เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การตรวจวิเคราะห์สารแอฟลาทอกซินในผลิตผลเกษตรอย่างรวดเร็วโดยชุดตรวจสอบสำเร็จรูป “DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit”. สำนักวิจัยพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บ เกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

Abarca, M.L., M.R. Bragulat, G. Castella and F.J. Cabanes. 1994. Ochratoxin A Production by Strains of *Aspergillus niger* var. niger. *Applied and Environmental Microbiology* 60: 2650-2652.

Bayman, P.,J.L. Baker, M.A. Doster, T.J. Michailides and N.E. Mahoney. 2002. Ochratoxin production by the *Aspergillus ochraceus* group and *Aspergillus alliaceus*. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 2326-2329.

Belli, N., S. Marin, A. Duaigues, A. J. Ramos and V. Sanchis.2004. Ochratoxin A in wines, musts and grape juices from Spain. *J. Sci. Food Agric.* 84: 591- 594.

Bercan C. 2009. Incidence of ochratoxin A in dried fruits and co-occurrence with aflatoxins in dried Figures. *Food and Chemical Toxicology* 47: 1996-2001.

Blesa, J., J.M. Soriano, J.C. Molto and J.

Manes. 2006. Factors affecting the presence of ochratoxin A in wine. Critical Reviews in *Food Science and Nutrition* 46: 473-478.

Cabanes F.J., M.R. Bragulat and G. Castella. 2010. Ochratoxin A Producing Species in the Genus Penicillium. *Toxin 2*: 1111- 1120.

European Union. 2010. Maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Commission Regulation (EU) No 165/2010. 26 february 2010.

IARC.1993. Evalution of Carcinogenic Risk of Chemical to Humans. Some Naturally-Occurring Substances. Food Item and Constituents. *Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins. Monographs,* vol. 56. pp. 359- 362.

Magan N. and D. Aldred. 2005. Conditions of formation of ochratoxin A in drying, transport and in different commodities. *Food Additives and Contaminants:* 10-16.

Osborne, B.G. 1979. Reverse-phase high performance liquid chromatography determination of Ochratoxin A in flour and bakery products. *J. Sci. Food Agric*. 30: 1065-1070.