

การตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษในผลิตภัณฑ์เกษตร
และวิธีลดสารพิษสำหรับผู้บริโภค

**Determination of fungi and mycotoxins in Agricultural produces
and practical reduction method for consumers**

รัตดา สุทธยาคม สุฟี วณศิริกุล เนตรา สมบูรณ์แก้ว อัจฉราพร ศรีจุฑานู

Ratta Suttayakom Su-phi Wanasirakul Nettra Somboonkaew Atcharaporn Srijudanu

ABSTRACT

Grain and dried fruit are highly consumed. However, these produces are probably contaminated with fungi and mycotoxin especially aflatoxin B₁ (AFB₁) and ochratoxin A (OTA), if they are maintained in improper storage condition i.e. high temperature and humidity. The aim of this study was to determine and reduce the contaminations of fungi and AFB₁ in grain and OTA in dried fruit. In 2011, 10 types of grain viz. rice, brown rice, sticky rice, black sticky rice, soy bean, mung bean, red bean, groundnut, white sesame and black sesame were collected from 10 locations in Bangkok whilst 20 types of imported and local dried fruits were bought from markets across Thailand. Fungi contamination was analyzed by Direct Plate Count method while mycotoxins were determined by Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) technique. *Aspergillus flavus* and AFB₁ were detected greatly in groundnut leading to high concentration of AFB₁ (80%) in this product, followed by black sesame (29.25%), black sticky rice (4.25%) and brown rice (3.75%). About 46.8% of groundnuts in this study were contaminated with AFB₁ over level of limitation (20 µg/kg or ppb) while the highest AFB₁ level in groundnut was 186.4 ppb. Concentrations of AFB₁ detected in brown rice, black sticky rice, black sesame and sticky rice were 0.9-50.4, 8.5-50.0, 1.0-48.9 and 1.0-27.1 ppb, respectively. *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. aculeatus*, *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp. and *Fusarium* sp. were found in dried fruit in this study. OTA was detected in 80 samples (86.9%) of dried fruit at concentration between 0.05 and 24.1 ppb. The third highest levels of OTA were found in dried blueberry imported from USA (24.1 ppb), white raisin (13.0 ppb) and dried cranberry (9.6 ppb). The maximum level of OTA in food is 10 ppb. The results indicated that both local and imported products were not safe for consumers. Simple and practical technique to decrease contamination of mycotoxin in

agricultural produces could be benefit to consumers. Hot air- and microwave oven were used to reduce the concentration of both AFB₁ and OTA in recent study. Heat at 50-80°C from hot air oven for 1-2 hour could lower AFB₁ in brown rice, sticky rice and black sesame for 19.82-69.73% depending on type of products. OTA contents in dried blueberry, white raisin and dried cranberry, heated at 80°C hot air oven for 1 hour, were dropped by 43.30, 81.85 and 83.59%, respectively. For microwave oven, 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. The results indicate that heating by either hot air- or microwave ovens could be an alternative method to reduce the OTA contamination in various dried fruits.

Key words: Aflatoxin B₁, agricultural products, dried fruit, ochratoxin A, ELISA, physical methods

บทคัดย่อ

ผลิตผลเกษตรจำพวกธัญพืชและผลไม้อบแห้งต่างๆ เป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภคมาก แต่ผลิตผลและผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีโอกาสปนเปื้อนเชื้อราและสารพิษจากเชื้อราสูงมาก หากมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกต้อง เช่น เก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม มีอุณหภูมิและความชื้นสูง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำข้อมูลชนิด ปริมาณของเชื้อรา และสารพิษจากเชื้อราที่ปนเปื้อนในผลิตผลเกษตรและผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งวิธีการลดปริมาณสารพิษที่ผู้บริโภคสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างธัญพืช 10 ชนิดๆ ละ 10 ตัวอย่างจากแหล่งจำหน่าย 10 แหล่ง และผลไม้อบแห้ง 20 ชนิด จำนวน 92 ตัวอย่าง มาตรวจการปนเปื้อนของเชื้อราด้วยวิธี Direct Plate Count ตรวจหาสารพิษจากเชื้อราด้วยวิธี Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) พบว่าถั่วลิสงมีการปนเปื้อนของรา *Aspergillus flavus* สูงที่สุด 80% รองลงมา ได้แก่ งาดำ 29.25% ข้าวเหนียวดำ 4.25% และข้าวกล้อง 3.75% และพบการปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซินซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งระดับในถั่วลิสงสูงที่สุด โดยมีปริมาณสารพิษเฉลี่ย 186.4 พีพีบี (ไมโครกรัม/กิโลกรัม) ซึ่ง 46.8% ของจำนวนตัวอย่างถั่วลิสงที่ตรวจ พบว่ามีสารพิษเกินมาตรฐานที่ประเทศกำหนด (20 พีพีบี) ขณะที่ในข้าวกล้องพบสารแอฟลาทอกซินระหว่าง 0.9-50.4 พีพีบี ข้าวเหนียวดำ 8.5-50 พีพีบี งาดำ 1.0-48.9 พีพีบี และข้าวเหนียวขาว 1.0-27.1 พีพีบี สำหรับผลไม้อบแห้งพบการปนเปื้อนของราหลายชนิด ได้แก่ *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. aculeatus*, *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp. และ *Fusarium* sp. และพบสารโอคราทอกซิน เอ ซึ่งเป็นสารพิษที่ทำลายระบบการทำงานของไตปนเปื้อนในผลไม้อบแห้งจำนวน 80 ตัวอย่าง มีปริมาณระหว่าง 0.05-24.1 พีพีบี โดยพบปริมาณสูงสุดคือ 24.1 พีพีบี ในบลูเบอร์รี่อบแห้งที่นำเข้าจากอเมริกา ลูกเกดขาว 13.0 พีพีบี และพบในแครนเบอร์รี่อบแห้ง 9.6 พีพีบี ซึ่งมาตรฐานกำหนดให้ปนเปื้อนได้ไม่เกิน 10 พีพีบี ข้อมูลนี้ทำให้ทราบว่าผลิตผลเกษตรที่ผลิตใน

ประเทศและนำเข้ามีความไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคไม่สามารถตรวจวิเคราะห์สารพิษได้ด้วยตนเองก่อนการบริโภค ดังนั้นการศึกษาวิธีการลดปริมาณสารแอฟลาทอกซิน และสารโอคราทอกซิน เอ แบบง่ายๆ ที่ผู้บริโภคสามารถปฏิบัติเองได้จึงมีความจำเป็น ผลการทดลองพบว่าวิธีการอบด้วยตู้อบลมร้อน และเตาไมโครเวฟ สามารถลดปริมาณสารพิษลงได้ ผลผลิตเกษตรที่เป็นข้าวกล้อง ข้าวเหนียว และงาคั่วใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิตเกษตร สามารถลดสารแอฟลาทอกซินได้ 19.82-69.73% ขณะที่การใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง สามารถลดสารโอคราทอกซิน เอ ในบลูเบอร์รี่ ลูกเกดขาว และแครนเบอร์รี่ลงได้ 43.3, 81.8 และ 83.6 % ตามลำดับ และถ้าใช้เตาไมโครเวฟที่ระดับกำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 45 วินาที สามารถลดสารโอคราทอกซิน เอ ในบลูเบอร์รี่ 28.4% และในลูกเกดขาว ที่ 400 วัตต์ นาน 60 วินาที ลดได้ 84.6% ขณะที่แครนเบอร์รี่ระดับไฟ 800 วัตต์ นาน 45 วินาที ลดสารโอคราทอกซิน เอ ได้ 74.3%

คำหลัก: แอฟลาทอกซิน บี1, โอคราทอกซิน เอ, ผลผลิตเกษตร, ผลไม้อบแห้ง, ELISA, วิถีทางกายภาพ

คำนำ

การปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษจากเชื้อรา (Mycotoxins) เป็นปัญหาที่พบในผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิด ทั้งในประเทศและระหว่างประเทศ ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์ สารพิษจากเชื้อราเป็นสารพิษที่มีที่สร้างโดยเชื้อรา เมื่อมีสภาพแวดล้อมเหมาะสม ปัจจุบันประเทศแถบยุโรปได้นำเอาปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรามาเป็นข้อกีดกันทางการค้าในการส่งออกสินค้าเกษตร เช่น กำหนดว่าผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสงที่นำเข้าจะต้องไม่ให้มีการปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซินเกิน 2 พีพีบี (ไมโครกรัม/กิโลกรัม) ผลิตภัณฑ์กาแฟและผลไม้อบแห้งไม่มีการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซินได้ไม่เกิน 10 พีพีบี สำหรับการกำหนดปริมาณสูงสุดของสารพิษในระดับที่ยอมให้มีได้ในอาหารของแต่ละประเทศจะมีการกำหนดแตกต่างกันไป (อมรา, 2551)

สารแอฟลาทอกซิน (Aflatoxins) เป็นกลุ่มของสารพิษที่สร้างโดยเชื้อรา *Aspergillus flavus* *A. parasiticus* และ *A. nomius* พบมากในเมล็ดธัญพืช และพืชน้ำมันชนิดต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าว ข้าวสาลี ถั่วลิสง และในผลิตภัณฑ์แปรรูปแทบทุกชนิดที่ใช้วัตถุดิบจากผลิตผลเกษตรที่มีเชื้อราชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่ก่อน (Pitt and Hocking, 1996) ผลผลิตเหล่านี้เมื่ออยู่ในสภาพการเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง อาจมีเชื้อราขึ้นปะปน เชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* พบแพร่กระจายอยู่ทั่วไปโดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ซึ่งเหมาะกับการเจริญเติบโตของเชื้อราและการสร้างแอฟลาทอกซินเป็นอย่างมาก อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* คือ 36-38 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85% เชื้อราสามารถสร้างสารพิษได้ภายใน 48 ชั่วโมง (ปริศนา, 2524) สารแอฟลาทอกซินที่พบตามธรรมชาติมีอยู่ 4 ชนิด คือ แอฟลาทอกซิน บี1 บี2

จี1 และจี2 โดยแอฟลาทอกซิน บี1 มีความเป็นพิษสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ จี1 บี2 และ จี2 ตามลำดับ องค์การอนามัยโลกจัดให้แอฟลาทอกซินเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรงมากที่สุดชนิดหนึ่ง ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองได้หากได้รับอย่างต่อเนื่อง โรคที่ตรวจพบในคน ได้แก่ มะเร็งตับ ตับอักเสบ ตับแข็ง และสมองอักเสบ นอกจากนี้ยังพบความผิดปกติที่อวัยวะอื่นๆ รวมด้วย เช่น เซลล์ปอดและเซลล์หลอดลม ความเป็นพิษแสดงออกมากหรือน้อยขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ภาวะของการบริโภคอาหาร อายุ เพศ สอร์โมน การทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในตับ และจำนวนสารพิษที่เข้าสู่ร่างกาย (Martins and Martins, 2004; Park *et al.*, 2002)

สารโอคราตอกซิน (Ochratoxins) พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1965 สร้างโดยเชื้อรา *Aspergillus ochraceus* ต่อมาพบว่าสารพิษชนิดนี้ถูกสร้างโดยเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* หลายสายพันธุ์ เช่น *A. alliaceus* *A. ostianus* *A. sclerotiorum* และ *A. glaucus* ในปัจจุบันยังพบว่าราดำ เช่น *A. niger* *A. carbonarius* และ *A. foetidus* ก็สามารถสร้างสารพิษนี้ได้ ราในกลุ่ม *Aspergillus* พบสร้างสารพิษในแถบอากาศร้อนชื้น ส่วนในประเทศแถบอากาศเย็นการสร้างสารพิษจะเกิดจากเชื้อราในกลุ่ม *Penicillium* เช่น *Penicillium verrucosum* และ *P. aurantiogriseum* เชื้อราเหล่านี้จะสร้างสารพิษเมื่อมีอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นในตัวผลิตภัณฑ์เหมาะสม (Blesa *et al.*, 2006) โอคราตอกซิน มี 2 ชนิด คือ โอคราตอกซิน เอ และบี แต่ที่พบตามธรรมชาติคือ โอคราตอกซิน เอ พบในผลิตภัณฑ์เกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี เมล็ดโกโก้ เมล็ดคาแฟ และถั่วชนิดต่าง ๆ (อมรา, 2551) นอกจากนี้ยังพบในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผลไม้อบแห้ง น้ำองุ่น เบียร์และไวน์ (Belli *et al.*, 2004) โอคราตอกซิน เอ เป็นสารที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับไต (nephrotoxic) ก่อให้เกิดลูกวิรูป (teratogenic) เป็นพิษต่อภูมิคุ้มกันและเป็นพิษต่อพันธุกรรมในสัตว์ทดลองหลายชนิด (Bayman *et al.*, 2002) องค์การ International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัดให้สารโอคราตอกซิน เอ เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์อีกด้วย (IARC, 1993)

การปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษจากเชื้อราสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกขั้นตอนการผลิตตั้งแต่การเก็บเกี่ยว การบรรจุ การขนส่ง จนถึงการเก็บรักษา แอฟลาทอกซินมักพบการปนเปื้อนตั้งแต่อยู่ในแปลง ขณะที่โอคราตอกซิน เอ มักพบในระหว่างขั้นตอนการทำให้แห้งและการเก็บรักษา (Magan and Aldred, 2005) การจัดการสารพิษจากเชื้อราสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นวิธีทางเคมี เช่น การใช้กรดแก่ หรือด่างแก่ และวิธีทางกายภาพ เช่น การคัดแยกเมล็ดธัญพืช การใช้รังสี (Marth and Doyle, 1979) การใช้ความร้อน และการใช้พลังงานแสง (อมรา, 2551) ประเทศไทยกำหนดให้มีการปนเปื้อนของแอฟลาทอกซินในอาหารทั่วไปได้ไม่เกิน 20 พีพีบี และสหภาพยุโรปกำหนดให้มีการปนเปื้อนของแอฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่ต้องนำไปผ่านกระบวนการ ไม่เกิน 20 พีพีบี สำหรับการปนเปื้อนของสารโอคราตอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง สหภาพยุโรปกำหนดให้ได้ไม่เกิน 10 พีพีบี (European Union, 2010) แต่ประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานของสารพิษนี้ในผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค การปนเปื้อนของสารพิษแอฟลาทอกซิน และโอคราตอกซิน เอ เป็นปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพและอนามัย

ของผู้บริโภคโดยตรง ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราที่สร้างสารพิษทั้งสองชนิด รวมทั้งการหาวิธีการลดปริมาณสารพิษอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภคเพื่อให้ได้คำแนะนำกับผู้บริโภคเป็นการแก้ปัญหาในระยะสั้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. ตัวอย่างผลไม้อบแห้ง | 7. ชุดตรวจสอบแอฟลาทอกซินบี1 |
| 2. ตัวอย่างเมล็ดธัญพืช | 8. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 4 |
| 3. เครื่องปั่น (blender) | 9. เครื่องดูดปล่อยสารละลาย |
| 4. อาหารเลี้ยงเชื้อรา DG18 และ PDA | 10. เครื่องอ่าน MicroELISA Reader |
| 5. เมทานอล | 11. ตู้อบลมร้อน |
| 6. ชุดตรวจสอบโอคราทอกซิน เอ | 12. เตาอบไมโครเวฟ |

วิธีการ

1. ศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษจากเชื้อราในผลิตภัณฑ์เกษตร

1.1 การปนเปื้อนของเชื้อราและสารแอฟลาทอกซินบี1 ในผลิตภัณฑ์เกษตร 10 ชนิด

สุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดธัญพืชที่วางจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานครจากซูเปอร์มาร์เก็ต 5 แห่ง และตลาดทั่วไป 5 แห่ง โดยแต่ละแหล่งเก็บตัวอย่างเมล็ด 10 ชนิด ได้แก่ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวเหนียวดำ ข้าวเหนียวขาว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วลิสง งาขาว และงาคั่ว แต่ละชนิดเก็บ 10 ตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2554 และครั้งที่ 2 กรกฎาคม-กันยายน 2554 รวมทั้งหมด 1,712 ตัวอย่าง ทำการสุ่มตัวอย่างเมล็ดจำนวน 100 กรัม/ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการตรวจการปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซินบี1 และนำตัวอย่างที่เหลือมาคลุกรวมกันแล้วทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอีกครั้ง เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการตรวจการปนเปื้อนของเชื้อรา *Aspergillus flavus*

1.1.1 การตรวจการปนเปื้อนของเชื้อรา *Aspergillus flavus* โดยวิธี Direct Plate Count Method ล้างตัวอย่างเมล็ดด้วยคลอโรกซ์ (Clorox) 10% นาน 5 นาที ซับให้แห้ง วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Dichloran Glycerol Agar (DG18) จำนวน 400 เมล็ด/ชนิด เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จึงตรวจนับจำนวนเชื้อรา *A. flavus* ที่ปนเปื้อน

1.1.2 การตรวจการปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซิน บี1 โดยใช้ชุดตรวจสอบสำเร็จรูป DOA ELISA Test Kit

นำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดปริมาณ 20 กรัม ใส่ใน flask (ขวดแก้ว) ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำเมทานอล 70% ลงในขวดแก้วที่ใส่ตัวอย่าง ปริมาณ 100 มิลลิลิตร/ขวดแก้ว (อัตราส่วน 1:5) ปิดปากขวดด้วยจุกยางแล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อัตราความเร็ว 300 รอบ/นาที นาน 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ให้ตกตะกอน นำส่วนใสมา

กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ส่วนที่กรองได้นำไปเจือจางด้วย 0.01 M PBS (Phosphate buffer saline) ให้เป็นอัตราส่วน 1:20 นำไปวิเคราะห์สารพิษด้วยชุดตรวจสอบสำเร็จรูป DOA ELISA Test Kit

1.2 การปนเปื้อนของเชื้อราและสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง

เก็บตัวอย่างผลไม้อบแห้งที่วางจำหน่ายในตลาดและห้างสรรพสินค้าต่างๆ ทั้งผลิตภัณฑ์นำเข้า และผลิตภัณฑ์ในประเทศ จำนวน 20 ชนิด ได้แก่ กิ๊ว แครนเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ บ๊วย บิงเชอร์รี่ ฝรั่ง พ룬 พุทราจีน ฟิกซ์ มะเขือเทศ มะขาม มะม่วง มะละกอ ลำไย ลิ้นจี่ ลูกเกดสีขาว ลูกเกดสีดำ สตอเบอร์รี่ สับปะรด และอินทผลัม รวม 92 ตัวอย่าง ละ 5 ซ้ำ

1.2.1 การตรวจการปนเปื้อนของเชื้อรา ใช้วิธี Direct Plate Count Method ล้างตัวอย่างผลไม้อบแห้งด้วยคลอโรกซ์ (Clorox) 10% นาน 1 นาที ซับตัวอย่างให้แห้ง วางตัวอย่างบนอาหารเลี้ยงเชื้อ DG18 โดยวางตัวอย่าง 7-10 ชิ้น/จานเลี้ยงเชื้อ จำนวน 5 จานเลี้ยงเชื้อ/ตัวอย่าง บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ตรวจนับจำนวนเชื้อราที่พบ

1.2.2 การตรวจการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ โดยวิธี ELISA ใช้ชุดทดสอบของ Veratox[®] NEOGEN

ซังผลไม้อบแห้งตัวอย่างละ 25 กรัม ใส่ลงในเครื่องปั่น เติม 70% ของเมทานอล 100 มิลลิลิตร ปั่นด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 2 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ปรับ pH ของสารสกัดให้อยู่ระหว่าง 6-7 เจือจางสารสกัดโดยใช้สารละลาย 0.01M PBS นำไปวิเคราะห์สารพิษด้วยชุดตรวจสอบสำเร็จรูป Veratox[®] NEOGEN

2. การลดปริมาณสารพิษจากเชื้อราในผลิตภัณฑ์เกษตรด้วยวิธีทางกายภาพ

2.1 การลดปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินบี1 ในผลิตภัณฑ์เกษตร

เลือกตัวอย่างเมล็ดที่มีการปนเปื้อนสารแอฟลาทอกซินบี1 สูงเกินค่ามาตรฐาน (20 พีพีบี) จำนวน 4 ชนิด คือ ข้าวกล้อง ข้าวเหนียวดำ ถั่วลิสง และงาคำ ทำการปลูกเชื้อบนเมล็ด โดยซังตัวอย่างเมล็ด 100 กรัม/ขวด ปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *Aspergillus flavus* ปริมาณ 1×10^7 สปอร์/มิลลิลิตร จำนวน 3 มิลลิลิตร/ขวด ปิดฝาขวด บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องในบริเวณที่ได้รับแสง นาน 14 วัน แล้วนำตัวอย่างมานึ่งฆ่าเชื้อโดยหม้อนึ่งความดัน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 15 นาที นำตัวอย่างจากทุกขวดมาผสมกัน คลุกให้เข้ากันเพื่อให้ตัวอย่างมีความสม่ำเสมอ

2.1.1 การอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ซังเมล็ดงาคำที่ปลูกเชื้อแล้ว 100 กรัม/จาน จำนวน 60 จาน นำมาอบในไมโครเวฟตามกรรมวิธี โดยใช้ไมโครเวฟ Panasonic model NN-S235 MF/WF ซึ่งมีความถี่คลื่น ขณะทำงาน 2450 เมกะเฮิร์ตซ์ กำลังไฟในการทำงาน 800 วัตต์ สำหรับในเมล็ดอีก 3 ชนิด คือ ข้าวกล้อง ข้าวเหนียวดำ และงาคำ การอบไมโครเวฟมีผลให้เมล็ดข้าวแตกหัก และเมล็ดถั่วลิสงไหม้ วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 10 กรรมวิธี 6 ซ้ำ

- | | |
|--|--|
| กรรมวิธีที่ 1 ความร้อนต่ำ เวลา 2 นาที | กรรมวิธีที่ 6 ความร้อนปานกลาง เวลา 90 วินาที |
| กรรมวิธีที่ 2 ความร้อนต่ำ เวลา 3 นาที | กรรมวิธีที่ 7 ความร้อนสูง เวลา 20 วินาที |
| กรรมวิธีที่ 3 ความร้อนต่ำ เวลา 4 นาที | กรรมวิธีที่ 8 ความร้อนสูง เวลา 30 วินาที |
| กรรมวิธีที่ 4 ความร้อนปานกลาง เวลา 30 วินาที | กรรมวิธีที่ 9 ความร้อนสูง เวลา 40 วินาที |
| กรรมวิธีที่ 5 ความร้อนปานกลาง เวลา 60 วินาที | กรรมวิธีที่ 10 ชุดควบคุม (control) |

2.1.2 การอบด้วยตู้อบลมร้อน

ข้าวกล้อง ข้าวเหนียวดำ และงาคั่ว ซึ่งตัวอย่างเมล็ดปลูกเชื้อทั้ง 3 ชนิด น้ำหนัก 100 กรัม/ถาด ชนิดละ 120 ถาด วางแผนการทดลองแบบ factorial 4x5 in CRD จำนวน 6 ซ้ำ

ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ มี 4 ระดับ คือ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่ 2 เวลาที่ใช้ในการอบ มี 5 ระดับ คือ 30 60 90 120 และ 150 นาที

ถั่วลิสงปลูกเชื้อ ซึ่งตัวอย่าง 100 กรัม/ถาด จำนวน 60 ถาด เนื่องจากถั่วลิสงเมื่ออบที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสมีผลให้เมล็ดถั่วลิสงไหม้ จึงทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส วางแผนการทดลองแบบ factorial 2x5 in CRD จำนวน 6 ซ้ำ

ปัจจัยที่ 1 ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ มี 2 ระดับ คือ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่ 2 ระดับเวลาที่ใช้ในการอบ มี 5 ระดับ คือ 30 60 90 120 และ 150 นาที

นำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซินบี1 โดยใช้ชุดตรวจสอบสำเร็จรูป และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษ

2.2 การลดปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง

นำผลไม้อบแห้งที่มีการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ สูง ได้แก่ บลูเบอร์รี่ ลูกเกดขาว และแครนเบอร์รี่ คลุกตัวอย่างแต่ละชนิดให้เข้ากัน ซึ่งตัวอย่างๆ ละ 200 กรัม ใส่ในภาชนะสำหรับอบ

2.2.1 การอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ใช้เตาไมโครเวฟ Sharp รุ่น R-241 ความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ กำลังไฟสูงสุด 800 วัตต์ วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 7 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กำลังไฟ 800 วัตต์ (ระดับความร้อนสูง) เวลา 30 วินาที

กรรมวิธีที่ 2 กำลังไฟ 800 วัตต์ (ระดับความร้อนสูง) เวลา 45 วินาที

กรรมวิธีที่ 3 กำลังไฟ 400 วัตต์ (ระดับความร้อนปานกลาง) เวลา 45 วินาที

กรรมวิธีที่ 4 กำลังไฟ 400 วัตต์ (ระดับความร้อนปานกลาง) เวลา 60 วินาที

กรรมวิธีที่ 5 กำลังไฟ 240 วัตต์ (ระดับความร้อนต่ำปานกลาง) เวลา 60 วินาที

กรรมวิธีที่ 6 กำลังไฟ 240 วัตต์ (ระดับความร้อนต่ำปานกลาง) เวลา 90 วินาที

กรรมวิธีที่ 7 ชุดควบคุม (ไม่ผ่านการอบ)

2.2.2 การอบด้วยตู้อบลมร้อน

วางแผนการทดลองแบบ 3x3(+1) factorial in CRD ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 3 ระดับ คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาในการอบ 3 ระดับ คือ 30 45 และ 60 นาที มี 10 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 80 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที	กรรมวิธีที่ 6 70 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที
กรรมวิธีที่ 2 80 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที	กรรมวิธีที่ 7 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
กรรมวิธีที่ 3 80 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที	กรรมวิธีที่ 8 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
กรรมวิธีที่ 4 70 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที	กรรมวิธีที่ 9 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
กรรมวิธีที่ 5 70 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที	กรรมวิธีที่ 10 ชุดควบคุม

นำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน ด้วยชุดทดสอบ Veratox[®] NEOGEN คำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษ

สูตรคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดลงของสารพิษ} = \frac{(\text{ปริมาณสารพิษของชุดควบคุม} - \text{ปริมาณสารพิษของกรรมวิธี}) \times 100}{\text{ปริมาณสารพิษของชุดควบคุม}}$$

เวลาและสถานที่

ระยะเวลาทำการทดลอง เริ่มต้น ตุลาคม 2553 สิ้นสุด กันยายน 2555

สถานที่ทำการทดลอง ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษจากเชื้อราในผลิตผลเกษตร

1.1 การปนเปื้อนของเชื้อราและสารแอฟลาทอกซินบี1 ในผลิตผลเกษตร

1.1.1 การตรวจการปนเปื้อนของเชื้อรา *Aspergillus flavus*

พบการปนเปื้อนของเชื้อราแต่ละตัวอย่างในปริมาณต่ำไม่เกิน 6% ยกเว้นในถั่วลิสงพบการปนเปื้อนของ *A. flavus* สูงที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 1.75-80% และงาคำพบ *A. flavus* มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-29.25% สำหรับในกลุ่มของข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวเหนียวขาว และข้าวเหนียวดำ พบการปนเปื้อนของเชื้อ *A. flavus* ในข้าวเหนียวดำมากที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-4.25% พบรองลงมาคือ ข้าวกล้อง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-3.75% (Table 1)

1.1.2 การตรวจการปนเปื้อนสารแอฟลาทอกซินบี1

การปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซินบี1 จากตัวอย่างธัญพืช 10 ชนิด จำนวน 1,712 ตัวอย่าง ตรวจพบตัวอย่าง 5 ชนิด ที่มีค่าแอฟลาทอกซินบี1 สูงเกินมาตรฐานกำหนด 20 พีพีบี คือ ข้าวกล้อง มีค่าแอฟลาทอกซินบี1 อยู่ระหว่าง 0.9-50.4 พีพีบี ข้าวเหนียวขาว 1.0-27.1 พีพีบี ข้าวเหนียวดำ 8.5-50 พีพีบี

งาค่า 1.0 - 48.9 พีพีบี และถั่วลิสง 1.1-186.4 พีพีบี ซึ่งในถั่วลิสงมีการปนเปื้อนของแอฟลาทอกซินบี1 สูงที่สุด พบเกินค่ามาตรฐาน 40.7% ของตัวอย่างถั่วลิสงทั้งหมด (Table 2)

Table 1. Percent of *Aspergillus flavus* contamination in 10 kinds of agricultural products from 10 locations on January – March and July – September 2011

Time	Agricultural Products	% <i>Aspergillus flavus</i> of sample*									
		Market 1	Market 2	Market 3	Market 4	Market 5	Super market 1	Super market 2	Super market 3	Super market 4	Super market 5
January – March 2011	Rice	0	0	1.25	0	0.25	0	0	0	0.75	0.75
	Brown rice	1	0	0.25	0	0.5	0	0	0	1	1.5
	Sticky rice	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
	Black sticky rice	4.25	0.5	0.25	2.5	0.25	0	0.75	0	2.25	0.25
	Soybean	0.5	0.25	0	0.5	0.75	1	0	0.25	0.5	0.75
	Mung bean	0.5	0	1.75	0	0.5	0.25	2.5	0	0.5	0.5
	Red bean	0.25	0.75	0.5	0	2.75	0	0.25	2	5.5	0.25
	Groundnut	18.75	18	35.5	51.5	63.25	0	37.5	25.75	9.75	2.5
	Sesame	0	0	0	0	0	0.25	0	0	2.5	0
	Black sesame	0	0	1.25	5.5	7.5	1.5	0	0	0	0
July – September 2011	Rice	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0
	Brown rice	0	0	3.75	0	1.5	0	0	0	0	0
	Sticky rice	0	1.5	0	0.25	0	0	0	0	0	0.25
	Black sticky rice	1.75	1	0	1.75	1.75	0	1	1	0.5	0
	Soybean	1	0.75	0.75	0	0.25	0.25	0.75	0.5	0	1.25
	Mung bean	0.5	0.75	0.5	1.75	1.25	0.25	0	0	0.25	0
	Red bean	0	0	0.25	0.25	0.25	0	0.25	0	0	1.5
	Groundnut	1.75	31	45	80	12	2	0	5.25	2.25	18.5
	Sesame	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Black sesame	0	0	2.75	0	0.25	0	0	29.25	0	0

จากผลการทดลองพบว่า ถั่วลิสงมีการปนเปื้อนของเชื้อรา *A. flavus* และแอฟลาทอกซินบี1 มีค่าสูงสอดคล้องกัน โดยพบเชื้อราที่สร้างสารพิษสูง และมีปริมาณแอฟลาทอกซินบี1 สูงเช่นกัน เนื่องจากเชื้อราที่สร้างสารแอฟลาทอกซินเจริญได้ดีในสภาพอากาศร้อนชื้น อมราและคณะ (2549) ศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อราในผลิตผลเกษตรจำนวน 17 ชนิด จากแหล่งจำหน่าย 10 แห่ง พบเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* มากที่สุด โดยพบ *A. flavus* ปนเปื้อนในถั่วลิสงสูง 38.6% และจากการรวบรวมผลการวิเคราะห์สารแอฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์ถั่วลิสง ในปี 2525-2536 จำนวน 600 ตัวอย่าง พบถั่วลิสงดิบมีการปนเปื้อนมากที่สุด 81% ของตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-3529 พีพีบี พบเกินค่ามาตรฐาน 55% (ศรีสิทธิและคณะ, 2538)

Table 2. Amount of AFB1 contamination in 10 kinds of agricultural products from 10 locations in Bangkok 2011

Kind of products	No. of analyzed sample	positive sample (%)	No. of contaminated sample over 20 ppb (%)	Range amount of AFB1 (ppb)
Rice	179	65.4	0	0.6-12.6
Brown rice	165	99.4	24.8	0.9-50.4
Sticky rice	165	97.6	1.8	1.0-27.1
Black sticky rice	152	100	40.8	8.5-50
Soybean	165	84.8	0	0.9-10.1
Mung bean	182	57.1	0	0.6-8.9
Red bean	190	77.4	0	0.5-11.7
Groundnut	188	98.4	46.8	1.1-186.4
Sesame	157	70.7	0	0.6-9.6
Black sesame	169	97.6	15.4	1.0-48.9
Total	1,712	84.8	12.9	0.5-186.4

1.2 การปนเปื้อนของเชื้อราและสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง

1.2.1 การตรวจการปนเปื้อนของเชื้อรา

พบการปนเปื้อนของเชื้อราในผลไม้อบแห้ง 14 ชนิด จำนวน 38 ตัวอย่าง (41.30%) เชื้อราที่พบ ได้แก่ *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. aculeatus*, *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp. และ *Fusarium* sp. เชื้อราสาเหตุที่มีรายงานการสร้างสาร โอคราทอกซิน เอ ได้แก่ *A. niger* (Abarca *et al.*, 1994) และกลุ่ม *Penicillium* เช่น *P. verrucosum* (Cabanes *et al.*, 2010) จากการศึกษาพบเชื้อสาเหตุคือ *A. niger* ในผลไม้อบแห้ง 12 ชนิด ได้แก่ แครนเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ บัวย บิงเชอร์รี่ พ룬 มะขาม มะม่วง ลำไย ลูกเกดขาว ลูกเกดดำ สตอเบอร์รี่ และอินทผลัม และพบ *Penicillium* sp. ในผลไม้อบแห้ง 4 ชนิด ได้แก่ พ룬 มะขาม ลิ้นจี่ และลูกเกดดำ (Table 3)

1.2.2 การตรวจการปนเปื้อนของสารโอคราทอกซิน เอ

พบการปนเปื้อนของสาร โอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง 80 ตัวอย่าง (86.96%) การปนเปื้อนอยู่ระหว่าง 0.30- 24.10 พีพีบี การปนเปื้อนสูงสุดพบในบลูเบอร์รี่ 24.10 พีพีบี รองลงมาคือ ลูกเกดขาว แครนเบอร์รี่ มะเขือเทศ และลิ้นจี่ พบ 13.0, 9.55, 9.4 และ 8.00 พีพีบี ตามลำดับ (Table 3) และยังพบว่า ผลไม้อบแห้งนำเข้ามีการปนเปื้อนของเชื้อราน้อยกว่าผลไม้อบแห้งที่ผลิตในประเทศ โดยพบการปนเปื้อน 37.50% และ 50.00% ตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้ามพบการปนเปื้อนของสารพิษในผลไม้อบแห้งนำเข้ามากกว่าผลไม้อบแห้งที่ผลิตในประเทศ โดยพบการปนเปื้อน 92.85% และ 77.77% ตามลำดับ ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนของเชื้อราอาจไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษหรือมีใน

ปริมาณน้อย ทั้งนี้เชื้อราที่พบอาจไม่ใช่สายพันธุ์ที่สร้างสารพิษ การสร้างสารพิษของเชื้อราเกิดขึ้นได้ทั้งในแปลงปลูก ระหว่างเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยว และในระหว่างการเก็บรักษา (เนตรนภิส, 2554) สำหรับผลไม้อบแห้งนำเข้า สารพิษอาจถูกสร้างทิ้งไว้ในผลิตผล แต่เชื้อราอาจถูกทำลายในระหว่างขั้นตอนการผลิต อีกทั้งผลิตภัณฑ์นำเข้าส่วนใหญ่มีการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ได้มาตรฐาน โอกาสในการปนเปื้อนของเชื้อราจึงน้อย ในขณะที่ผลไม้อบแห้งที่ผลิตในประเทศ มีหลายชนิดใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน เมื่อมีสภาพแวดล้อมและอาหารที่เหมาะสมเชื้อราจึงเจริญได้ดีกว่า

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

Dried fruit	No. of samples	No. of contaminated fungi	Contaminated fungi (%)							No. of contaminated OTA	Range of OTA concentration (µg/kg)
			<i>A. flavus</i>	<i>A. niger</i>	<i>A. aculeatus</i>	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Rhizopus</i> sp.	Other		
Kiwi	1	0	-	-	-	-	-	-	-	1	0.5
Cranberry	6	1	-	0.48	0.48	-	-	-	-	6	4.50 - 9.55
Blueberry	4	2	3.5	1	-	-	-	1.5	-	4	16.05 - 24.10
Apricot	2	1	4.28	4.28	-	-	-	-	-	1	0-1.00
Bing cherry	3	2	8	2.67	1.33				-	3	0.9 - 6.4
Guava	2	0	-	-	-	-	-	-	-	2	2.50 - 4.85
Prune	10	3	1.6	1	-	0.4	-	-	-	9	0 - 4.40
Chinese jujube	3	1	1.33	-	-	-	-	-	1.33	3	0.70 - 3.30
Fig	2	0	-	-	-	-	-	-	-	2	1.30 - 2.50
Tomato	4	0	-	-	-	-	-	-	-	3	0-9.40
Tamarind	3	3	4.67	6.67	-	1.33		5.33	-	3	1.20 - 5.10
Mango	3	1	-	1.33	-	-	-	-	-	3	0.30 - 3.00
Papaya	1	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0
Longan	9	7	3.97	7.43	2.41	-	-	-	5.01	6	0 - 2.30
Lychee	5	3	4.4	-	0.8	0.4		0.4	3.2	2	0-8.00
White raisin	15	4	2.48	0.95	0.19	-	0.19	-	-	15	0.50 - 13.00
Black raisin	12	7	3.09	3.57	1.9	0.24	0.48	0.24	-	10	0 - 1.30
Strawberry	4	2	2.14	2	1	-	-	-	1	4	1.00 - 6.40
Pineapple	1	0	-	-	-	-	-	-	-	1	0.1
Date	2	1	4	42	4	-	-	-	-	2	0.35 - 1.15
Total	92	38	43.46	73.38	12.11	2.37	0.67	7.47	10.54	80	0 – 24.10

2. การลดปริมาณสารพิษจากเชื้อราในผลิตภัณฑ์เกษตรด้วยวิธีทางกายภาพ

2.1 การลดปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินบี1 ในผลิตภัณฑ์เกษตร

2.1.1 การอบด้วยเตาไมโครเวฟ

การอบงาดำด้วยเตาไมโครเวฟ พบว่า กรรมวิธีที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณแอฟลาทอกซินบี 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอบงาดำด้วยความร้อนระดับปานกลาง นาน 90 วินาที มีผลให้ปริมาณแอฟลาทอกซินบี1 มีค่าต่ำสุด 75.18 พีพีบี ลดลง 26.81% รองลงมาคือ การอบด้วยความร้อนระดับปานกลาง นาน 60 วินาที มีปริมาณแอฟลาทอกซินบี 1 78.35 พีพีบี ลดลง 23.72% (Table 4) เช่นเดียวกับในเมล็ดแมงลักอบด้วยเตาไมโครเวฟ กำลังไฟ 800 วัตต์ ที่ความร้อนระดับต่ำ นาน 1 นาที สามารถลดปริมาณแอฟลาทอกซินบี1 ได้ 39.4% (สุกราและคณะ, 2551)

Table 4. Average amount of AFB1 contamination in black sesame when treated with microwave

Treatment	Average amount of AFB1 (ppb)**	Reduction amount of AFB1 (%)
1. Low level 2 min.	86.65 b	15.64
2. Low level 3 min.	87.67 b	14.65
3. Low level 4 min.	87.17 b	15.14
4. Medium level 30 sec.	87.22 b	15.09
5. Medium level 60 sec.	78.35 ab	23.72
6. Medium level 90 sec.	75.18 a	26.81
7. High level 20 sec.	82.13 ab	20.04
8. High level 30 sec.	81.92 ab	20.25
9. High level 40 sec.	81.57 ab	20.59
10. control	102.72 c	0

cv (%) = 10.42

In a column , Means followed by a common letter are not significantly different at the 1% level by DMRT

2.1.2 การอบด้วยตู้อบลมร้อน

ข้าวกล้อง การอบที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีผลต่อปริมาณสารแอฟลาทอกซินบี 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอบข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีผลให้ปริมาณแอฟลาทอกซิน บี 1 มีค่าต่ำสุด โดยเวลาที่ใช้ในการอบข้าวกล้องไม่มีผลต่อปริมาณแอฟลาทอกซินบี 1 ดังนี้ 7.33, 7.82, 7.22, 7.27 และ 7.73 พีพีบี (Table 5) และมีค่าลดลง 47.05, 43.56, 47.89, 47.53 และ 44.16% ที่เวลา 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ตามลำดับ (Table 9)

Table 5. Average amount of AFB1 contamination in brown rice when treated with hot air oven

Temperature (C)	Average amount of AFB1 (µg/kg)					Temp. average**
	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	150 min.	
control	13.85	13.85	13.85	13.85	13.85	13.85 d
50	11.88	11.78	11.30	10.82	10.83	11.32 c
60	11.35	10.87	10.48	10.53	9.62	10.57 bc
70	11.12	10.68	8.90	8.60	7.10	9.28 b
80	7.33	7.82	7.22	7.27	7.73	7.47 a
Time average	11.107	11.000	10.350	10.213	9.827	

cv (%) = 21.86 In a column , Means followed by a common letter are not significantly different at the 1% level by DMRT

ข้าวเหนียวดำ การอบมีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่แตกต่างกัน มีผลต่อปริมาณแอฟลาทอกซินบี1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอบข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที มีผลให้ปริมาณแอฟลาทอกซินบี1 มีค่าต่ำสุด 11.35 พีพีบี ลดลง 69.73% และการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที มีแนวโน้มในการลดปริมาณสารแอฟลาทอกซินบี 1 ได้ดีเช่นกัน คือ 13.52, 12, 12.18 และ 11.67 พีพีบี ตามลำดับ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานอาจเลือกใช้เวลานในการอบที่น้อยลง (Table 6 และ 9)

งาคำ การอบมีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่แตกต่างกัน มีผลต่อปริมาณแอฟลาทอกซินบี1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอบงาคำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 120 และ 150 นาที และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 90 และ 150 นาที มีผลให้ปริมาณแอฟลาทอกซินบี1 มีค่าต่ำสุด (Table 7) แต่ในด้านของการประหยัดพลังงาน การอบงาคำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที มีปริมาณแอฟลาทอกซินบี 1 81.80 พีพีบี ลดลง 59.26% ให้ผลคุ้มค่าที่สุด (Table 9)

Table 6. Average amount of AFB1 contamination in black sticky rice when treated with hot air oven

Temperature (C)	Average amount of AFB1 (µg/kg)**					Temp. average
	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	150 min.	
control	37.50 f	37.50 f	37.50 f	37.50 f	37.50 f	37.50
50	22.20 e	22.33 e	19.85 de	19.02 de	15.10 a-d	19.70
60	19.07 de	19.65 de	18.03 de	17.88 bcde	16.93 a-e	18.31
70	18.67 de	18.03 de	18.35 cde	18.82 bcde	17.15 a-e	18.20
80	13.52 a-d	12.00 abc	12.18 abc	11.67 ab	11.35 a	12.14
Time average	22.19	21.90	21.18	20.98	19.61	

cv (%) = 41.81 In a column , Means followed by a common letter are not significantly different at the 1% level by DMRT

Table 7. Average amount of AFB1 contamination in black sesame when treated with hot air oven

Temperature (C)	Average amount of AFB1 ($\mu\text{g/kg}$)**					Temp. average
	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	150 min.	
control	200.80 f	200.80 f	200.80 f	200.80 f	200.80 f	200.80
50	114.73 cde	106.42 bc	107.05 bc	109.93 cd	104.95 bc	108.62
60	97.62 abc	96.53 abc	99.63 abc	84.30 a	83.70 a	92.36
70	100.13 abc	81.80 a	80.83 a	89.58 ab	84.48 a	87.37
80	133.90 e	134.03 e	127.05 de	114.57 cde	113.45 cd	124.60
Time average	129.4	123.92	123.07	119.84	117.48	

cv (%) = 31.36 In a column, Means followed by a common letter are not significantly different at the 1% level by DMRT

ถั่วลิสง การอบมีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่แตกต่างกัน มีผลต่อปริมาณแอฟลาทอกซินบี 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอบถั่วลิสงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที มีผลให้ปริมาณแอฟลาทอกซินบี 1 มีค่าต่ำสุด 201.42 พีพีบี ลดลง 19.82% (Table 8-9)

Table 8. Average amount of AFB1 contamination in groundnut when treated with hot air oven

Temperature (C)	Average amount of AFB1 ($\mu\text{g/kg}$)*					Temp. average
	30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	150 min.	
control	251.20 c	251.20 c	251.20 c	251.20 c	251.20 c	251.20
50	238.30 bc	237.27 bc	237.17 bc	230.18 bc	201.42 a	228.87
60	233.18 bc	237.63 bc	232.63 bc	234.65 bc	220.12 ab	231.64
Time average	240.89	242.03	240.33	238.68	224.24	

cv (%) = 5.8 In a column, Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 9. Reduction amount of AFB1 contamination in agricultural products when treated with hot air oven.

Kind of products	Temperature (C)	Reduction amount of AFB1 (%)				
		30 min.	60 min.	90 min.	120 min.	150 min.
brown rice	50	14.20	14.92	18.41	21.90	21.78
	60	18.05	21.54	24.31	23.95	30.57
	70	19.74	22.86	35.74	37.91	48.74
	80	47.05	43.56	47.89	47.53	44.16
black sticky rice	50	40.80	40.45	47.07	49.28	59.73
	60	49.15	47.60	51.91	52.32	54.85
	70	50.21	51.92	51.07	49.81	54.27
	80	63.95	68.00	67.52	68.88	69.73
black sesame	50	42.86	47.00	46.69	45.25	47.73
	60	51.38	51.93	50.38	58.02	58.32
	70	50.13	59.26	59.75	55.39	57.93
	80	33.32	33.25	36.73	42.94	43.50
groundnut	50	5.14	5.55	5.59	8.37	19.82
	60	7.17	5.40	7.39	6.59	12.37

เนื่องจากตัวอย่างเมล็ดที่ใช้ในการทดลองได้ทำการปลูกเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณสารแอฟลาทอกซินบี1 จากผลการทดลองในข้าวกล้อง และข้าวเหนียวดำ สามารถลดปริมาณสารพิษลงได้ต่ำกว่า 20 พีพีบี ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่สามารถใช้บริโภคได้ ในขณะที่งาคั่ว และถั่วลิสง เป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราและสร้างสารแอฟลาทอกซิน จึงมีผลต่อการเพิ่มปริมาณสารแอฟลาทอกซินบี1 ในตัวอย่างได้สูง ทำให้ไม่สามารถลดปริมาณลงได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

2.2 การลดปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้ง

2.2.1 การอบด้วยเตาไมโครเวฟ

ปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งหลังทำการอบด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังไฟ และระยะเวลาการอบต่างๆ เปรียบเทียบกับผลไม้อบแห้งที่ไม่ผ่านการอบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การอบด้วยเตาไมโครเวฟระดับปานกลางหรือกำลังไฟ 400 วัตต์ขึ้นไป มีผลทำให้ปริมาณสารพิษลดลงได้ โดยระดับกำลังไฟและระยะเวลาก็แตกต่างกันในแต่ละชนิดของผลไม้ ในบลูเบอร์รี่พบปริมาณสารพิษอยู่ระหว่าง 19.17–21.25 พีพีบี สารพิษลดลงสูงสุด 28.45% เมื่ออบที่กำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 45 วินาที แต่ปริมาณสารพิษที่ผ่านการอบในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ลูกเกดขาวพบการปนเปื้อนของสารพิษอยู่ระหว่าง 2.17–9.47 พีพีบี สารพิษลดลง 32.48– 84.56% โดยพบว่าการอบที่กำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 60 วินาที ลดปริมาณสารพิษลงได้สูงสุด 84.56% และในลูกเกดที่ผ่านการอบที่กำลังไฟ 800 วัตต์ นาน 30 และ 45 วินาที และที่กำลังไฟ 400 วัตต์ นาน 45 วินาที มีปริมาณสารพิษไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสามารถลดสารพิษลงได้ 69.70, 68.46 และ 68.59% ตามลำดับ สำหรับแครนเบอร์รี่พบการปนเปื้อนของสารพิษตั้งแต่ 4.45 – 13.28 พีพีบี สารพิษลดลงสูงสุด 74.35% เมื่อทำการอบที่กำลังไฟ 800 วัตต์ นาน 45 วินาที (Table 10 และ Figure 1)

2.2.2 การอบด้วยตู้อบลมร้อน

ปริมาณสารโอคราทอกซิน เอ ในผลไม้อบแห้งหลังทำการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน เปรียบเทียบกับผลไม้อบแห้งที่ไม่ผ่านการอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้จะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของผลไม้ บลูเบอร์รี่พบปริมาณสารพิษอยู่ระหว่าง 15.19- 20.74 พีพีบี (Table 11) สารพิษลดลงสูงสุด 43.30% เมื่ออบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที (Figure 2) ซึ่งการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นไม่มีผลต่อการลดลงของสารพิษ

Table 10. The concentration of OTA after treated with microwave oven at different electric powers and times

Treatment	Amount of OTA (µg/kg)		
	Blueberry ^{1/}	White raisin ^{1/}	Cranberry ^{1/}
800 watt 30 sec	21.25 a	4.25 ab	7.29 ab
800 watt 45 sec	20.13 a	4.42 ab	4.45 a
400 watt 45 sec	19.17 a	4.41 ab	13.02 c
400 watt 60 sec	20.65 a	2.17 a	10.45 bc
240 watt 60 sec	20.59 a	9.47 c	11.25 c
240 watt 90 sec	20.03 a	7.23 bc	13.28 c
control	26.79 b	14.03 d	17.36 d
	**	**	**
cv (%)	8.6	27.1	17.8

^{1/} In a column , Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 11. The concentration of OTA in dried blueberry after treated with hot air oven at different temperatures and times

Temperature (°C)	Time (minute)			Temp. average
	30	45	60	
80	16.64 abc	16.10 ab	15.19 a	15.98
70	18.88 abc	17.66 abc	16.26 ab	17.60
60	20.74 c	18.81 abc	19.94 bc	19.83
control	26.79 d	26.79 d	26.79 d	26.79
Time average	20.76	19.84	19.54	

cv (%) = 12.1 In a column , Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

ลูกเกดขาวพบการปนเปื้อนของสารพิษอยู่ระหว่าง 2.55 - 13.74 พีพีบี (Table 12) สารพิษลดลงสูงสุด 81.85% เมื่ออบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที (Figure 2) อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อการลดลงของสารพิษ สำหรับแครนเบอร์รี่พบการปนเปื้อนของสารพิษอยู่ระหว่าง 2.85- 7.27 พีพีบี (Table 13) ลดลงสูงสุด 83.59% เมื่ออบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที (Figure 2) การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาที่นานขึ้นมีผลต่อการลดลงของสารพิษ แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง

Table 12. The concentration of OTA in white raisin after treated with hot air oven at different temperatures and times

Temperature (°C)	Time (minute)			Temp. average
	30	45	60	
80	8.02 bc	6.15 b	2.55 a	5.57
70	6.69 b	7.70 bc	6.13 b	6.84
60	13.74 d	10.02 c	13.00 bc	12.25
control	14.03 d	14.03 d	14.03 d	14.03
Time average	10.62	9.47	8.93	

cv (%) = 19.0 In a column , Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 13. The concentration of OTA in cranberry after treated with hot air oven at different temperatures and times

Temperature (°C)	Time (minute)			Temp. average
	30	45	60	
80	4.55 abc	3.27 ab	2.85 a	3.56
70	7.27 d	5.39 cd	3.87 abc	5.51
60	5.35 bcd	3.71 abc	3.25 ab	4.10
control	17.36 d	17.36 d	17.36 d	17.36
Time average	8.63	7.43	6.83	

cv (%) = 19.3 In a column, Means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

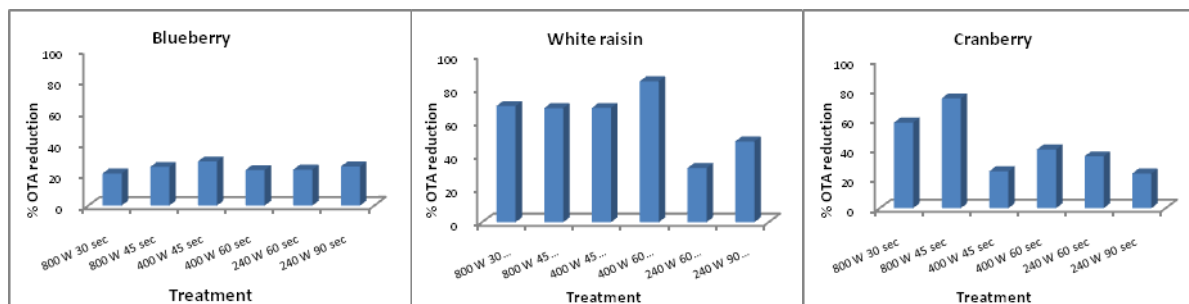


Figure 1. Comparison percentage of OTA reduction after treated with microwave at different electric powers and times

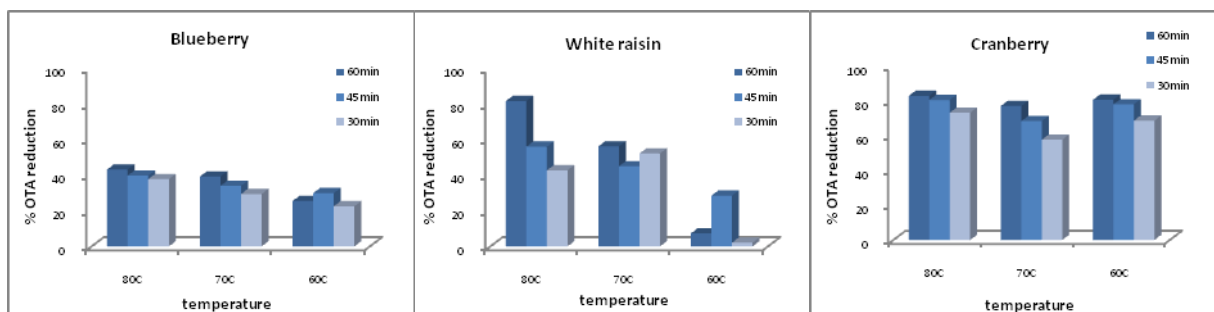


Figure 2. Comparison percentage of OTA reduction after treated with hot air oven at different temperatures and times