

รายงานการทดลองที่สิ้นสุด ปีงบประมาณ 2560

1. แผนงานวิจัย วิจัยและพัฒนาถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มผลผลิตและความมั่นคงทางอาหาร
2. โครงการวิจัย วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและการแปรรูปถั่วเหลือง
 กิจกรรม การแปรรูปถั่วเหลือง
3. ชื่อการทดลอง(ภาษาไทย) ผลของคลื่นความถี่วิทยุต่อคุณภาพถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง
 ชื่อการทดลอง(ภาษาอังกฤษ) Effect of Radio Frequency on soybean and its products quality
4. คณะผู้ดำเนินงาน
 หัวหน้าการทดลอง ละอองดาว แสงหล้า
 ผู้ร่วมงาน ปัทมพร วาสนาเจริญ สุพรรณณี เป็งคำ ภักวิไล ยอดทอง
5. บทคัดย่อ

การใช้ประโยชน์จากการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ในการชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลผลิตพืช เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าเพิ่มมูลค่าในอุตสาหกรรมอาหาร การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมของความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ในการคงสภาพคุณภาพถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ (ถั่วเน่าและเต้าหู้ถั่วเหลือง) การทดลองดำเนินการที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ปี 2559-2560 วางแผนการทดลองแบบ Split plot in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ประกอบด้วย 5 วิธี คือ วิธีที่ 1 อุณหภูมิ 80 °C เวลา 3 นาที วิธีที่ 2 อุณหภูมิ 80 °C เวลา 5 นาที วิธีที่ 3 อุณหภูมิ 100 °C เวลา 3 นาที วิธีที่ 4 อุณหภูมิ 100 °C เวลา 5 นาที วิธีที่ 5 เมล็ดถั่วเหลืองไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ปัจจัยรอง คือ อายุการเก็บรักษา ได้แก่ 0 3 และ 6 เดือนในห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ 20 °C ,ความชื้นสัมพัทธ์ = 66-67 %) ผลการทดลอง พบว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ในการชะลอการเสื่อมสภาพของเมล็ดถั่วเหลืองและถั่วเน่าที่เหมาะสม คือ การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C นาน 3 นาที สามารถคงสภาพโปรตีนและไขมันในเมล็ด และสะสมสารพิษอฟลาทอกซินต่ำ และยืดอายุการเก็บรักษาไปจนถึง 6 เดือน สำหรับเมล็ดถั่วเหลือง ส่วนถั่วเน่า มีการคงสภาพโปรตีนและไขมัน สะสมสารพิษอฟลาทอกซินต่ำ ไม่ทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสและการบริโภคเปลี่ยนแปลงและยืดอายุการเก็บรักษาไปจนถึง 3 เดือน ส่วนเต้าหู้การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 80°C นาน 5 นาที สามารถคงสภาพโปรตีนและไขมันใน คุณภาพทางประสาทสัมผัส และยืดอายุการเก็บรักษาไปจนถึง 6 เดือน งานวิจัยในอนาคตควรวิจัยและพัฒนาการใช้ในอัตราอุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างจากการทดลองนี้และศึกษาในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองชนิดอื่นๆ

คำสำคัญ: คลื่นวิทยุ ถั่วเหลือง เต้าหู้ถั่วเหลือง ถั่วเน่า

ABSTRACTS

The utilization of radio frequency(RF) for retarding deterioration of plant products may enhance value-added of soybean and related industrial food. This study was to investigate the optimum time and temperature level to maintain soybean and its products

(thau-nao and soybean curd). The experiment was conducted at CMFCRC in 2016-2017. It was Split plot in CRD with 4 replications. Time and temperature in the RF machine at 27.12 MHz. set as main plot which were as follows; 80 °C/ 3 minutes, 80 °C/ 5 minutes, 100 °C/ 3 minutes, 100 °C/ 5 minutes, and un-treated soybean and storage time of soybean in controlled-climate condition(20 °C, 66-67% RH) set as sub plot for 0, 3, and 6 months. Soybean variety CM 60 was prepared by planting in the dry season. Results demonstrated that the proper time and temperature level of RF for soybean and thau-nao was 80 °C/ 3 minutes. This level could remain protein and fat content, and had lower in aflatoxin accumulation include could shift the shelf life to 6 months for soybean and 3 months for thau-nao. Also, sensory and consumption qualities of thau-nao stayed stable. Besides, the proper time and temperature level of RF for soybean curd was 80 °C/ 5 minutes. It also could keep in soybean curd quality in terms of protein and fat content, sensory quality and could expand shelf life to 6 months. Future research should be studied different time and temperature level from this experiment include other soybean products.

Key words: radio frequency, soybean, soybean curd, thau-nao

6. คำนำ

ในขบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง มักมีการกักตุนเมล็ดถั่วเหลืองไว้ โดยมีการเก็บไว้ในสภาพอุณหภูมิปกติ ทำให้วัตถุดิบถั่วเหลืองมีคุณภาพแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของเมล็ด ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในสภาพอุณหภูมิและความชื้นสูง โดยจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีเอนไซม์กลุ่ม lipoxydase ชื่อ lipoxygenase ไปเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ เกิดกลิ่นหืนและกลิ่นถั่ว (Liu, 1997) นอกจากนี้ โปรตีนจะถูกลดลงให้เป็นแอมโมเนียและกรดอะมิโน โดยเอนไซม์ยูรีเอสในระหว่างการรักษา (อาณัติและประไพศรี, 2552) และคาร์โบไฮเดรตลดลง จากการถูกนำไปใช้ในขบวนการหายใจของเมล็ด (Sharma *et al.*, 2007) มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง ที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน และอาจมีการปนเปื้อนของแมลงหรือเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อการบริโภค แม้ว่าการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิและความชื้นต่ำจะชะลอการเสื่อมคุณภาพถั่วเหลืองได้ แต่วิธีการนี้ไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีต้นทุนสูงและไม่สามารถควบคุมศัตรูในโรงเก็บบางชนิดได้ เช่น มอด หรือเชื้อรา เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งในรูปของไมโครเวฟและคลื่นความถี่วิทยุ ในการแปรรูปและเพิ่มมูลค่าในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น โดยมีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรสชาติและคงลักษณะโครงสร้างทางอาหารได้ (Nelson, 1996; Vearaslip *et al.*, 2005; พิชริชา และคณะ, 2554; Mekphat *et al.*, 2010 และ Vearaslip *et al.*, 2011) เช่น มีการศึกษาการใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency; RF) ในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว ทำให้คาร์โบไฮเดรตในข้าวเปลี่ยนรูปเพื่อช่วยในการเร่งข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า และกำจัดเชื้อรา *Aspergillus. flavus* ในข้าวสารบรรจุถุง พบว่าสามารถควบคุมการปนเปื้อนเชื้อราให้ลดปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 และช่วยปรับปรุงคุณภาพข้าวให้ดีขึ้นอีกด้วย (Vearaslip *et al.*, 2011,

2011b) ในถั่วเหลืองมีการศึกษาโดย Vearasilp *et al.*, (2005) ได้ใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ tripsin ในถั่วเหลืองที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ การใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุ เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัววัตถุอย่างรวดเร็วในระยะเวลานั้นๆ ความร้อนเกิดขึ้นทุกอนุของวัตถุจาก ภายในออกสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว การกระจายความร้อนในตัววัตถุเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ใช้เวลาและพลังงานน้อย (Piyasena *et al.*, 2003) ดังนั้นวิธีการแผ่ความร้อนดังกล่าวนี้จะสามารถกระจายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุในการคงสภาพของ โปรตีนและไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองซึ่งมีการชะลอการเสื่อมสภาพไปตามธรรมชาติ ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการผลิตและโดยลดกิจกรรมเอนไซม์ Urease และ lipoxygenase ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสลายของโปรตีน และกรดไขมันอิสระและกลิ่นในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง ตามลำดับ โดยความร้อนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลานั้นๆไม่ก่อให้เกิดการสลายตัวของโปรตีนชนิดที่เป็นประโยชน์ และสามารถคงคุณค่าทางอาหาร กลิ่น รส และสีเมื่อเทียบกับวิธีให้ความร้อนตามปกติ ดังนั้น การนำคลื่นความถี่วิทยุมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพ วัตถุถั่วเหลือง โดยการชะลอการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดถั่วเหลือง จึงเป็นทางเลือกในการพัฒนาเทคโนโลยี การผลิตถั่วเหลืองเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

7.วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

- 1.ถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60
- 2.เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz.
- 3.อุปกรณ์ที่ใช้ผลิตถั่วเน่า
- 4.อุปกรณ์ที่ใช้ผลิตเต้าหู้
- 5.แมกนีเซียมซัลเฟต
- 6.ถุงสุญญากาศ
- 7.อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

วิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ Split plot in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ประกอบด้วย 5 วิธี คือ วิธีที่ 1 อุณหภูมิ 80 °C ระยะเวลา 3 นาที วิธีที่ 2 อุณหภูมิ 80 °C ระยะเวลา 5 นาที วิธีที่ 3 อุณหภูมิ 100 °C ระยะเวลา 3 นาที วิธีที่ 4 อุณหภูมิ 100 °C ระยะเวลา 5 นาที วิธีที่ 5 เมล็ดถั่วเหลืองไม่ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ปัจจัยรอง คือ อายุการเก็บรักษา ได้แก่ 0 3 และ 6 เดือน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาของคลื่นความถี่วิทยุที่เหมาะสมต่อการคุณภาพถั่วเหลือง
ขั้นตอนและวิธีวิจัย

ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ในแปลงทดลอง มีการปฏิบัติดูแลรักษาตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ทำการเก็บเกี่ยวและนวดถั่วเหลืองที่ระยะ R8 ลดความชื้นให้เหลือ 10 % ทำความสะอาด คัดเมล็ดเสียและสิ่งเจือปนออก นำถั่วเหลืองจำนวน 15 กิโลกรัมต่อซ้ำ ไปผ่านตู้เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ที่ความถี่ 27.12 MHz. โดยเปิดสวิทช์เครื่องที่ต่อเข้ากับเครื่องควบคุมระบบประมาณ 5 นาที บรรจุเมล็ดถั่วเหลืองลงในภาชนะครั้งละ 3,500 กรัม แล้วนำไปใส่ในตู้เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ปรับอุณหภูมิจนได้ในระดับที่ต้องการ จากนั้นตั้งเวลา ตามกรรมวิธีที่กำหนด เมื่อครบเวลานำเมล็ดถั่วเหลืองมาเทใส่ภาชนะจนเย็น หลังจากนั้น แบ่งเมล็ดถั่วเหลืองออกเป็น 3 ส่วนๆ ที่ 1 จำนวน 500 กรัม แบ่งออกซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด บันทึกลักษณะทางกายภาพ และนำเมล็ดถั่วเหลือง จำนวน 100 กรัมต่อซ้ำ วิเคราะห์โปรตีนและไขมันในเมล็ด ส่วนที่ 2 จำนวน 5,000 กรัมต่อซ้ำ นำไปเก็บรักษาในห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ 20 °C ,ความชื้นสัมพัทธ์ = 66-67 %) เป็นเวลา 6 เดือน สุ่มตัวอย่างทุกๆ 3 เดือน ตามกรรมวิธี ส่วนที่ 3 จำนวน 3,000 กรัม นำมาผลิตถั่วเน่า จำนวน 1,500 กรัม นำไปผลิตเต้าหู้ จำนวน 1,500 กรัม

การบันทึกข้อมูล

- 1.ลักษณะทางกายภาพของถั่วเหลือง โดยนำถั่วเหลือง จำนวน 100 เมล็ดต่อซ้ำ จำนวน 4 ซ้ำ มาบันทึก สีตา สีเปลือกหุ้มเมล็ด ขนาด และน้ำหนักเมล็ด
- 2.ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และปริมาณกรดไขมันอิสระในเมล็ดถั่วเหลืองก่อนและหลังผ่านคลื่นความถี่วิทยุ (AOAC, 2000)
- 3.คุณภาพการเก็บรักษาเมล็ดถั่วเหลืองที่ 0 3 และ 6 เดือน

ขั้นตอนที่ 2 การผลิตถั่วเน่า

นำเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 จำนวน 3,500 กรัมต่อซ้ำ ในส่วนที่ 3 จากขั้นตอนที่ 1 นำไปล้างน้ำให้สะอาด แช่เมล็ดในน้ำ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นเทน้ำทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำและต้ม นาน 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปหมักในถุงพลาสติกโดยทำการปิดปากถุง ทิ้งไว้ 3 วัน หมักในตู้บ่ม อุณหภูมิ 30 °C นาน 72 ชั่วโมง แล้วนำไปบดให้ละเอียด บดเป็นก้อนกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร (ประมาณ 20 กรัม) ทำเป็นแผ่นกลม ๆ บาง ๆ แล้วนำออกตากแดด 2-3 แดด หรือจนแห้ง สุ่มตัวอย่างถั่วเน่าแผ่น แบ่งออกเป็น 2 ส่วนๆ ที่ 1 บรรจุในถุงสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องปกติ เป็นเวลา 2 เดือน ตรวจสอบคุณภาพทุกๆเดือน ส่วนที่ 2 นำมาตรวจสอบคุณภาพ ตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชุมชน เลขที่ มผช. 509/2547 และคุณภาพการบริโภค คือ รสชาติ กลิ่น สี เนื้อ โดยให้อาสาสมัครชิม จำนวน 20 คน ทำการสุ่มตัวอย่างถั่วเหลืองมาผลิตถั่วเน่าแผ่น ที่อายุ 3 และ 6 เดือน

การบันทึกข้อมูล

- 1.ปริมาณโปรตีน และไขมันในเมล็ดและในถั่วเน่า (AOAC, 2000)
- 2.ปริมาณสารพิษอฟลาท็อกซิน ในเมล็ดและในถั่วเน่า (AOAC, 2000)
- 3.ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส
- 4.คุณภาพการบริโภค โดยนำถั่วเน่าแผ่นไปย่างให้สุก ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ขั้นตอนที่ 3 การผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง

นำเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 จำนวน 1,500 กรัมต่อชั่วโมง ในส่วนที่ 3 จากขั้นตอนที่ 1 นำไปผลิตเต้าหู้แผ่น โดยมาล้างและแช่ในน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำเมล็ดถั่วเหลืองไปปั่นกับน้ำสะอาด 5 ลิตร ต้มให้น้ำนมถั่วเหลือง 15 นาที (อุณหภูมิ 100 °ซ) ใช้พายคน ยกออกจากเตา ปล่อยให้เย็นให้อุณหภูมิลดลงมาเหลือประมาณ 80 °C (ปล่อยให้เย็น 2-3 นาที) เตรียมสารเคมีแมกนีเซียมซัลเฟต 2 ซ้อนโต๊ะ นำไปละลายน้ำเปล่าจำนวน 1/3 ถ้วย คนจนสารแมกนีเซียมซัลเฟตละลายจนเป็นสีใส ลดอุณหภูมิให้น้ำนมถั่วเหลืองให้เหลือ 80 °C ค่อยๆ เทสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตลงในน้ำนม ใช้พายคนเบา ๆ จนเกิดตะกอนเป็นก้อนขาวแยกตัวออกมา จากนั้นใช้ผ้าขาวบางรองในพิมพ์เต้าหู้ ตักตะกอนขาวใส่ในพิมพ์ แล้วใช้น้ำหนัก(2 กิโลกรัม) พอเหมาะสมทับก้อนเต้าหู้เพื่อกำจัดน้ำออกไป นำตัวอย่างเต้าหู้ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-8 °C และนำมาตรวจสอบคุณภาพ

การบันทึกข้อมูล

1.คุณภาพเต้าหู้

1.1 ปริมาณโปรตีนในเต้าหู้ (AOAC, 2000)

1.2 ปริมาณไขมันในเต้าหู้ (AOAC, 2000)

2. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ประกอบด้วย สี รสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความคงตัว

เวลาและสถานที่

ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2559-กันยายน พ.ศ. 2560

8.ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

คุณภาพเมล็ดถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 เมื่อนำผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันเปรียบเทียบกับเมล็ดปกติ และการนำเมล็ดถั่วเหลืองไปเก็บรักษาต่อในห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ 20 °C ,ความชื้นสัมพัทธ์ = 66-67 %) เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ไม่ทำให้ลักษณะทางกายภาพของถั่วเหลืองแตกต่างกัน โดยเมล็ดมีเปลือกสีเหลืองและตาสีน้ำตาลเข้ม มีความชื้นอยู่ในช่วง 6.8-7.1 % (Table 1)

ปริมาณโปรตีนในเมล็ด มีความแตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$ พบว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ด การนำเมล็ดถั่วเหลืองไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่ 80 °C นาน เป็นเวลา 3 และ 5 นาที และที่ 100 °C เป็นเวลา 3 นาที ทำให้มีโปรตีนมีค่าไม่ต่างกับเมล็ดปกติ และปริมาณโปรตีนจะลดลงเมื่อเมล็ดถั่วเหลืองผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่ 100 °C นาน เป็นเวลา 5 นาทีขึ้นไป(Fig.1) และปริมาณจะลดลงไปตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยเมล็ดถั่วเหลืองปกติจะมีปริมาณลดลงมากที่สุดเหลือ 36.8 % เมื่อเก็บรักษาได้ 6 เดือน สอดคล้องกับการศึกษาของ อาณัติและประไพศรี (2552) ที่สรุปว่า

ในสภาพอุณหภูมิสูง โปรตีนในถั่วเหลืองจะเกิดการเสื่อมสภาพโดยจะถูกย่อยให้เป็นแอมโมเนียและกรดอะมิโน โดยเอนไซม์ยูรีเอสในระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณไขมันในเมล็ด มีความแตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$ พบว่า เมื่อเมล็ดถั่วเหลืองผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 นาที จะมีปริมาณไขมัน 21.6% ไม่ต่างกับเมล็ดปกติ คือ 21.5% โดยปริมาณไขมันจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลานานขึ้น รวมทั้งระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณความร้อนที่สูง และระยะเวลานาน จะไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีเอนไซม์กลุ่ม lipoxydase ชื่อ lipxygenase ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ เกิดกลิ่นหืนและกลิ่นถั่ว ซึ่งเป็นการเสื่อมสภาพของไขมันในถั่วเหลือง และจะเพิ่มปริมาณเมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Liu (1997) (Fig. 2)

สารอฟลาทอกซิน

ปริมาณสารอฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วเหลืองมีความแตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$ พบว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุและระยะเวลาการเก็บรักษามีผล ดังนี้ การใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สารอฟลาทอกซินในเมล็ด มีค่าลดลง โดยมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิสูงสุดคือ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 5 นาที นอกจากนี้ปริมาณจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดในเมล็ดปกติเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน คือ 13.4 ppb . อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือระยะเวลาสั้นกว่า จะมีปริมาณสารอฟลาทอกซินสูงกว่าก็ตาม แต่การสะสมสารดังกล่าวยังอยู่ในระดับไม่เกินค่ามาตรฐาน คือ ไม่เกิน 20 ppb . (กระทรวงสาธารณสุข, 2529)(Fig. 5) ในการทดลองนี้ การใช้อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 5 นาที และมีการเก็บรักษาในภาชนะปิดสนิท ในสภาพห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ความชื้นสัมพัทธ์ = $66-67\%$) ทำให้เชื้อรากลุ่ม *Aspergillus flavus*. มีการสร้างสารพิษอฟลาทอกซินได้ลดลง สอดคล้องกับรายงานของ กนกรัตน์ (2549) และ U.S.Food and Drug Administration (2006) ที่กล่าวว่า กลุ่มเชื้อราดังกล่าว สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีความชื้นระหว่าง $14-30\%$ ความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 75% เป็นต้นไป สามารถสังเกตเชื้อราได้ด้วยตาเปล่า โดยมีสีเขียวอมเหลืองหรือเขียวเข้ม ละลายได้ดีในสารอินทรีย์ สามารถเรืองแสงได้ดีในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ต นอกจากนี้สามารถทนความร้อนได้ถึง $260\text{ }^{\circ}\text{C}$

ถั่วเน่า

คุณภาพถั่วเน่า

Fig.3 แสดงปริมาณโปรตีนในถั่วเน่าที่ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz . ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ที่อายุการเก็บรักษาเมล็ด $0, 3$ และ 6 เดือนในห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ความชื้นสัมพัทธ์ = $66-67\%$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดปกติ พบว่าปริมาณโปรตีนในถั่วเน่ามีค่าสูงสุด คือ 45.2% เมื่อผลิตจากถั่วเหลืองที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ที่ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน เป็นเวลา 3 นาที โดยยังคงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเมล็ดเก็บรักษาไว้นานจนถึง 3 เดือน ในขณะที่ถั่วเน่าที่ผลิตจากเมล็ดที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ที่ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน เป็นเวลา 5 นาทีขึ้นไป ปริมาณโปรตีนจะลดลงใกล้เคียงกับเมล็ดปกติ และต่ำกว่าเมื่อนำไปเมล็ดไปผ่านที่ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน เป็นเวลา 5 นาที และจะลดลงไปตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยทุกกรรมวิธีมีค่าต่ำสุดเมื่อผลิตจากเมล็ดที่เก็บรักษาไว้นาน 6 เดือน ซึ่งมีเหตุผลเช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลือง

Fig.4 แสดงปริมาณไขมันในถั่วเน่าที่ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ที่อายุการเก็บรักษาเมล็ด 0 3 และ 6 เดือนในห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ 20 °C , ความชื้นสัมพัทธ์ = 66-67 %) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดปกติ พบว่าที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทำให้ไขมันเพิ่มขึ้น ปริมาณไขมันในถั่วเน่า(29.8 %) มีค่าไม่ต่างกับถั่วเน่า(29.9 %) เมื่อผลิตจากถั่วเหลืองปกติ เมื่อนำเมล็ดไปผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ที่ 80 °C นาน เป็นเวลา 5 นาที เนื่องจากเกิดการดัดไขมันอิสระเช่นเดียวกับไขมันในเมล็ดถั่วเหลือง

คุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณภาพการบริโภค

คุณภาพทางประสาทสัมผัสและคุณภาพการบริโภคของถั่วเน่าที่ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ที่อายุการเก็บรักษาเมล็ด 0 3 และ 6 เดือนในห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ 20 °C , ความชื้นสัมพัทธ์ = 66-67 %) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดปกติ จากการประเมินโดยอาสาสมัคร จำนวน 20 ราย พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทั้งในถั่วเน่าดิบและถั่วเน่าสุก โดยถั่วเน่าดิบมีสีน้ำตาล มีกลิ่นถั่วเล็กน้อย ลักษณะเนื้อค่อนข้างหยาบ ส่วนถั่วเน่าสุก จะให้ถั่วเน่าสีเหลืองอมน้ำตาล มีกลิ่นถั่วเล็กน้อย ลักษณะเนื้อค่อนข้างหยาบ และมีรสชาติดี (Table 2)

สารอพลาท็อกซิน

ปริมาณสารอพลาท็อกซินในถั่วเน่า มีความแตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$ พบว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุ และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลเช่นเดียวกับปริมาณสารอพลาท็อกซินในเมล็ดถั่วเหลือง โดยการใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สารอพลาท็อกซินในถั่วเน่ามีค่าลดลงและปริมาณจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยทุกกรรมวิธีมีการสะสมสารดังกล่าวที่อยู่ในระดับไม่เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งมีเหตุผลเช่นเดียวกับการสะสมสารอพลาท็อกซินในเมล็ดถั่วเหลือง (Fig. 6)

เต้าหู้

คุณภาพเต้าหู้

Fig.7 แสดงปริมาณโปรตีนในเต้าหู้ที่ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ที่อายุการเก็บรักษาเมล็ด 0 3 และ 6 เดือนในห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ 20 °C , ความชื้นสัมพัทธ์ = 66-67 %) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดปกติ พบว่า ปริมาณโปรตีนในเต้าหู้ มีค่าสูงสุด 26.0 % เมื่อผลิตจากถั่วเหลืองปกติ รองลงมาคือเต้าหู้ที่ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลือง (25.8 %) ที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ที่ 80 °C นาน เป็นเวลา 5 นาที และปริมาณโปรตีนลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติและจะลดลงไปตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยทุกกรรมวิธีมีค่าต่ำสุดเมื่อผลิตจากเมล็ดที่เก็บรักษาไว้นาน 6 เดือน มีเหตุผลเช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองและในถั่วเน่า

Fig.8 แสดงปริมาณไขมันในเต้าหู้ที่ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ที่อายุการเก็บรักษาเมล็ด 0 3 และ 6 เดือนในห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ 20 °C , ความชื้นสัมพัทธ์ = 66-67 %) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดปกติ พบว่าที่อุณหภูมิ

เพิ่มขึ้นทำให้ไขมันเพิ่มขึ้น และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา โดเนนเมื่อนำ เมล็ดไปผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ที่ 100 °C นาน เป็นเวลา 5 นาที จะทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อ เปรียบเทียบกับเมล็ดปกติ เนื่องจากการเกิดกรดไขมันอิสระเช่นเดียวกับไขมันในเมล็ดถั่วเหลือง

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้ ที่ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ที่อายุการเก็บรักษาเมล็ด 0 3 และ 6 เดือนใน ห้องควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิ 20 °C ,ความชื้นสัมพัทธ์ = 66-67 %) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดปกติจากการ ประเมินโดยอาสาสมัคร จำนวน 20 ราย พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้น สี และเนื้อเต้าหู้ ซึ่งพบว่า เต้าหู้ที่ ผลิตจากเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่ 100 °C นาน 3 นาทีขึ้นไป ทำให้เต้าหู้เปลี่ยน จากสีขาวเป็นสีขาวอมเหลือง มีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนจากค่อนข้างขรุขระเป็นเรียบเนียนขึ้น ซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจเกิด จากการที่เมล็ดได้รับความร้อนสูงขึ้น ทำให้มีผลต่อสีของเต้าหู้และโครงสร้างของโมเลกุลเนื้อเต้าหู้รวมถึงความ คงตัวของเต้าหู้ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษาต่อไป ส่วนกลิ่นเต้าหู้ในทุกกรรมวิธีมีกลิ่นถั่วเล็กน้อย ไม่มีรสชาติและ มีความคงตัวปานกลาง (Table 3)

9.สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การใช้คลื่นความถี่วิทยุ ความถี่ 27.12 MHz. ในการชะลอการเสื่อมสภาพของเมล็ดถั่วเหลืองและถั่ว เน่าที่เหมาะสม คือ การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C นาน 3 นาที สามารถคงสภาพโปรตีนและไขมันในเมล็ด และสะสมสารพิษอพลาท็อกซินต่ำ และยืดอายุการเก็บรักษาไปจนถึง 6 เดือน สำหรับเมล็ดถั่วเหลือง และคง สภาพโปรตีนและไขมัน สะสมสารพิษอพลาท็อกซินต่ำ ไม่ทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสและการบริโภค เปลี่ยนแปลงและยืดอายุการเก็บรักษาไปจนถึง 3 เดือน สำหรับถั่วเน่า ส่วนเต้าหู้การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ เหมาะสมคือ 80°C นาน 5 นาที สามารถคงสภาพโปรตีนและไขมันใน คุณภาพทางประสาทสัมผัส และยืด อายุการเก็บรักษาไปจนถึง 6 เดือน

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ถ่ายทอดผลงานวิจัยให้แก่ผู้ประกอบการแปรรูปถั่วเหลืองและผู้สนใจทั่วไป
2. วิจัยและพัฒนาต่อยอดงานวิจัยด้าน การใช้ในอัตราอุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างจากการทดลองนี้ และศึกษาในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองชนิดอื่นๆ

11. เอกสารอ้างอิง

กนกรัตน์ ป้องประทุม. 2549. ถั่วเหลือง : ัญพิชสุขภาพ. สืบค้นจาก (Online). Available URL:

[http://www.manager.co.th/science/viewnews.aspx?newsid=947000095812\(March7, 2005\)](http://www.manager.co.th/science/viewnews.aspx?newsid=947000095812(March7, 2005))

กระทรวงสาธารณสุข.2529. มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. (พระราชกฤษฎีกาฉบับพิเศษ เล่มที่ 103

- ตอนที่ 23 ลงวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2529. สืบค้นจาก (Online) Available URL
http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/P98.pdf
- พัชริษา ไชยชนะ จิตรกานต์ ภควัฒน์ Dieter von Horsten Wolfgang Lücke สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์ และ สุชาติา เวียรศิลป์. 2554.การประยุกต์ใช้ความร้อนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ร่วมกับการอบด้วยลมร้อนในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด. ว. วิทย. กษ. 42 (3พิเศษ):362-365.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเต้าหู้แผ่น (มผช. 461/2547). สืบค้นจาก (Online) Available URL <http://tcps.tisi.go.th> (10 มกราคม 2554)
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547(13 มกราคม 2554). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแผ่นถั่วเน่า (มผช. 509/2547). สืบค้นจาก (Online) Available URL <http://tcps.tisi.go.th>
- อาณัติ นิตติธรรมยง และประไพศรี ศิริจักรวาล. 2552. ถั่วเหลืองกับสุขภาพ.สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. 13 น.
- AOAC, 2000. Official Method of Analysis of Official Agricultural Chemists. AOAC. International 17th ed. The Association Official Analytical Chemists. Maryland, USA. 1481 p.
- ISTA rule(International Seed Testing Association).2010. International Rules for Seed Testing
- Liu, K. (1997): Chemistry and nutritional value of soybean components. In: Liu, K. (Ed.), Soyabean chemistry, technology and utilization. Chapman and Hall's International Resource Center, Dept.BC, New York, pp. 26-36.
- Mekkapath C., N., Krittigamas, K. Eichhorn, D. Hoersten and S. Vearasilp. 2010. Application of Radio Frequency Heat Treatment with Hot-Air Oven on Malt Kilning Process. Journal of Agriculture 27 (Suppl.): 71-78
- Nelson, S.O., 1996. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. Trans.ASAE 39: 1475-1484.
- Piyasena, P., Dussault, C., Koutchma, T., Ramaswamy, H. S., Awuah, G.B. 2003. Radio frequency heating of foods: principles, applications and , properties a review, *Crit. Rev, Food Sci. Nutr.*43, 587-606.
- Sharma, S., Viridi, P. Gambhir. S. and Munshi, S. K. 2007. Changes in lipid and carbohydrate composition of germinating soybean seed under different storage conditions. Asian J. of Plant Sci. 6(3):502-507.
- U.S.Food and Drug Administration. 2006. Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook: Aflatoxins. (Online). Available URL:
http://www.cfsan.fda.gov/mow/chap_41.html(March 8, 2005).
- Vearasilp T., W. Laenoi, S. Vearasilp, N. Krittigamas, W. Lucke, E. Pawelzik and U.T. Meulen.

2005. Effect of Radio Frequency Technique on Nutrient Quality and Destruction of Trypsin Inhibitor in Soybean. Proceeding of DeutscherTropentag 2005. International Research of Food Security, Natural Resource Management and RuralDevelopment: The Global Food and Product Chain- Dynamics, innovations, Conflicts, Strategies. October 11-13, 2005. Stuttgart Centre for Agriculture in the Tropics and Subtropics, Germany.p 441.

Vearaslip S., K. Chaisathidvanich, S. Thanapornpoonpong, D. von Horsten and W. Lucke. 2011b. Aging Milled Rice by Radio Frequency Heat Treatment. Conference on International Research on Food Security, National Resource Management and Rural Development. Deutscher Tropentag 2011, University of Bonn October 5-7, 2011.

Table 1 Soybean characteristics treated by different radio frequency methods at CMFCRC and stored in the climate-controlled room for 6 months, 2016.

*Treatment	Physical Characteristics	
	Seed-coat color	Hilum color
T1	yellow	Dark brown
T2	yellow	Dark brown
T3	yellow	Dark brown
T4	yellow	Dark brown
T5	yellow	Dark brown
Mean	yellow	Dark brown

*T1= Treat with RF frequency 27.12 MHz. at 80 °C/ 3 minutes

T2= Treat with RF frequency 27.12 MHz. at 80 °C/ 5 minutes

T3= Treat with RF frequency 27.12 MHz. at 100 °C/ 3 minutes

T4= Treat with RF frequency 27.12 MHz. at 100 °C/ 5 minutes

T5= Un-treat (Control)

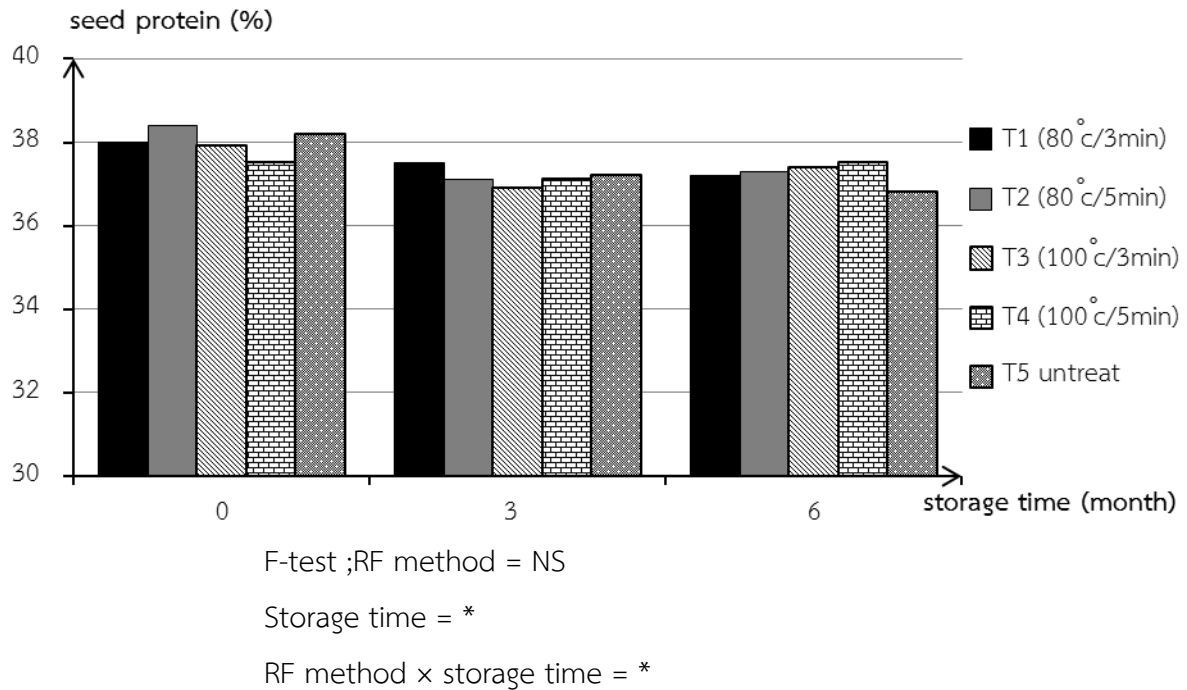


Fig.1 Seed protein content of soybean treated with different RF methods and stored for 6 months at CMFCR 2016-2017

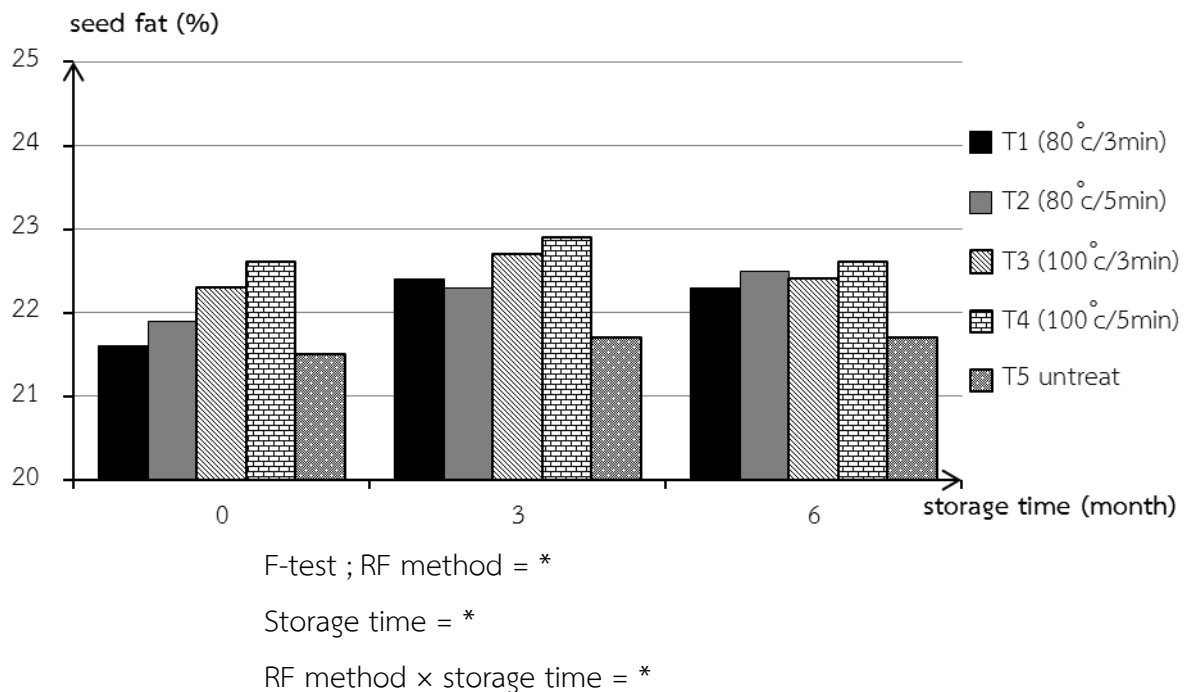


Fig.2 Seed fat content of soybean treated with different RF methods and stored for 6 months at CMFCR 2016-2017

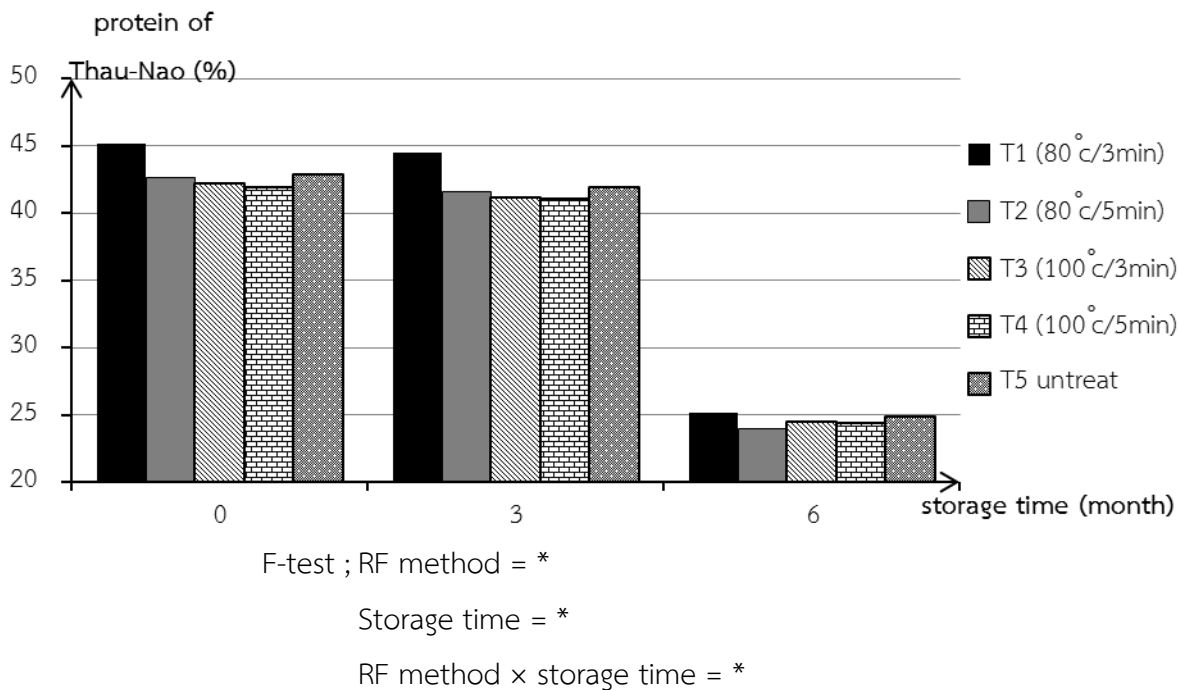


Fig.3 Protein content of Thau-Nao Produced from soybean treated with different RF methods and stored for 6 months at CMFCR 2016-2017

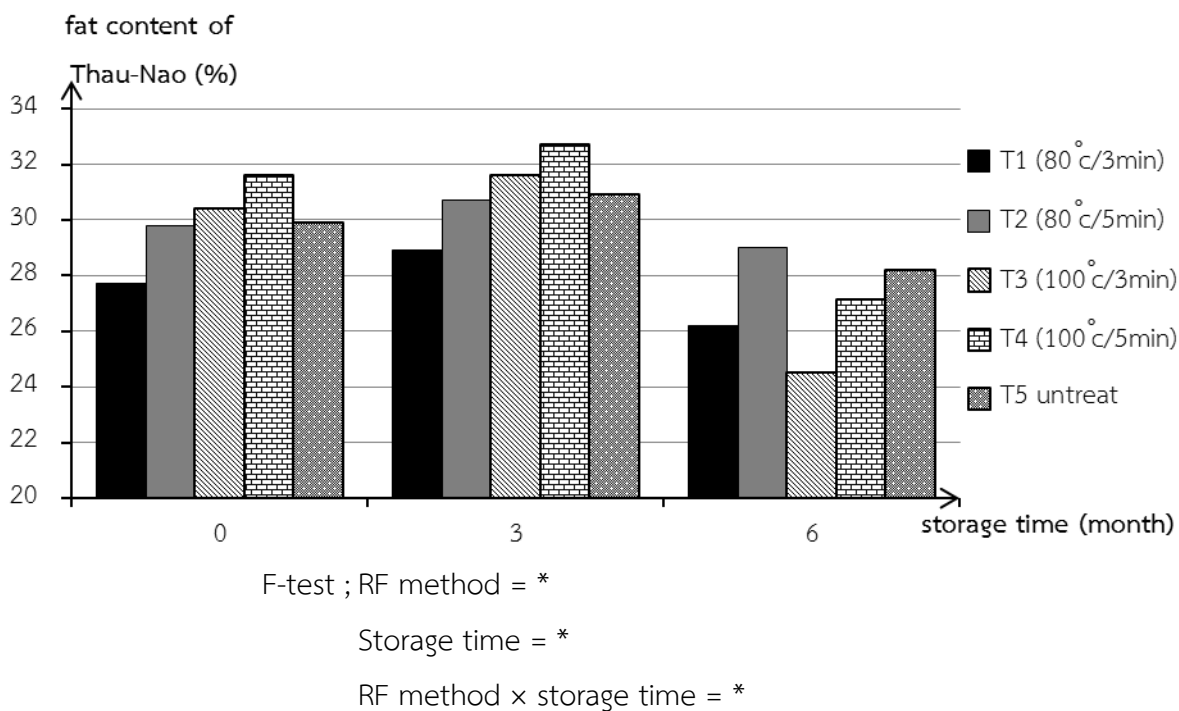


Fig.4 Fat content of Thau-Nao Produced from soybean treated with different RF methods and stored for 6 months at CMFCR 2016-2017

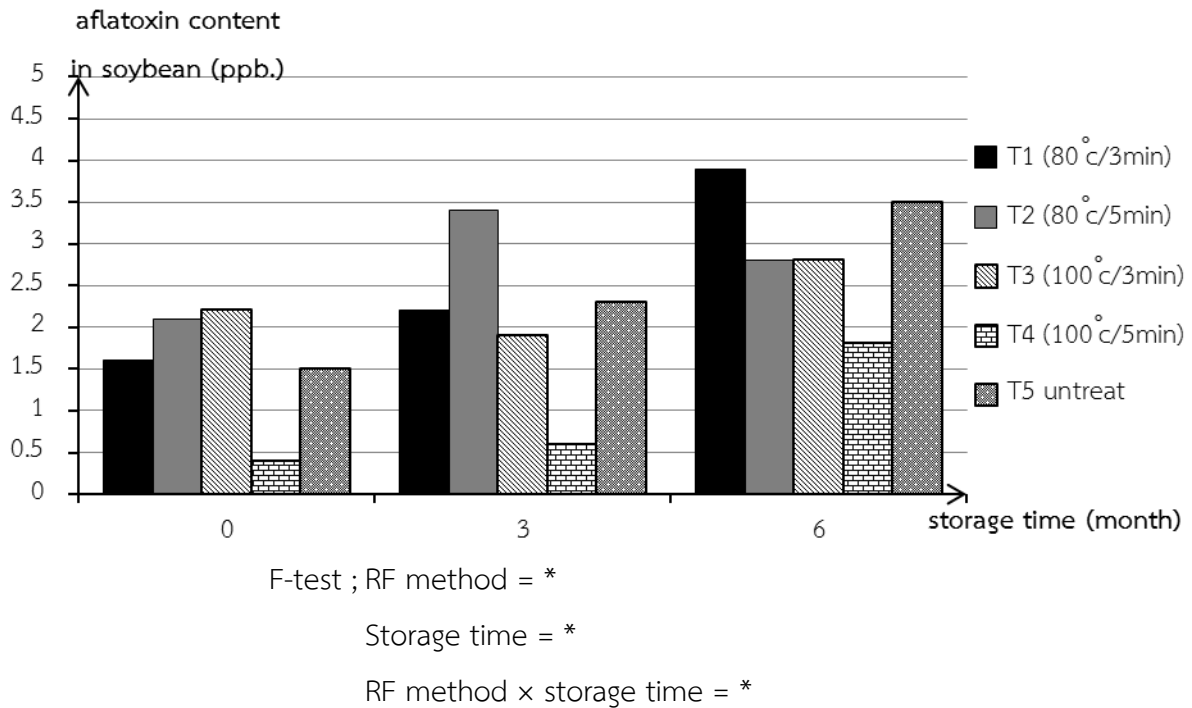


Fig.5 Aflatoxin content in soybean treated with different RF methods and stored for 6 months at CMFCR 2016-2017

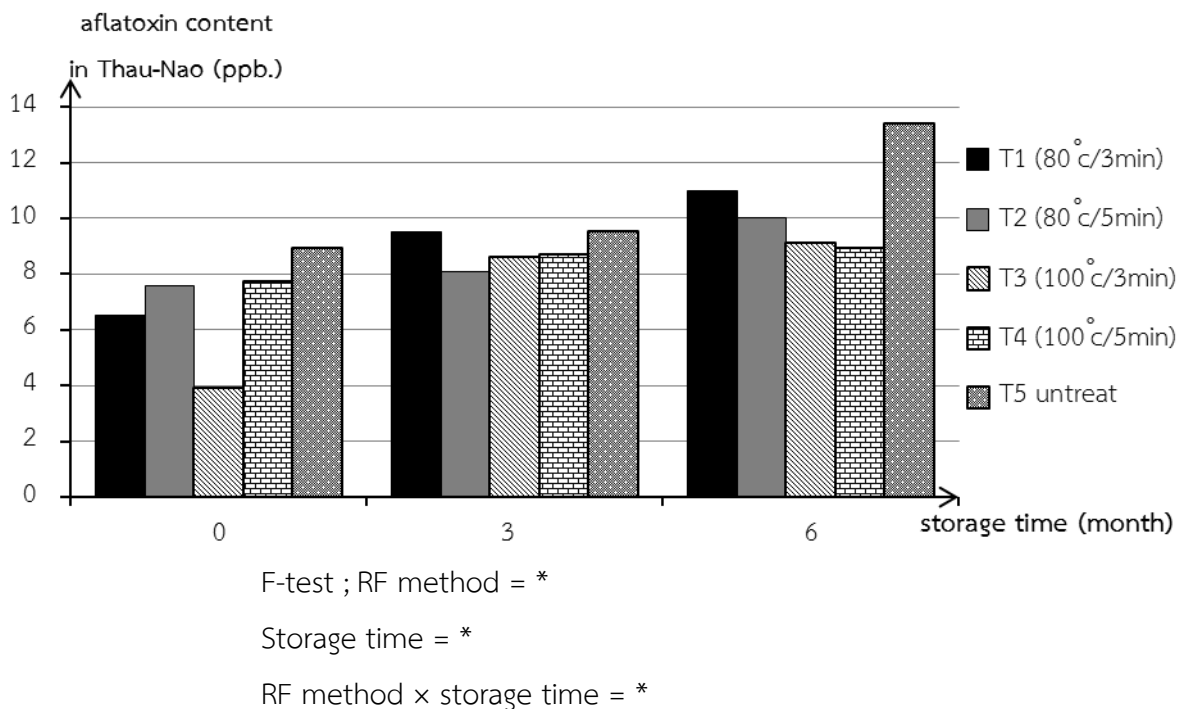
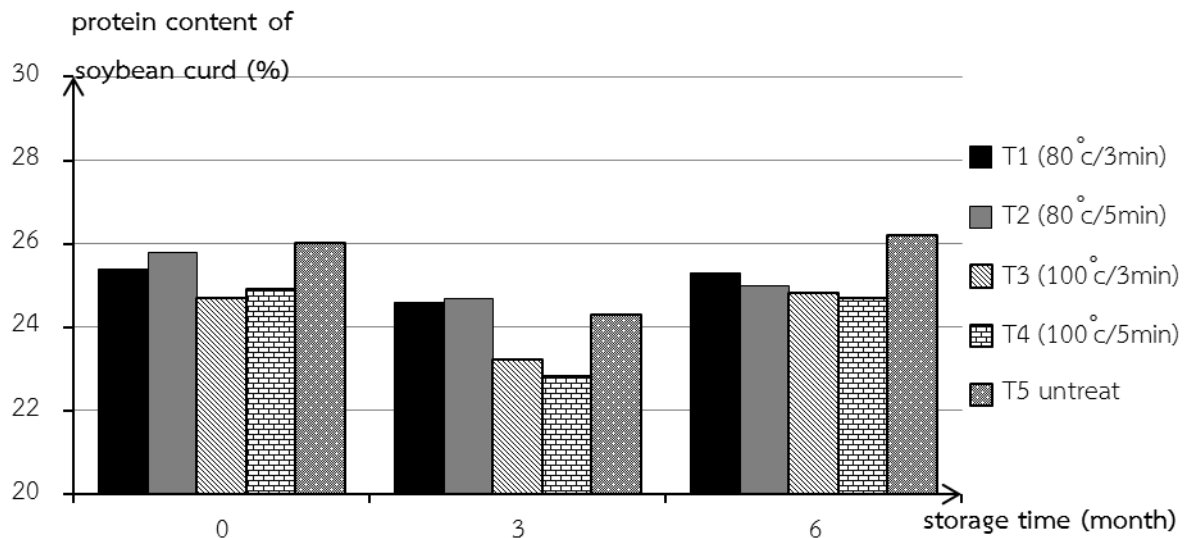


Fig.6 Aflatoxin content in Thau-Nao produced from soybean treated with different RF methods and stored for 6 months at CMFCR 2016-2017

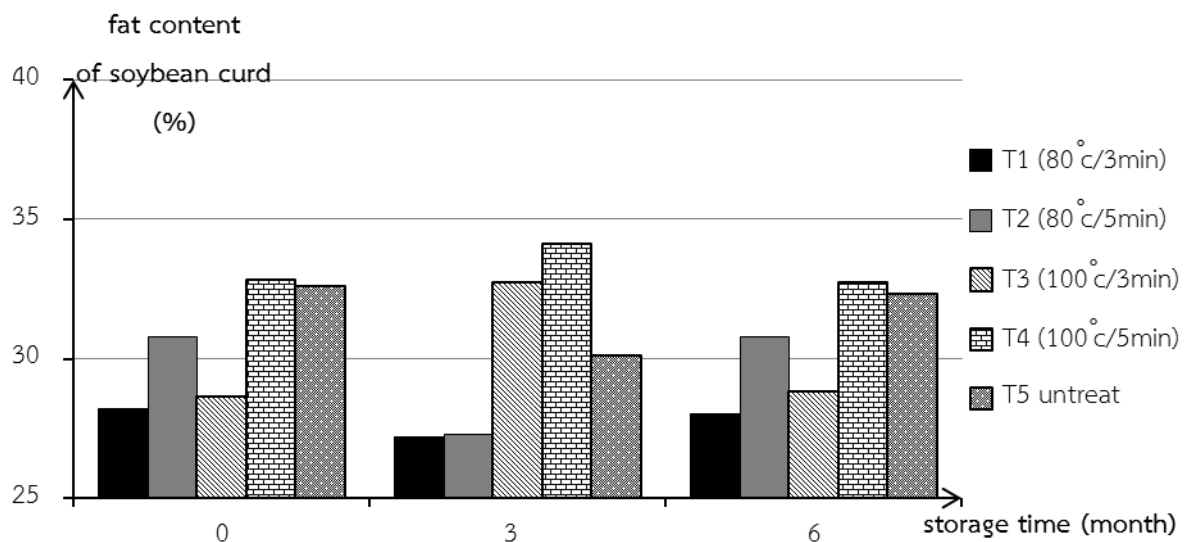


F-test ; RF method = *

Storage time = *

RF method × storage time = *

Fig.7 Protein content of soybean curd produced from soybean treated with different RF methods and stored for 6 months at CMFCR 2016-2017



F-test ; RF method = *

Storage time = NS

RF method × storage time = *

Fig.8 Fat content of soybean curd produced from soybean treated with different RF methods and stored for 6 months at CMFCR 2016-2017

Table 2 The quality of Thau-Nao produced from soybean treated with different RF methods and stored in the climate-controlled room for 6 months at CMFCRC 2016-2017.

*Treatment	Sensory characteristics						
	Raw Thau-Nao			Grilled Thau-Nao			
	color	Odor	Texture	color	Odor	Texture	Taste
T1	Brown	Slight odor	Moderate rough	Yellow-brown	Slight odor	Moderate rough	Good
T2	Brown	Slight odor	Moderate rough	Yellow-brown	Slight odor	Moderate rough	Good
T3	Brown	Slight odor	Moderate rough	Yellow-brown	Slight odor	Moderate rough	Good
T4	Brown	Slight odor	Moderate rough	Yellow-brown	Slight odor	Moderate rough	Good
T5	Brown	Slight odor	Moderate rough	Yellow-brown	Slight odor	Moderate rough	Good

Table 8 The quality of soybean curd produced from soybean treated with different RF methods and stored in the climate-controlled room for 6 months at CMFCRC 2016-2017.

*Treatment	Sensory characteristics				
	color	Odor	Taste	Texture	Hardness
T1	White	Slight odor	Tasteless	Rough	Moderate
T2	White	Slight odor	Tasteless	Rough	Moderate
T3	White-yellow	Slight odor	Tasteless	Smooth	Moderate
T4	White-yellow	Slight odor	Tasteless	Smooth	Moderate
T5	White	Slight odor	Tasteless	Rough	Moderate

*T1 = Treat with RF frequency 27.12 MHz. at 80 °C/ 3 minutes

T2 = Treat with RF frequency 27.12 MHz. at 80 °C/ 5 minutes

T3 = Treat with RF frequency 27.12 MHz. at 100°C/ 3 minutes

T4 = Treat with RF frequency 27.12 MHz. at 100 °C/ 5 minutes

T5 = Un-treat (control)