

ผลของความร้อนคลื่นความถี่วิทยุต่อการควบคุมเชื้อรา

Aspergillus flavus สารพิษอะฟลาทอกซินบี 1

และคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน

Effects of Radio Frequency Heat Treatment to Control of

Aspergillus flavus Aflatoxin B1 and Quality in Rice var.

KDML 105 in Different Bagging Densities

จิตรมาส นากา^{1/} สุชาดา เวียรศิลป์^{2/} สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์^{3/}

Dieter von Hörsten^{3/} และ Wolfgang Lücke^{3/}

Jitramas Naka^{1/}, Suchada Vearaslip^{2/}, Sa-nguansak Thanapornponpong^{1/},

Dieter von Hörsten^{3/} and Wolfgang Lücke^{3/}

Abstract: The purpose of this study was to determine the effect of radio frequency (RF) heat treatment and bagging densities on controlling *Aspergillus flavus*, aflatoxin B1 and changes in cooking quality of bagged rice var. KDML 105. The experiment was conducted during May to September 2010 at the Postharvest Research Institute, Chiang Mai University, Thailand. Rice sample was inoculated with *A. flavus* at concentration of 1×10^6 spores per ml at 14% initial moisture content. The three different loading densities were 85% densities loaded bagging, non vacuum full loaded bagging and vacuum full loaded bagging. The samples were exposed to RF heat treatments at an operating frequency of 27.12 MHz with temperatures at 80, 85 and 90 °C for 1, and 3 minutes compared to non treatment as control. The result showed that the moisture content of treated rice did not appear significantly difference between treatments. While infection of *A. flavus* showed the interaction between bagging densities and temperature. The result showed the infection percentages of *A. flavus* decreased in all bagging densities while the treatment temperature increased. Furthermore, vacuum full loaded bagging with all temperature was the best at reducing the infection of *A. flavus* and vacuum full loaded bagging

^{1/} ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

^{1/} Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

^{2/} สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10400 / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

^{2/} Postharvest Technology Institute/Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

^{3/} Georg-August-Universität zu Göttingen, Institute of Agricultural Engineering, Germany

with 90 °C RF for 3 minutes treatment also reduced the infection of aflatoxin B1. For the cooking qualities, it was found that amylose content and the elongation ratio of kernel rice increased with vacuum full loaded bagging and the increasing of RF temperature. The texture of cooked rice was increased in hardness and cohesiveness but decreased in adhesiveness while the RF temperature increased. Thus, vacuum packing could control *A. flavus* and aflatoxin B1 and with 90 °C RF heat treatment for 3 minutes and modify and resulted positively change in cooking qualities.

Keywords: Bagged rice var. KDML 105, Radio Frequency *A. flavus*, Aflatoxin B1, Quality

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของความชื้นจากคลื่นความถี่วิทยุต่อการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* สารพิษอะฟลาทอกซิน ปี 1 และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน ซึ่งเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน 2553 ณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยการทดลองเริ่มจากการปลูกเชื้อรา *A. flavus* ระดับความเข้มข้น 1×10^6 แก้วข้าวที่มีระดับความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์ แล้วบรรจุลงถุง 3 ลักษณะการบรรจุ ได้แก่ บรรจุแบบหลวมโดยมีพื้นที่บรรจุประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ บรรจุแบบแน่นเต็มถุง 100 เปอร์เซ็นต์ และบรรจุแน่นเต็มถุง 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาวะอากาศ จากนั้นผ่านคลื่นความถี่วิทยุระดับความถี่ 27.12 MHz. ที่ระดับอุณหภูมิ 80, 85, 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 และ 3 นาที เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ผลการทดลองพบว่าความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *A. flavus* พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างการบรรจุที่มีความหนาแน่นต่างกันกับระดับอุณหภูมิมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราลดลงในทุกลักษณะการบรรจุเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะการบรรจุภายใต้สภาวะอากาศสามารถลดการติดเชื้อรา *A. flavus* ได้ดีที่สุดในทุกระดับอุณหภูมิของการให้คลื่นความถี่วิทยุ และการบรรจุภายใต้สภาวะอากาศร่วมกับการให้คลื่นความถี่วิทยุที่ระดับ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 นาที สามารถลดปริมาณอะฟลาทอกซินปี 1 ได้ดีที่สุด สำหรับคุณภาพการหุงต้มของข้าวสุกพบว่าการบรรจุแบบสุญญากาศร่วมกับและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสามารถทำให้ปริมาณอะไมโลสและอัตราการยืดตัวของข้าวสุกเพิ่มขึ้น ส่วนคุณภาพเนื้อสัมผัสพบว่าค่า hardness และ cohesiveness เพิ่มขึ้น ส่วนค่า adhesiveness ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นการบรรจุภายใต้สภาวะอากาศร่วมกับการให้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 นาทีสามารถลดการติดเชื้อรา *A. flavus* และปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน ปี 1 ได้ดีที่สุด รวมทั้งคุณภาพในการหุงต้มดีขึ้น

คำสำคัญ: ข้าวขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุง คลื่นความถี่วิทยุ *Aspergillus flavus* อะฟลาทอกซิน ปี 1 คุณภาพข้าว

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาเรื่องสุขภาพอนามัย และความปลอดภัยของผู้บริโภคเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากมีรายงานผลการวิจัยของหลายประเทศในเรื่องความไม่ปลอดภัยของข้าวที่อาจมีการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรา สารเคมีตกค้าง และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น Reddy *et al.* (2008) ได้ทำการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกและข้าวสารจาก 20 รัฐของประเทศอินเดีย จำนวน 1200

ตัวอย่าง นำมาตรวจหาการปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษอะฟลาทอกซิน ปี 1 พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อราในทุกตัวอย่างข้าว โดยส่วนใหญ่เป็นเชื้อกลุ่ม *Aspergillus* และยังพบว่ามีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซิน ปี 1 ปริมาณตั้งแต่ 0.1-308.0 ppb ส่วนข้าวสารมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน ปี 1 เฉลี่ยปริมาณ 0.5-3.5 ppb รวมทั้งจากการวิจัยในประเทศศรีลังกาโดย Bandara *et al.* (1991) ได้ทำการสุ่มตรวจข้าวสารสำหรับนำไปหุงต้ม พบว่ามีสารพิษอะฟลาทอก

**ผลของความร้อนคลื่นความถี่วิทยุต่อการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* สารพิษอะฟลาทอกซินปี 1
และคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน**

ซิน ปี 1 มีปริมาณ 185 ppb รวมถึงในประเทศไทยได้มีการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวขาวจากตลาดในกรุงเทพมหานคร จำนวน 5 แห่ง พบว่า ข้าวกล้องมีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 ประมาณ 0-4.56 ppb ส่วนข้าวขาวพบการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน ปี1 ประมาณ 0-2.53 ppb และตรวจพบปริมาณเชื้อรา *Aspergillus flavus* จำนวน 3 เพอร์เซ็นต์ (อมรา และ ศุภรา, 2552) ซึ่งถึงแม้ว่าสารพิษอะฟลาทอกซิน ปี1 ที่พบจะอยู่ในระดับที่ปลอดภัย คือ ไม่เกิน 20 ppb (กระทรวงสาธารณสุข, 2529) แต่ถ้าไม่มีการป้องกันและกำจัดที่ดี อาจเป็นเหตุให้เชื้อรา *A. flavus* ที่ปนเปื้อนนั่นสามารถเจริญเติบโตและสร้างสารพิษเพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้มีการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดเชื้อรา ซึ่งก่อให้เกิดการตกค้างของสารพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (Ester *et al.*, 2003) จึงจำเป็นต้องศึกษาหาวิธีป้องกันที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีความเป็นไปได้เกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency: RF) เพื่อเป็นทางเลือกในการควบคุมเชื้อรา เช่น การใช้ RF กำจัดเชื้อรา *Trichoconis padwickii* ในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยการให้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อราลงได้ 40 เปอร์เซ็นต์ (Janhang *et al.*, 2005) และการให้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที แก่เมล็ดข้าวบาร์เลย์ที่มีการปนเปื้อนของเชื้อรา *A. flavus* ปริมาณ 15.75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อรา (Akaranuchat *et al.*, 2007) นอกจากนี้ Vassanacharoen *et al.* (2006) พบว่าการให้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส พบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *Fusarium semitectum* ในเมล็ดข้าวโพดจาก 100 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ กุลธิดา และคณะ (2553) พบว่าการใช้ RF ในการกำจัดเชื้อรา *A. flavus* ที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที แก่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีการติดเชื้อรา 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดเชื้อรา *A. flavus* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งในด้านคุณภาพการหุงต้มพบว่าการให้ความร้อนด้วย RF แก่ข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ช่วยปรับปรุงคุณภาพของข้าวสุกให้ดีขึ้น โดยจากการศึกษา

การให้ RF ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที ทำให้คุณภาพการหุงต้มของข้าวสุกดีขึ้น มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกเพิ่มขึ้นและความคงตัวของแป้งสุก ลดลง และทำให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (ณคนิณ และคณะ, 2551) นอกจากนั้น Theanjumpol *et al.*, (2007) พบว่าการให้ความร้อนด้วย RF แก่ข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับอุณหภูมิ 45, 60, 75 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที ส่งผลให้คุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและความเหนียวติดกันลดลง สอดคล้องกับพลากร และคณะ (2551) พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้คุณภาพการหุงต้มของข้าวสุกมีคุณภาพคล้ายข้าวเก่าได้ กล่าวคือทำให้ค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น และค่าการบดเคี้ยวเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเหนียวติดกันลดลง ซึ่งจากรายงานดังกล่าวทำให้ทราบถึงระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้คลื่นความถี่วิทยุสำหรับการควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อรา และการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพข้าวสุก แต่สำหรับผลของคลื่นความถี่วิทยุที่มีต่อการควบคุมการปนเปื้อนของสารพิษที่เชื้อราสร้างขึ้น รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้จริงร่วมกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดยังไม่ได้ได้รับการศึกษา ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาการใช้ RF ในการควบคุมเชื้อรา *A. flavus* สารพิษอะฟลาทอกซิน ปี1 ที่ปนเปื้อนมากับข้าวขาวดอกมะลิ 105 รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ตัวอย่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้นำมาจากโรงสีข้าวพูนเจริญ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

การเตรียมเชื้อราและการปลูกเชื้อรา

ใช้เชื้อรา *A. flavus* ที่ได้จากตัวอย่างเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีเชื้อรา *A. flavus* ปนเปื้อน จากนั้นแยกเชื้อราไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar เพื่อให้ได้เชื้อที่บริสุทธิ์ (pure culture) ปั่นเชื้อไว้ที่

อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7-10 วัน นำเชื้อราที่เลี้ยงไว้เตรียมเป็น spore suspension ความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ทำการปลูกเชื้อราแก่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ spore suspension ของเชื้อรา *A. flavus* ความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อเมล็ดข้าวที่มีระดับความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 กิโลกรัม จากนั้นทำการบ่มเมล็ดที่ได้รับการปลูกเชื้อราที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์

วิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ $3 \times 4 \times 2$ Factorial in CRD มี 24 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งมีปัจจัย 3 ปัจจัย โดยปัจจัยแรกคือลักษณะการบรรจุ 3 แบบ ได้แก่ บรรจุแบบหลวมโดยมีพื้นที่บรรจุ 85 เปอร์เซ็นต์, บรรจุแบบแน่นเต็มถุง 100 เปอร์เซ็นต์ และบรรจุแบบแน่นเต็มถุง 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาวะการบ่ม ปัจจัยที่สองคือระดับอุณหภูมิที่ใช้ คือ อุณหภูมิห้อง (ชุดควบคุม) 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส ส่วนปัจจัยที่สามคือระยะเวลา ได้แก่ 1 และ 3 นาที จากนั้นนำเมล็ดข้าวสารที่ได้รับการปลูกเชื้อรา *A. flavus* บรรจุลงถุงพลาสติก ถุงละ 1 กิโลกรัม แล้วนำมาผ่านเครื่อง RF Applicator ที่ระดับความถี่ 27.12 MHz ตามระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดไว้

การบันทึกข้อมูล

- ปริมาณเชื้อรา *A. flavus* โดยวางเมล็ดบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ตามวิธี PDA method
- วัดความชื้นของเมล็ดข้าวโดยวิธี Hot air oven
- ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี1 ด้วยชุดตรวจสอบสำเร็จรูป (DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit) จากสำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร (อมรา และคณะ, 2549)
- การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะไมโลส โดยนำข้าวสารมาบดเป็นแป้งแล้วนำมาวิเคราะห์ทางเคมี วัดค่าการดูดกลืนแสงจากสารละลายสีน้ำเงินของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไอโอดีน ด้วยเครื่อง spectrophotometer (งานชิ้น, 2546)

- อัตราการยืดตัวของแป้งสุก (elongation ratio during cooking) โดยการสุ่มข้าวเต็มเมล็ด 20 เมล็ด และวัดความยาว 10 เมล็ด แล้วนำข้าว 20 เมล็ด ใส่ในตะแกรงแล้วแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำข้าวพร้อมตะแกรงต้มในน้ำเดือด 10 นาที แล้วจุ่มในน้ำเย็น เทข้าวลงจานพลาสติกที่มีฝาปิดเลือกเมล็ดที่ตรง 10 เมล็ด วัดความยาว และคำนวณอัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Juliano and Pezer, 1984)

- วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (texture of cooked rice) โดยการหุงข้าวสารโดยใช้อัตราส่วนข้าวสาร : น้ำ ในอัตราส่วน 1 : 1.2 โดยปริมาตร แล้วสุ่มตัวอย่างข้าวสุก 10 เมล็ด โดยวางเรียงกันเพียงชั้นเดียว จากนั้นวัดโดยวิธีการ Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture analyzer จะได้ค่าตัวแปรทางเนื้อสัมผัสซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส (Champagne et al., 1998)

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$

ผลการทดลองและวิจารณ์

เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *A. flavus* ของข้าวขาวดอกมะลิ 105

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 1) พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างการบรรจุที่มีความหลวมแน่นต่างกันกับระดับอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ต่อเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *A. flavus* โดยพบว่าทั้งสามลักษณะการบรรจุเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราลดลง กล่าวคือการบรรจุแบบหลวมที่มีพื้นที่บรรจุ 85 เปอร์เซ็นต์ และการบรรจุแบบแน่นเต็มถุง 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อให้ความร้อนด้วย RF ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราน้อยที่สุด คือ 17.22 และ 16.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สำหรับการบรรจุแบบสุญญากาศพบว่าเมื่อเริ่มมีการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ก็พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การติด

ผลของความร้อนคลื่นความถี่วิทยุต่อการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* สารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 และคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน

เชื้อราเพียง 1.92 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อราเหลือแค่เพียง 0.70 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้เพราะการบรรจุภายใต้สุญญากาศ เป็นการบรรจุที่มีการดูดอากาศภายในถุงออกจนหมด ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีการอัดแน่นติดกันมากขึ้น (ปุ่น และสมพร, 2541) ความร้อนจาก RF สามารถถ่ายเทไปยังเมล็ดข้าวได้ดีและสม่ำเสมอทั่วทั้งถุงมากกว่าการ

บรรจุอีกสองแบบ เพราะการถ่ายเทพลังงานความร้อนจาก RF จะเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้นหากเมล็ดสัมผัสกันมากขึ้น (Nelson, 1991) ซึ่งความร้อนนี้จะมีผลในการทำลายเชื้อรา ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าคุณสมบัติของเชื้อราและเมล็ดข้าวมีค่า dielectric constant และค่า dielectric loss factor แตกต่างกัน จึงทำให้มีการดูดซับพลังงานจากคลื่นความถี่ที่แตกต่างกัน (Nelson *et al.*, 2002) ซึ่งเซลล์ของ

Table 1 Analysis of variance of moisture content, *A. flavus* infection, aflatoxin B1, amylose (%) and elongation ratio during cooking of milled rice with different bagging densities after treated RF at 80, 85 and 90 °C for 1 and 3 minutes

Treatment	ANOVA				
	Moisture Content (%)	Infection of <i>A. flavus</i> (%)	Aflatoxin B1 (ppb)	Amylose (%)	elongation ratio during cooking
Packing method (A)	ns	**	**	**	**
Temperament (B)	ns	**	**	**	**
Time (C)	ns	ns	*	ns	ns
A × B	ns	**	ns	ns	ns
A × C	ns	ns	ns	ns	ns
B × C	ns	ns	ns	ns	ns
A × B × C	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.26	14.15	17.78	9.54	1.5

** , * are significant at $P < 0.01$ and $P < 0.05$

ns are no significant difference

Table 2 The interactive effect between bagging densities and after RF heat treatment at different temperatures influenced on *A. flavus* infection (%) of milled rice var. KDML 105

Temperatures (°C)	<i>A. flavus</i> infection (%)*		
	Bagging Densities		
	85% densities loaded bagging	non vacuum full loaded bagging	vacuum full loaded bagging
Control (room temp)	100.00a	100.00a	100.00a
80	24.98b	23.19bc	1.92e
85	22.52bcd	20.50bcd	1.28e
90	17.22cd	16.73d	0.70e
LSD _{0.05} Pack*Temp	4.64		

* Means follow by different letter are significantly different ($P \leq 0.05$)

เข็รานั้นไม่สามารถทนแรงกดดันที่เกิดจากการที่โมเลกุลของน้ำภายในเซลล์ถูกรบกวนโดยการให้คลื่นความถี่วิทยุทำให้เกิดการเหนี่ยวนำอย่างรวดเร็วภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผลโดยตรงกับเซลล์เข็รทำให้เซลล์นั้นแตกและตายได้ (Caroll and Lopea, 1969) โดยความร้อนจะทำให้ลายเนื้อเยื่อส่วน cytoplasmic membrane ของเข็รส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของสารประเภทโปรตีน, กรดอะมิโน, DNA, RNA และ โปรแตสเซียมออกมา ทำให้เข็รตายในที่สุด (ทะนง, 2535) สอดคล้องกับ รังสินี (2550) ที่รายงานว่าความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 10-15 นาที หรือที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1 นาที มีผลทำให้โปรตีนที่สำคัญคือ เอนไซม์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์ของเข็รเสื่อมสภาพ ทำให้เซลล์และสปอร์ของเข็รถูกทำลาย ดังนั้นการบรรจุข้าวภายใต้สุญญากาศสามารถลดการติดเชื้อได้ดีกว่าทั้งสองลักษณะการบรรจุที่กล่าวข้างต้น เพราะได้รับความร้อนจาก RF ได้ดีและสม่ำเสมอที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาของ พรอเรีย (2545) ที่พบว่าการบรรจุข้าวกล้องแบบสุญญากาศมีปริมาณเข็ร *A. flavus* ต่ำกว่าการบรรจุในกระป๋องและการบรรจุปิดผนึกแบบธรรมดา

ความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105

ความชื้นเริ่มต้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงก่อนทำการให้ความร้อนด้วย RF เท่ากับ 14.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหลังจากการผ่านการให้ความร้อนด้วย RF แก่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 1) โดยความชื้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 อยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.96–14.09 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับพลากรและคณะ (2551) ที่ได้ทำการให้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุแก่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ 4 ระดับอุณหภูมิ คือ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการให้คลื่นความถี่วิทยุมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นไม่แตกต่างกันกับชุดควบคุม ทั้งนี้อันเป็นเพราะข้าวได้ถูกบรรจุอยู่ภายใต้บรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทจึงทำให้ความชื้นจากข้าวไม่สามารถออกไปสู่ภายนอกถุงได้ เมล็ดข้าวจึงไม่เกิดการแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศภายนอกได้ ส่งผลให้ความชื้นของ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังได้รับความร้อนจาก RF

ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี1 ของข้าวขาวดอกมะลิ 105

ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี 1 พบว่า การบรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน อุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้คลื่นความถี่วิทยุมีผลต่อปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างสองและสามปัจจัยมีผลต่อปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี 1 (ตารางที่ 1) กล่าวคือ ลักษณะการบรรจุที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน พบว่าการบรรจุภายใต้สุญญากาศมีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี1 น้อยสุด (ตารางที่ 3) ซึ่งอนงค์ (2546) กล่าวว่า การลดปริมาณของเข็รที่เป็นแหล่งผลิตสารพิษจะช่วยลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ดังนั้นการบรรจุภายใต้สุญญากาศที่พบว่ามีปริมาณเข็รน้อยที่สุด จึงส่งผลให้มีปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี 1 น้อยที่สุดเช่นกัน และจากตารางที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการให้คลื่นความถี่วิทยุที่นานขึ้นยังมีผลให้ปริมาณสารพิษลดลง โดยอรุณศรี (2540) กล่าวว่า การให้ความร้อนในระยะเวลาที่นานขึ้น และอุณหภูมิสูงขึ้น สารพิษอะฟลาทอกซินก็สามารถถูกทำลายได้บ้าง ดังนั้น ทั้งนี้ปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี1 ที่พบในการทดลองนี้ยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัย คือ ไม่เกิน 20 ppb (กระทรวงสาธารณสุข, 2529)

คุณภาพการงอกของข้าวขาวดอกมะลิบรรจุถุงเปอร์เซ็นต์อะไมโลส

จากตารางที่ 1 พบว่าการบรรจุที่มีความหนาแน่นต่างกันและอุณหภูมิที่ใช้ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์อะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการบรรจุข้าวภายใต้สุญญากาศมีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือการบรรจุแบบหวมโดยมีพื้นที่บรรจุ 85 เปอร์เซ็นต์ และการบรรจุแบบแน่นเต็มถุง 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3) และระดับอุณหภูมิที่ให้ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์อะไมโลส

ผลของความร้อนคลื่นความถี่วิทยุต่อการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* สารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 และคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน

Table 3 The effect of different bagging densities on *A. flavus* infection, aflatoxin and some qualities of milled rice var. KDML 105

Bagging Densities	Infection of <i>A. flavus</i> (%) ^{1/}	Aflatoxin B1 (ppb) ^{1/}	Amylose (%) ^{1/}	Elongation ratio during cooking ^{1/}
85% densities loaded bagging	32.78a	5.27a	17.70c	1.2484b
non vacuum full loaded bagging	31.55a	4.96a	18.65b	1.2617a
vacuum full loaded bagging	15.40b	4.52b	19.12a	1.2711a
LSD _{0.05} Bagging Densities	2.32	0.33	0.47	0.011

^{1/} Means within the same column in each factor followed by different characters showed significantly different between treatment by LSD test at $P \leq 0.05$

Table 4 The effect of treatment temperatures on *A. flavus*, aflatoxin and some qualities of milled rice var. KDML 105 after subjected to RF heat treatment at various temperature

Temperature (°C)	Infection of <i>A. flavus</i> (%) ^{1/}	Aflatoxin B1 (ppb) ^{1/}	Amylose (%) ^{1/}	Elongation ratio during cooking ^{1/}	Texture of cooked rice		
					Hardness ^{1/}	Adhesiveness ^{1/}	Cohesiveness ^{1/}
Control (room temp)	100.00a	7.27a	16.84c	1.2451c	183.64b	-0.1975a	94.55b
80 °C	16.70b	4.98b	17.44bc	1.2565b	188.13a	-0.2654b	101.34a
85 °C	14.77b	4.10c	17.97ab	1.2583b	189.40a	-0.2840b	102.15a
90 °C	11.55c	3.30d	18.55a	1.2805a	190.59a	-0.2970b	106.07a
LSD _{0.05} Temperature	2.68	0.37	0.97	0.013	7.10	0.04	7.71

^{1/} Means within the same column in each factor followed by different characters showed significantly different between treatment by LSD test at $P \leq 0.05$

Table 5 The aflatoxin quantities (ppb) after infected milled rice were subjected to different timing of RF heat treatment

Time	Aflatoxin B1 (ppb) ^{1/}
1 minutes	4.71a
3 minutes	4.57b
LSD _{0.05} Time	0.30

^{1/} Means follow by different letter are significantly different ($P \leq 0.05$)

เพิ่มขึ้นสูงสุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ 80 และ 85 องศาเซลเซียส ที่มีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4) โดยจากการศึกษาของณคนิณ และคณะ (2551) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการให้ RF สูงขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์อะไมโลสเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับ กฤษณา (2552) ศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ระดับอุณหภูมิ 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60, 90, 120, 150 และ 180 วินาที แก้วสารขาวดอกมะลิ 105 พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 150 วินาที มีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นจาก 14.10 เปอร์เซ็นต์ เป็น 17.68 เปอร์เซ็นต์ และ Vearasilp *et al.* (2011) ได้ทำการให้คลื่นความถี่วิทยุแก่ข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 70 และ 85 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของอะไมโลสประมาณ 17.49 เปอร์เซ็นต์ หลังจากผ่านการให้คลื่นความถี่วิทยุในทุกกรณีวิธีพบว่าเปอร์เซ็นต์อะไมโลสจะเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์อะไมโลสอยู่ระหว่าง 16.71–19.51 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ Zhao *et al.* (2007) ที่ทำการศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟที่มีผลต่อคุณภาพข้าวพบว่าการเพิ่มขึ้นของอะไมโลสเป็นผลจากการสลายตัวของของโครงสร้างของแป้ง ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแป้งทำให้เกิดการย่อยตัวของโครงสร้างสายพอลิเมอร์ของอะไมโลเพคติน ทำให้สายพอลิเมอร์ที่ต่อตรงของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6 glucosidic เกิดการสลายตัวขึ้น แต่ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์อะไมโลสของการทดลองนี้อยู่ในช่วงอะไมโลสที่จำแนกอยู่ในกลุ่มข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสต่ำ (10-19 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นลักษณะของเมล็ดข้าวเมื่อสุกจะมีลักษณะเหนียวนุ่มและยังมีค่าของเปอร์เซ็นต์อะไมโลสที่เป็นคุณสมบัติของข้าวขาวดอกมะลิ (งามชื่น, 2546)

อัตราการยืดตัวของข้าวสุก

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละวิธีการบรรจุและแต่ละระดับอุณหภูมิของกรรมวิธี (ตารางที่ 1) และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างสองและสาม

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการยืดตัวของข้าวสุก โดยพบว่าการบรรจุแน่นเต็มถุง 100 เปอร์เซ็นต์ และการบรรจุภายใต้สุญญากาศ มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกสูงสุดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ส่วนการบรรจุแบบหลวมโดยมีพื้นที่บรรจุ 85 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกต่ำสุด (ตารางที่ 3) ทั้งนี้การที่เมล็ดข้าวมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้งที่อยู่ในข้าวมีการดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น ซึ่งมีอะไมโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวแตกต่างกัน กล่าวคือถ้าข้าวมีปริมาณอะไมโลสมากเมื่อหุงต้มจะทำให้เมล็ดข้าวสุกขยายตัวได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ดังนั้นการบรรจุแบบหลวมโดยมีพื้นที่บรรจุ 85 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าการบรรจุอีกสองแบบจึงทำให้อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกน้อยกว่า และจากการเทียบกับชุดควบคุม พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกเพิ่มขึ้นด้วย (ตารางที่ 4) ซึ่งการที่เมล็ดข้าวมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้เม็ดแป้งที่อยู่ในข้าวมีการดูดซับและพองตัวได้ดียิ่งขึ้น (ละมุล, 2541) ซึ่งแสดงว่าเมล็ดข้าวมีการขยายปริมาตรเพิ่มขึ้นทำให้ข้าวสุกหุงขึ้นหม้อได้ดี และช่วยให้ข้าวมีความนุ่มมากขึ้นด้วย (Juliano and Perez, 1984)

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 6) พบว่าระดับอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของข้าวสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างสองและสามปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก กล่าวคือเมื่อระดับอุณหภูมิในการให้ RF สูงขึ้นส่งผลให้ค่า hardness และค่า cohesiveness เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง แต่ค่า adhesiveness กลับลดลง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 5) เช่นเดียวกับ Gujral and Kumar (2003) พบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนและระยะเวลาให้นานขึ้น ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัส: ค่า hardness, ค่า cohesiveness และค่า springiness เพิ่มขึ้น ส่วนค่า adhesiveness ลดลง สอดคล้องกับไกรสิทธิ์ และคณะ (2549) รายงานว่าเมื่อเพิ่มความร้อนและระยะเวลาการอบแก่ข้าวสาร ทำให้

ผลของความร้อนคลื่นความถี่วิทยุต่อการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* สารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 และคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน

Table 6 Analysis of variance of texture of cooked milled rice with different bagging densities after treated RF at 80, 85 and 90 °C for 1 and 3 minutes

Source	ANOVA		
	Texture of cooked rice		
	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness
Packing method (A)	ns	ns	ns
Temperation (B)	*	*	*
Time (C)	ns	ns	ns
A × B	ns	ns	ns
A × C	ns	ns	ns
B × C	ns	ns	ns
A × B × C	ns	ns	ns
CV (%)	6.59	25.65	13.32

** , * are significant at $P < 0.01$ and $P < 0.05$

ns are no significant difference

ค่า hardness และค่า cohesiveness ที่เพิ่มขึ้นขณะค่า adhesiveness ที่จะลดลง โดยความร้อนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นเหตุให้มีการยับยั้งการงอกตัวของเมล็ดแป้ง เนื้อสัมผัสของข้าวจึงแข็งร่วนและเกาะติดกันมากขึ้น ส่งผลให้ความเหนียวของเมล็ดข้าวลดลงด้วย (Sodhi *et al.*, 2003)

ดังนั้นการบรรจุข้าวแน่นเต็มถุง 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สุญญากาศร่วมกับการให้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 นาที สามารถลดการติดเชื้อรา *A. flavus* และปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน บี 1 ได้ดีที่สุด อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพข้าวใหม่ให้มีลักษณะคล้ายข้าวเก่าได้อีกด้วย

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่มีต่อการควบคุมเชื้อรา *A. flavus* สารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 และคุณภาพการหุงต้มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน พบว่าการให้ RF ในทุกระดับอุณหภูมิแก่ข้าวบรรจุแบบสุญญากาศสามารถลดเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา *A. flavus* ได้ดีที่สุด และเมื่อระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ RF เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอะฟลาทอกซินลดลง รวมทั้งเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความร้อนจาก RF ที่เกิดขึ้นยังสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพการหุงต้มของข้าวสุกให้ดียิ่งขึ้น กล่าวคือมีปริมาณอะไมโลสและอัตราการยืดตัวของข้าวสุกเพิ่มขึ้น ส่วนคุณภาพเนื้อสัมผัสพบว่าค่า hardness และ cohesiveness เพิ่มขึ้น แต่ค่า adhesiveness ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ตลอดจนเครื่องมือในการทำวิจัย รวมทั้ง Department of Crop Science, Agricultural Engineering Institute, George-August University Göttingen, Germany ที่สนับสนุนทำความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุทั้งระบบ

เอกสารอ้างอิง

กฤษณา สุเมธะ. 2552. ผลของการใช้คลื่นความถี่วิทยุต่อมอดหัวบื้อม *Rhizopertha dominica* (F.) และคุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.

- วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการ
หลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 69 หน้า.
- กระทรวงสาธารณสุข. 2529. มาตรฐานอาหารที่มีสาร
ปนเปื้อน. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98
(พ.ศ.2529). ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ เล่ม
ที่ 103 ตอนที่ 23 ลงวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ.
2529. 2 หน้า.
- กุลธิดา ไชยสถิตวานิช Wolfgang Lücke สวงศักดิ์
ธนาพรพูนพงษ์ ณัฐศักดิ์ กฤติการเมษ แสง
ทิวา สุริยงค์ และสุชาดา เวียรศิลป์. 2553. ผล
ของการให้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดเชื้อรา
Aspergillus flavus ที่ติดมากับเมล็ดข้าวโพด
เลี้ยงสัตว์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41: 1
(พิเศษ): 341-344.
- ไกรสิทธิ์ พิธิษฐกุล ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา สุกัญญา วงศ์
พรชัย วรณนา ตุลยธัญ และสาวิตร มีจ้อย.
2549. การดัดแปลงคุณภาพการงอกของข้าว
ขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร
37(5): 187-190.
- งามชื่น คงเสรี. 2546. การอบรมหลักสูตรหลักและวิธีการ
วิเคราะห์คุณภาพข้าว. สถาบันวิจัยข้าว. กรม
วิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 70 หน้า.
- ณคนิณ ลือชัย วิชชา สะอาดสุด ยาวลักษณ์ จันทน์บาง
และ ณัฐศักดิ์ กฤติการเมษ. 2551. การใช้คลื่น
ความถี่วิทยุในการควบคุมเชื้อราข้าวสาร
Corcyra cephalonica (Stainton) และผลต่อ
คุณภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.
วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39: 3(พิเศษ): 347-
350.
- ทะนง ภัคชัยพันธุ์. 2535. การใช้ความร้อนในขั้นตอนการ
แปรรูป. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 160
หน้า.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2541.
บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม
- กระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมการบรรจุ
ภัณฑ์ไทย, กรุงเทพฯ. 358 หน้า.
- พรอารีย์ ศิริผลกุล. 2545. ผลของวิธีการอบแห้งและอายุ
การเก็บรักษาต่อคุณภาพของข้าวกล้อง. วิทยา
นิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา
วิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากร
ชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 102 หน้า.
- พลากร สำราญราษฎร์ สวงศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์ และ
สุชาดา เวียรศิลป์. 2551. การดัดแปลงคุณภาพ
การงอกของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ด้วยคลื่น
ความถี่วิทยุ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3):
354-358.
- รังสิณี ไสธวิทย์. 2550. การควบคุมการเจริญของ
จุลินทรีย์ในอาหาร. เคมีและจุลชีววิทยาเบื้องต้น
ของอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 166-167.
- ละมุล วิเศษ. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการ
เก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้อง
พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
หลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี,
ปทุมธานี. 69 หน้า.
- อนงค์ ปินทวีหค. 2546. สารพิษจากเชื้อรา: อะฟลาทอก
ซิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 322 หน้า.
- อมรา ชินภูมิ ขวเลิศ ตริภุณาสวัสดิ์ และ ลิลลี่ พรานุสร.
2549. โครงการผลิตชุดตรวจสอบสารแอฟลา
ทอกซินสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ (Production of
Aflatoxin ELISA Test Kit as Commercial).
สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บ
เกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการ
เกษตร, กรุงเทพฯ. 9 หน้า.
- อมรา ชินภูมิ และศุภรา อัคคะสาระกุล. 2552. การ
ปนเปื้อนของสารแอฟลาทอกซิน ปี 1 และสาร

ผลของความร้อนคลื่นความถี่วิทยุต่อการควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* สารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 และคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บรรจุถุงที่มีความหนาแน่นต่างกัน

- โศคราพอกชิน เอ ในข้าวกล้องและข้าวขาว. วารสารวิชาการข้าว 3 (2): 57-65.
- อรุณศรี วงษ์ไริ. 2540. อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. คู่มือวิชาการเรื่องอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. หน้า 41-65.
- Akaranuchat P., P. Noimanee, N. Krittigamas, D. von Hörsten and S. Vearasilp. 2007. Control seed borne fungi by radio frequency heat treatment as alternative seed treatment in barley (*Hordeum vulgare*). Paper Presented at Utilisation of Diversity in Land Use Systems: Sustainable and Organic Approaches to Meet Human Needs. October 9-11, 2007. Witzhausen, Germany. 4 p.
- Bandara, J. M. R. S., A. K. Vithanage and G. A. Bean. 1991. Occurrence of aflatoxins in parboiled rice in Sri Lanka. Mycopathologia. 116(2): 65-70.
- Champagne, E. T., B. G. Lyon, B. K. Min, B. T. Vinyard, K. L. Bett, F. E. Bartonll, B. D. Webb, A. M. McClung, K. A. Moldenhauer, S. Linscombe, K. S. McKenzie and D. E. Kohlwey. 1998. Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. Cereal Chemistry 75(2): 181-186.
- Ester, A., De Putter, H., and Van Bilsen, J. G. P. M. (2003). Film coating the seed of cabbage (*Brassica oleracea* L. convar. Capitata L.) and Cuaiflower (*Brassica oleracea* L. var. Botryti L.) with indaloprid and spinsad to control insect pests. Crop production 22 : 761-768.
- Gujral, H. S. and V. Kumar. 2003. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. Journal Food Engineering 59: 117-121.
- Janhang, P., N. Krittigamas, L. Wolfgang and S. Vearsilp. 2005. Using radio frequency heat treatment to control seed-borne *Trichiconis padwickii* in rice seed (*Oryza sativa* L.) Deutcher Tropentag 2005, Stuttgart-Hohenheim, Germany. 4 p.
- Juliano, B. O. and G. M. Perez. 1984. Results of a collaborative test on the measurement of grain elongation of milled rice during cooking. Journal of Cereal Science 2: 281-292.
- Nelson, S. O. 1991. Review of dielectric properties of agricultural products. IEEE Transactions on Electrical Insulation 20(5): 845-869.
- Nelson, S. O., C. Y. Lu, L. R. Beuchat and M. A. Harrison. 2002. Radio-frequency heating of alfalfa seeds for reducing human pathogens. Transactions of the ASAE 45(6): 1937-1942.
- Reddy, K. R. N., C. S. Reddy and K. Muralidharan. 2009. Detection of *Aspergillus* spp. and aflatoxin B1 in rice in India. Food Microbiology 26: 27-31.
- Sodhi, N. S., N. Singh, M. Arora and J. Singh. 2003. Changes in physico-chemical thermal, cooking and textural properties of rice during aging. Journal of Food Processing and Preservation 27: 387-400.
- Theanjumpol, P., S. Thanapornpoonpong, E. Pawelzik and S. Vearasilp. 2007. Milled rice physical properties after various radio frequency heat treatments. Deutcher Tropentag 2007, Stuttgart-Hohenheim, Germany. 4 p.
- Vassanacharoen P., P. Janhang., N. Krittigamas., D. von Hörsten., W. Lücke and S. Vearasilp.

2006. Radio frequency heat treatment to eradicate *Fusarium semitectum* in Corn Grain (*Zea mays*). Agricultural Science Journal 37: 5 (Suppl.): 180-182.
- Vearasilp, S., K. Chaisathidvanich, S. Thanapornpoonpong, D. von Hörsten and W. Lücke. 2011. Aging Milled Rice by Radio Frequency Heat Treatment. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. October 5-7, 2011. University of Bonn. 4 p.
- Zhao, S., S. Xiong, C. Qiu and Y. Xu. 2007. Effect of microwave on rice quality. Journal of Stored Products Research 43: 496-502.
-