

การพัฒนากระบวนการแปรรูปลูกเต๋อยุ่สุกเร็วด้วยกระบวนการให้ความร้อน*

Development of precooked Job's tear by thermal process

ศิริญา ทาคำ^{†**}

ดวงใจ ธีรธรรมถาวร^{†***}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการแช่น้ำ และเครื่องอบแห้งต่อคุณภาพของลูกเต๋อยุ่สุกเร็ว โดยแปรรูประยะเวลาการแช่น้ำลูกเต๋อยุ่ ในช่วง 1-7 ชั่วโมง และตรวจสอบปริมาณความชื้นและร้อยละโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จากนั้นเลือกระยะเวลาในแช่น้ำลูกเต๋อยุ่ที่เหมาะสม 2 สภาวะ (4 และ 7 ชั่วโมง) เพื่อศึกษาการอบแห้งลูกเต๋อยุ่ด้วยตู้อบลมร้อนเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ โดยนำลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการแช่น้ำแล้วมานึ่งด้วยไอน้ำร้อนนาน 30 นาที จากนั้นอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (อุณหภูมิ 80°C) และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ (ใช้กำลังไฟ 4,800 วัตต์) จากผลการทดลองพบว่า น้ำสามารถซึมเข้าถึงใจกลางเมล็ดลูกเต๋อยุ่ที่ระยะเวลาการแช่น้ำตั้งแต่ 4 ชั่วโมง ทั้งนี้ลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการแช่น้ำนาน 7 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นมากกว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการแช่น้ำในช่วง 1-6 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาคุณภาพของลูกเต๋อยุ่สุกเร็วด้วยกระบวนการให้ความร้อน พบว่า การอบแห้งลูกเต๋อยุ่ด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน การผลิตลูกเต๋อยุ่สุกเร็วโดยผ่านการแช่น้ำนาน 7 ชั่วโมง แล้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ เป็นสภาวะที่ใช้เวลาในการต้มสุกน้อยที่สุด (18 นาที) โดยใช้เวลาในการต้มสุกน้อยกว่าลูกเต๋อยุ่ดิบ 3 เท่า

Abstract

The objective of this research was to study the effect of soaking time and dryer type on the qualities of precooked Job's tears. Job's tears were soaked in water for 1-7 hours and tested for moisture content and weight gain. The soaking times for 4 and 7 hours were then selected to steamed for 30 minutes and dried by hot air oven (80 °C) and microwave vacuum dryer (power 4,800 watts). The results were shown that water can penetrated into the kernel center after soaking for 4 hours. Moisture content of Job's tears after soaking for 7 hours was

* บทความนี้เป็นบทความจากผลงานวิจัยที่ผู้เขียนบทความเรียบเรียงจากการค้นคว้าอิสระเรื่อง การพัฒนากระบวนการแปรรูปลูกเต๋อยุ่สุกเร็วด้วยกระบวนการให้ความร้อน โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ธีรธรรมถาวร อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม เป็นที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลิขิจำเนียร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงษ์วิไลชาติ เป็นที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระร่วม

** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม สถานที่ทำงาน สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม E-mail: ayis5@hotmail.com

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ธีรธรรมถาวร อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

higher than the others significantly ($P \leq 0.05$). Precooked Job's tears drying with microwave vacuum dryer had higher drying rate than that drying with hot air oven. Precooked Job's tears prepared by soaking in water for 7 hours and drying with

บทนำ

ธัญชาติ (cereals) เป็นอาหารอีกกลุ่มหนึ่งที่ได้จากผลิตผลทางการเกษตร นอกเหนือจากเนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ และผลิตผลจากการประมง ปัจจุบันธัญชาติจึงเป็นแหล่งทางเลือกหนึ่งของอาหารที่มีคุณสมบัติพิเศษ นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน หรือที่รู้จักกันว่า functional foods โดยเฉพาะลูกเดือย (*Coix lacryma – jobi* L.) ที่ประเทศจีนใช้เป็นยาพื้นบ้านและใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (Li and Corke, 1999) เนื่องจากลูกเดือยช่วยลดการสะสมไขมันในตับ ป้องกันการติดเชื้อไวรัส ลดอาการภูมิแพ้ ลดการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบตัน ลดการเกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัว ลดการเกิดโรคกระดูกพรุน (Chang and others, 2003; Hung and Change, 2003; Chun and others, 2004; Yu and others, 2011) แต่ปัญหาที่สำคัญของลูกเดือย คือการใช้เวลานานในการทำให้อสุก เนื่องจากลูกเดือยมีปริมาณอะไมโลสสูง เกิดโครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งที่แข็งแรง จึงมีกำลังการพองตัวต่ำ ดูดซับน้ำได้ช้าจึงส่งผลให้ใช้เวลานานในการทำให้อสุก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกบริโภคลูกเดือย โดยในปัจจุบันนี้มีวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบโดยเฉพาะข้าวหุงสุกที่ใช้เวลาสั้นได้หลายวิธี อาทิ กรรมวิธีการแช่น้ำ ต้ม ทำแห้ง การทำให้เมล็ดข้าวพองตัวและเกิดเจลลิตไนซ์ กรรมวิธีการอบ กรรมวิธีการให้ความร้อนแห้ง กรรมวิธีคั้นรูปจากการแช่เยือกแข็ง เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) แต่การศึกษากาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ลูกเดือย ยังไม่มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษากระบวนการผลิตลูกเดือยหุงสุกเร็วด้วยกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตลูกเดือยหุงสุกเร็ว นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ผู้ประกอบการขนาดเล็ก (SMEs) สามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งจะนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม

วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่น้ำ และเครื่องอบแห้ง 2 ชนิด ได้แก่ ตู้อบลมร้อน และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศต่อคุณภาพของลูกเดือยหุงสุกเร็ว

วิธีการทดลอง

1. การศึกษาหาระยะเวลาการแช่น้ำลูกเดือยที่เหมาะสม

ลูกเดือยที่ใช้ในการทดลองเป็นลูกเดือยพันธุ์ข้าวเหนียว มีความชื้นเริ่มต้น 12.40 % และมีปริมาณอะไมโลส 14.04% โดยนำลูกเดือย 100 กรัม แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง อัตราส่วนลูกเดือยต่อน้ำเป็น 1:3 โดยน้ำหนัก แปรรูปเวลาการแช่ลูกเดือยเป็น 7 ระดับ คือ 1 2 3 4 5 6 และ 7 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ค่า ร้อยละความชื้น ร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของลูกเดือย การดูดซึมน้ำของลูกเดือยจากภาพถ่ายกล้อง (กล้องถ่ายรูป Canon รุ่น EOS450D) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง ทรีทเมนต์ด้วย Duncan's New Multiple Range Test (Gacula, 1993) เพื่อคัดเลือกเวลาในการแช่ลูกเดือย

2. การศึกษาสภาวะการอบแห้งลูกเดือยด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

แช่ลูกเต๋อยปริมาณ 1,000 กรัม ตามระยะเวลาการแช่น้ำที่คัดเลือกจากข้อ 1 แล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนึ่งลูกเต๋อยที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที ให้ความร้อนโดยแปรชนิดของเครื่องอบแห้งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ตู้อบลมร้อน อบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศใช้กำลังไฟ 4,800 วัตต์ (ระดับพลังงานไมโครเวฟ 80%) จนความชื้นสุดท้ายเป็น 10–14% (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.1 การศึกษาระยะเวลาการอบแห้งและอัตราการอบแห้งลูกเต๋อยหุงสุกเร็ว

นำลูกเต๋อยที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ณ เวลาต่างๆ ไปหาร้อยละความชื้น (AOAC, 2000) และหาอัตราการอบแห้งจากสมการ (Kar and Gupta, 2003)

$$\text{Drying rate} = \frac{M_0 - M_t}{t}$$

เมื่อ M_0 คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (dry basis), M_t คือ ปริมาณความชื้นที่เวลา t (dry basis) และ t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

2.2 การศึกษาค่าทางเคมีและกายภาพของลูกเต๋อยหุงสุกเร็วที่ได้

ลูกเต๋อยที่ได้จากการอบแห้งนำมาวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้ วิเคราะห์ค่าร้อยละความชื้น (AOAC, 2000) ค่าแอมเตอร์แอกทิวิตี้ด้วยเครื่องวัด a_w ยี่ห้อ AquaLab รุ่น Series 3 ค่าสี (CIELab) ด้วยเครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE เวลาที่ทำให้สุกด้วยการต้มที่อุณหภูมิ 100°C (Azeez and Shafi, 1966) พิจารณาการสุกโดยใช้กระจกนาฬิกาตกลงบนเมล็ด จนไม่พบไตสีขาวด้านในเมล็ด วิเคราะห์ค่าความแข็งของลูกเต๋อยต้มสุกด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (น้ำฝน สีตะจิตต์, 2548) โดยใช้หัวกด back extrusion (A/BE-d45) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร ซึ่งลูกเต๋อยสุกใส่ในเซลล์ 25 กรัม ใช้หัวกดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทางร้อยละ 70 ของความสูงตัวอย่าง โดยเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาทีขณะกดตัวอย่าง โดยค่าแรงที่ใช้กดตัวอย่างสูงสุดคือค่าความแข็ง (hardness) มีหน่วยเป็นนิวตัน ค่าร้อยละการดูดน้ำกลับ (percentage of water uptake) (วีระ ศรีอริยะกุล, 2549) โดยชั่งตัวอย่างลูกเต๋อย 100 กรัม นำไปต้มให้สุกตามเวลาต้มสุกที่วิเคราะห์ได้ แล้วชั่งน้ำหนักลูกเต๋อยหลังต้มสุก คำนวณหาร้อยละการดูดน้ำกลับตามสูตร

$$\text{ร้อยละการดูดน้ำกลับ (Percentage of water uptake)} = \frac{W_c - W_{uc}}{W_{uc}} \times 100$$

เมื่อ W_c คือน้ำหนักลูกเต๋อยหลังหุงสุก (กรัม) และ W_{uc} คือน้ำหนักลูกเต๋อยก่อนหุงสุก (กรัม)

จัดการทดลองแบบ 2x2 Factorial วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์และตัวอย่างควบคุม (ลูกเต๋อยดิบ) ด้วย Duncan's New Multiple Range Test (Gacula, 1993) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตลูกเต๋อยหุงสุกเร็ว

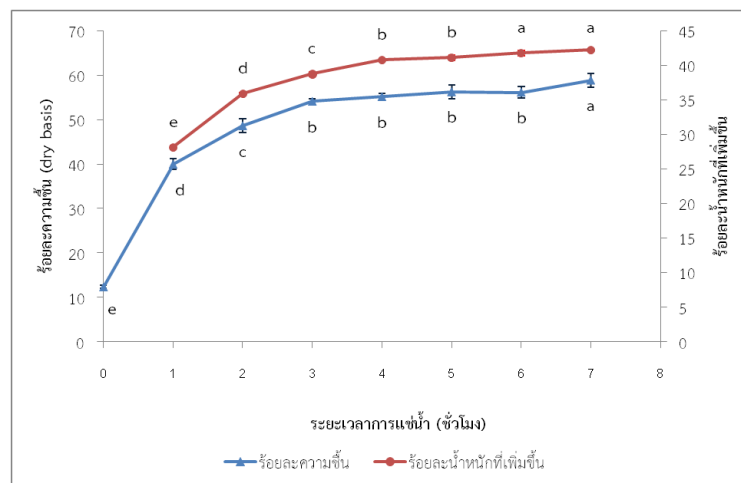
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษาระยะเวลาการแช่น้ำลูกเต๋อย

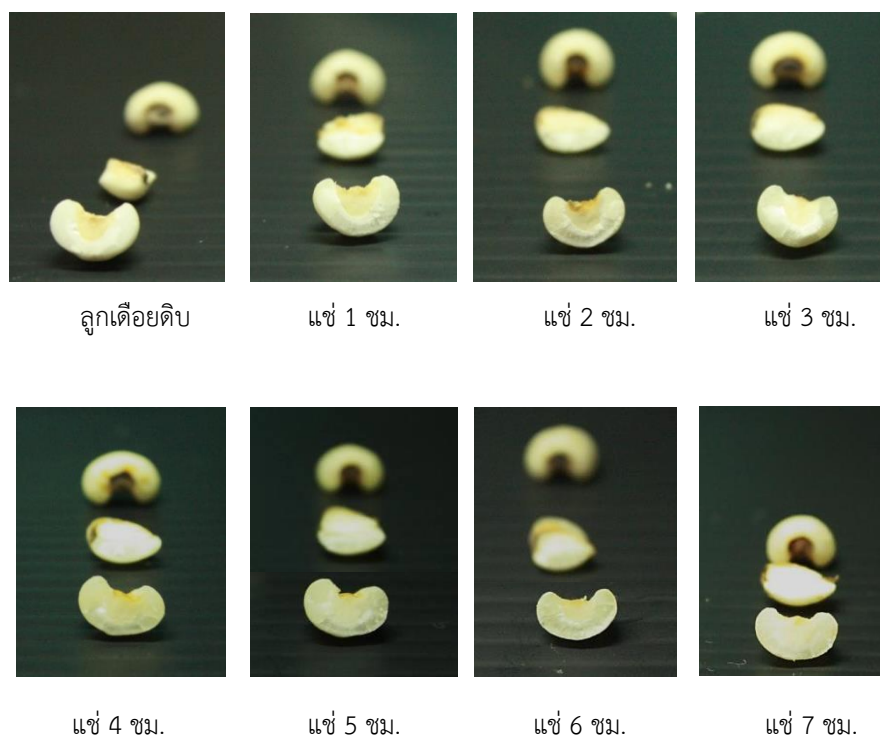
การทดลองแช่น้ำลูกเต๋อยเพื่อศึกษาหาเวลา และปริมาณความชื้นที่ระยะเวลาการแช่น้ำต่างๆ โดยปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณการเกิดเจลลาตินในขั้นตอนการนึ่ง ซึ่งส่งผลต่อการหุงสุกของลูกเต๋อยที่ผลิตได้ จากการทดลองแช่น้ำลูกเต๋อย ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า การแช่น้ำลูกเต๋อยที่ใช้เวลานาน

กว่า 7 ชั่วโมง จะเกิดกลิ่นหมักจากการเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรียในน้ำที่ใช้แช่ ทำให้ได้ลูกเต๋ยที่มีคุณลักษณะไม่พึงประสงค์ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกระยะเวลาการแช่น้ำในช่วง 1-7 ชั่วโมง โดยในขั้นตอนการแช่น้ำนี้ได้ศึกษาผลของระยะเวลาการแช่น้ำลูกเต๋ยต่อร้อยละความชื้นและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของลูกเต๋ย ผลการทดลองดังภาพที่ 1 พบว่าเมื่อระยะเวลาการแช่น้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละความชื้นเพิ่มขึ้นและคงที่เมื่อช่วงเวลาการแช่น้ำเป็น 3-6 ชั่วโมง และที่เวลาแช่น้ำ 7 ชั่วโมง มีค่าร้อยละความชื้นสูงสุด (แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)) เนื่องจากที่ระยะเวลาการแช่น้ำที่นานขึ้น ทำให้เกิดการแพร่ของโมเลกุลน้ำจากบริเวณที่มีปริมาณน้ำสูงไปสู่เมล็ดลูกเต๋ยที่มีปริมาณน้ำต่ำได้ดีมากขึ้น (ภัทรชนก อธิธิติ, 2541) ซึ่งสอดคล้องกับค่าร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับภาพที่ 2 ที่พบว่าน้ำสามารถซึมเข้าด้านในเมล็ดลูกเต๋ยได้ดีที่ระยะเวลาการแช่น้ำตั้งแต่ 4 ชั่วโมง เป็นต้นไป

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการดูดซึมน้ำเข้าด้านในเมล็ดและปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นแล้ว จึงเลือกเวลาการแช่น้ำ 4 และ 7 ชั่วโมง เพื่อไปศึกษาต่อในข้อ 2



ภาพที่ 1 ร้อยละความชื้นและร้อยละน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของลูกเต๋ยเมื่อแช่น้ำเป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง
a-e ที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

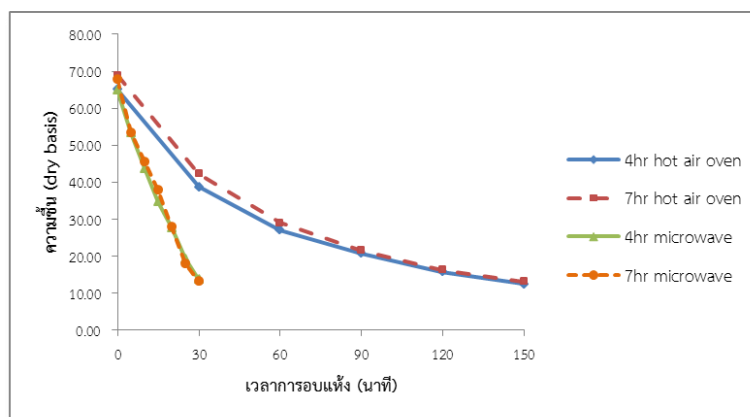


ภาพที่ 2 ภาพตัดขวางของลูกเดือยที่ผ่านการแช่น้ำตามระยะเวลาต่างๆ นาน 7 ชั่วโมง

2. ผลการศึกษาสภาวะการอบแห้งลูกเดือยด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

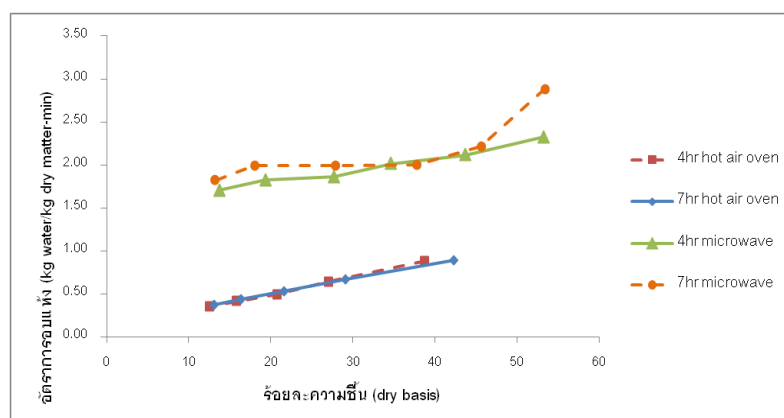
2.1 ผลของระยะเวลาการอบแห้งและอัตราการอบแห้งของลูกเดือยหุงสุกเร็วที่ได้

จากการทดลองเมื่อนำลูกเดือยแช่น้ำตามสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 1 นึ่งลูกเดือยที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที เพื่อให้ลูกเดือยเกิดเจลลิตินในซึบข้างส่วน แล้วนำมาอบแห้งเพื่อให้เมล็ดลูกเดือยเกิดรอยร้าว ซึ่งสามารถดูดซึมน้ำขณะหุงต้มได้เร็วขึ้น โดยอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 80°C และอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่กัลังไฟ 4,800 วัตต์ ที่ระยะเวลาการอบแห้งต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่า ความชื้นของลูกเดือยที่ผ่านการแช่น้ำนาน 4 และ 7 ชั่วโมง ลดลงในระดับที่ใกล้เคียงกัน ทั้งสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้งของลูกเดือยที่ผ่านการแช่น้ำแล้วนี้ทั้ง 2 สภาวะ มีปริมาณใกล้เคียงกัน (ประมาณ 64-69%) จึงส่งผลให้ใช้ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากัน โดยระยะเวลาการอบแห้งลูกเดือยด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศสั้นกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เนื่องจากการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ปล่อยออกมาจะถูกดูดซับด้วยน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการเคลื่อนไหวและสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่องของโมเลกุลน้ำ เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในตัวอย่างอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั่วทั้งตัวอย่าง จนถึงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ น้ำจะระเหยจากภายในตัวอย่างแล้วเคลื่อนที่ไปยังผิว ซึ่งสร้างความแตกต่างของความดันไอระหว่างด้านในตัวอย่างกับบริเวณผิวตัวอย่าง และเมื่อลดความดันภายในเครื่องอบแห้งไมโครเวฟยิ่งทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอมากขึ้น จึงทำให้เกิดแรงผลักดันให้น้ำระเหยออกมาด้านนอกตัวอย่างมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนธรรมดา สอดคล้องกับการทดลองของ Hu and others (2006); Inchuen and others (2008); Therdthai and Zhou (2009)



ภาพที่ 3 กราฟการอบแห้งของลูกเต๋อยแช่ 4 และ 7 ชั่วโมง นึ่ง 30 นาที อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80°C และอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave vacuum dryer) ที่กำลังไฟ 4,800 วัตต์

เมื่อนำค่าความชื้นของลูกเต๋อยมาคำนวณหาอัตราการอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าอัตราการอบแห้งของลูกเต๋อยที่ผ่านการแช่น้ำนาน 4 และ 7 ชั่วโมง มีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกันทั้งสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ อาจเนื่องจากอุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งเป็นอุณหภูมิเดียวกัน ทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล (Effective moisture diffusivity coefficient, $Deff$) ของลูกเต๋อยทั้ง 2 สภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกันด้วย (วิระ ศรีอริยะกุล, 2549) และเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งลูกเต๋อยด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ พบว่ามีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน สอดคล้องกับการทดลองหาอัตราการอบแห้งของเห็ด (Giri and Prasad, 2007) ถั่วแระญี่ปุ่น (edamame) (Hu and others, 2006) และใบมันท์ (Therdthai and Zhou, 2009) ด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ที่มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน



ภาพที่ 4 กราฟอัตราการอบแห้งของลูกเต๋อยแช่ 4 และ 7 ชั่วโมง นึ่ง 30 นาที อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80°C และอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ (Microwave vacuum dryer) ที่กำลังไฟ 4,800 วัตต์

2.2 ค่าทางเคมีและกายภาพของลูกเต๋อยุ่สุกเร็วที่ได้

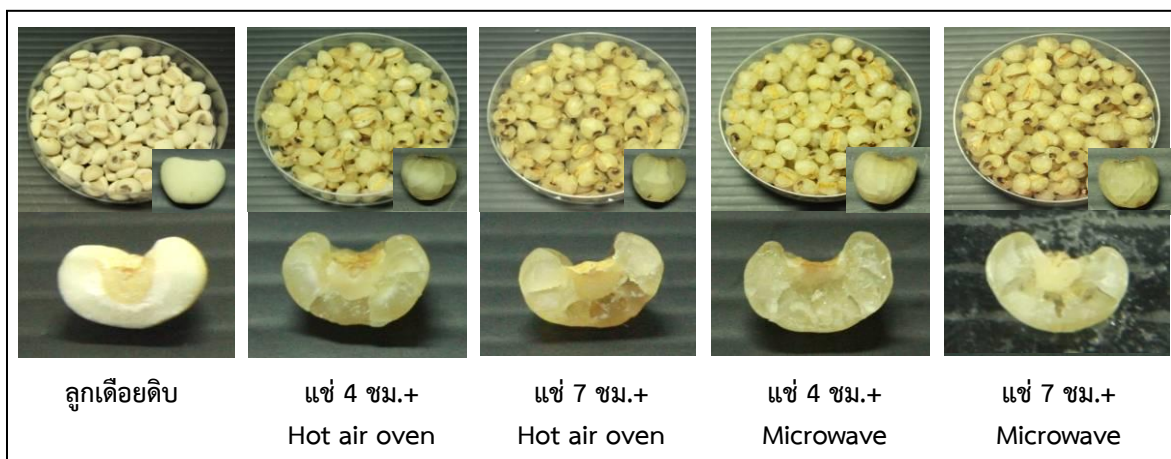
เมื่อนำลูกเต๋อยุ่ที่ได้จากการอบแห้งมาวิเคราะห์ค่าทางเคมีและกายภาพได้ผลดังตารางที่ 1 พบว่า ลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านกระบวนการมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 12.46-13.68% ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับลูกเต๋อยุ่ดิบที่มีความชื้น 12.40% โดยทั่วไปแล้วความชื้นที่ปลอดภัยในการเก็บรักษาเมล็ดธัญชาติควรต่ำกว่า 14% เนื่องจากเป็นช่วงความชื้นที่ปลอดภัยต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) (ตารางที่ 1) พบว่า ลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดมีค่า a_w ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับลูกเต๋อยุ่ดิบ โดยลูกเต๋อยุ่ทุกตัวอย่างมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.652-0.689 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา โดยคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546) รายงานว่าค่า a_w ประมาณ 0.6 ทำให้สามารถเก็บรักษาธัญชาติได้เป็นเวลานาน

เมื่อพิจารณาค่าสี (ตารางที่ 1) พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดมีค่าลดลงแตกต่างกับลูกเต๋อยุ่ดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (maillard) โดยมีน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) ที่เกิดจากเอนไซม์ที่ย่อยสลายแป้งในขั้นตอนการแช่ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน (amino acid) เมื่อให้ความร้อนในขั้นตอนการอบแห้งจะเกิดสารประกอบหลายชนิดที่ให้น้ำตาล ได้แก่ melanoidins (Swasdisevi and others, 2010) เมื่อพิจารณาค่าเฉดสีแดง (a^*) และค่าเฉดสีเหลือง (b^*) พบว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดมีค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้นแตกต่างกับลูกเต๋อยุ่ดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่น้ำลูกเต๋อยุ่ที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าที่ระยะเวลาการแช่น้ำที่นานขึ้น ค่า a^* และ b^* ไม่แตกต่างกัน ให้ผลเช่นเดียวกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ และเมื่อเปรียบเทียบประเภทของเครื่องอบแห้ง พบว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศมีค่า a^* และ b^* ไม่ต่างกับลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ส่วนค่าความแตกต่างโดยรวมของเฉดสี (ΔE^*) พบว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านกระบวนการทุกสภาวะมีค่า ΔE^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เช่นกัน ดังนั้นชนิดของเครื่องอบแห้งจึงไม่มีอิทธิพลต่อค่าสีของลูกเต๋อยุ่สุกเร็วที่ได้

เมื่อนำลูกเต๋อยุ่ดิบและลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดต้มให้สุกที่อุณหภูมิ 100°C ผลดังตารางที่ 1 พบว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดใช้เวลาต้มสุกน้อยกว่าลูกเต๋อยุ่ดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยลูกเต๋อยุ่ที่ต้มสุกแล้วมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่น้ำ ลูกเต๋อยุ่ที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการแช่น้ำนาน 7 ชั่วโมง มีเวลาในการต้มสุกน้อยกว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการแช่น้ำนาน 4 ชั่วโมง เนื่องจากลูกเต๋อยุ่สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่า (ดังภาพที่ 1 และ 2) โดยโมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปในเมล็ดลูกเต๋อยุ่ได้มากกว่า ซึ่งลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการแช่น้ำนาน 7 ชั่วโมง แล้วนำไปนึ่ง จะมีสภาวะความชื้นที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลลาตินไนซ์ (ความชื้น 65-80%) ดังภาพที่ 3 และ 4 (Ozai-Durrani, 1948) แล้วเมื่อให้ความร้อนด้วยลมร้อนจึงเกิดเจลลาตินไนซ์ได้มากกว่า เมื่อนำลูกเต๋อยุ่ที่ได้มาหุงต้มจึงใช้เวลาสั้นกว่า เนื่องจากแป้งในลูกเต๋อยุ่เกิดเจลลาตินไนซ์ไปแล้วบางส่วน เมื่อนำมาหุงต้มอีกครั้งจะใช้เวลาสั้นในการทำใหแป้งสุกเร็วขึ้น ให้ผลสอดคล้องเช่นเดียวกับลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการแช่น้ำนาน 7 ชั่วโมง แล้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ซึ่งมีเวลาในการต้มสุกน้อยกว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการแช่น้ำนาน 4 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบประเภทของเครื่องอบแห้ง พบว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศมีระยะเวลาการต้มสุกสั้นกว่าลูกเต๋อยุ่ที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อาจเนื่องจากเกิดความแตกต่างของความดันไอระหว่างด้านในลูกเต๋อยุ่กับ

บริเวณผิวลูกเต๋อย และเมื่อลดความดันภายในเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ยิ่งเกิดความแตกต่างของความดันไอบามากขึ้น จึงเกิดลักษณะการพอง (puffing) ของลูกเต๋อย ดังภาพที่ 5 ซึ่งเป็นภาพการพองตัวของลูกเต๋อย โดยโครงสร้างของลูกเต๋อยไม่หดและยุบตัวระหว่างกระบวนการอบแห้ง สอดคล้องกับผลการอบแห้งทุเรียนแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศของ Bai-Ngew and others (2011) และการอบแห้งเห็ดด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศของ Giri and Prasad (2007) ที่พบว่าเห็ดมีโพรงอากาศมากกว่าเห็ดที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวทำให้คืนรูปได้เร็วกว่า



ภาพที่ 5 ภาพตัดขวางเมล็ดลูกเต๋อยดิบและลูกเต๋อยที่ผ่านกระบวนการ

หมายเหตุ แช่ + ชม 4 Hot air oven หมายถึง ลูกเต๋อยแช่น้ำนาน นาทึ อบแห้งด้วย 30 นึง . ชม 4 C°80 ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ

แช่ 7 ชม.+ Hot air oven หมายถึง ลูกเต๋อยแช่น้ำนาน 7 ชม. นาทึ อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 30 นึง . C°80 อุณหภูมิ

แช่ + ชม 4 Microwave หมายถึง ลูกเต๋อยแช่น้ำนาน นาทึ อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง 30 นึง . ชม 4 ไมโครเวฟสุญญากาศ ที่กำลังไฟ, วัตต์ 800

แช่ 7 ชม.+ Microwave หมายถึง ลูกเต๋อยแช่น้ำนาน 7 ชม. นึง 30 นาทึ อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง ไมโครเวฟสุญญากาศ ที่กำลังไฟ 4,800 วัตต์

เมื่อนำลูกเต๋อยดิบและลูกเต๋อยที่ผ่านกระบวนการมาหาค่าร้อยละการดูดน้ำกลับ (ตารางที่ 1) พบว่าลูกเต๋อยที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดมีค่าร้อยละการดูดน้ำกลับลดลง โดยมีความแตกต่างจาก ลูกเต๋อยดิบ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชในลูกเต๋อยบางส่วนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการแช่และนึ่ง เกิดการเกาะรวมกันของโครงสร้างภายในที่แน่นมากขึ้น จึงทำให้น้ำดูดซึมเข้าไปในเมล็ดน้อยลง (Swasdisewi and others, 2010) และอาจเนื่องจากโปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณผิวเมล็ดแบ่งเกิดการคลายตัวและแทรกตัวระหว่างเมล็ดแบ่งเพิ่มขึ้น ทำให้การเกาะตัวกันแน่นขึ้น น้ำจึงแทรกซึมเข้าไปในลูกเต๋อยได้ยากขึ้น จึงส่งผลให้ลูกเต๋อยที่ผ่านกระบวนการดูดซับน้ำได้น้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhattachaya and Subba Rao (1966); Kato and others (1983); Parnsakhorn and Noomhorm (2008) หากเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่น้ำลูกเต๋อยที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าลูกเต๋อยที่ผ่านการแช่น้ำนาน 7 ชั่วโมง มีค่าร้อยละการดูดน้ำ

กลับน้อยกว่าลูกเต๋ายที่ผ่านการแช่น้ำนาน 4 ชั่วโมง มีผลเช่นเดียวกับลูกเต๋ายที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ เนื่องจากลูกเต๋ายที่ผ่านการแช่น้ำนานกว่ามีปริมาณความชื้นสูง (ภาพที่ 1) ส่งผลให้สตาร์ชเกิดเจลลิตีในซีได้มากกว่า ดังนั้นเมื่อนำลูกเต๋ายอบแห้งที่ผ่านกระบวนการนี้มาหาค่าร้อยละการดูดน้ำกลับ จึงมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในเมล็ดลูกเต๋ายได้น้อยกว่า และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประเภทของเครื่องอบแห้ง พบว่าลูกเต๋ายที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศมีค่าร้อยละการดูดน้ำกลับน้อยกว่าลูกเต๋ายที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน อาจเนื่องจากการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟก่อให้เกิดความร้อนสูงกว่าตู้อบลมร้อน จึงส่งผลให้สตาร์ชในเมล็ด ลูกเต๋ายเกิดเจลลิตีในซีได้มากกว่า เมื่อนำลูกเต๋ายอบแห้งที่ผ่านกระบวนการนี้มาหาค่าร้อยละการดูดน้ำกลับจึงมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในเมล็ดได้น้อยกว่า

ตารางที่ 1 ร้อยละความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) และค่าสีของลูกเต๋ายดิบ และเวลาที่ทำให้สุกด้วยการต้ม ร้อยละการดูดน้ำกลับ และค่าความแข็งของลูกเต๋ายหลังต้มสุก

รายการ	ลูกเต๋ายดิบ	แช่ 4 ชม.+ Hot air oven	แช่ 7 ชม.+ Hot air oven	แช่ 4 ชม.+ Microwave	แช่ 7 ชม.+ Microwave
ร้อยละความชื้น (dry basis) ^{ns}	12.40±0.46	12.46±0.86	13.11±0.54	13.68±0.30	13.16±1.15
ค่า a_w ^{ns}	0.652±0.07	0.683±0.03	0.689±0.04	0.678±0.05	0.662±0.04
ค่าสี					
- L*	67.27 ^a ±0.64	48.93 ^b ±0.21	47.58 ^b ±1.35	49.13 ^b ±0.85	48.33 ^b ±1.50
- a*	1.67 ^c ±0.60	2.81 ^b ±0.06	3.06 ^{ab} ±0.17	3.10 ^{ab} ±0.11	3.47 ^a ±0.38
- b*	16.80 ^c ±0.61	17.54 ^{ab} ±0.12	18.01 ^a ±0.23	17.87 ^{ab} ±0.26	18.20 ^a ±1.09
- Delta E* ^{ns}	-	18.41±0.21	19.78±1.33	18.25±0.87	19.12±1.50
เวลาที่ทำให้สุกด้วย การต้ม (นาที)	55.00 ^a ±0.00	27.00 ^b ±0.00	20.00 ^d ±0.00	23.00 ^c ±0.00	18.00 ^e ±0.00
ร้อยละการดูดน้ำกลับ	113.90 ^a ±0.07	97.25 ^b ±3.57	82.73 ^c ±2.20	86.86 ^c ±4.08	75.46 ^d ±3.07
ค่าความแข็ง (นิวตัน) ^{ns}	137.15±7.42	141.94±3.29	149.63±17.97	136.99±8.39	141.83±12.51

หมายเหตุ ^{a-e} ในแนวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) $p < (0.05$

^{ns} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) $p > (0.05$)

แช่ +.ชม 4Hot air oven หมายถึง ลูกเต๋ายแช่น้ำนาน นาทึ อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 30 นึ่ง .ชม 4 C°80 อุณหภูมิ

แช่ 7 ชม.+Hot air oven หมายถึง ลูกเต๋ายแช่น้ำนาน 7 ชม.นาทึ อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 30 นึ่ง . C°80 อุณหภูมิ

แช่ +.ชม 4Microwave หมายถึง ลูกเต๋ายแช่น้ำนาน นาทึ อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง 30 นึ่ง .ชม 4 ไมโครเวฟสุญญากาศ ที่กำลังไฟ,วัตต์ 800

แช่ 7 ชม.+ Microwave หมายถึง ลูกเต๋ายแช่น้ำนาน 7 ชม. นึ่ง 30 นาทึ อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง ไมโครเวฟสุญญากาศ ที่กำลังไฟ 4,800 วัตต์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี พบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตลูกเต๋อยหุงสุกเร็ว คือ การแช่ลูกเต๋อยที่ 7 ชั่วโมง หนึ่งเป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ที่กำลังไฟ 4,800 วัตต์ จนมีความชื้นสุดท้ายระหว่าง 10–14% เนื่องจากสามารถลดระยะเวลาการทำให้สุกได้เร็วที่สุด ทั้งนี้กระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ของผู้ประกอบการนั้นอาจขึ้นกับปัจจัยอีกหลายอย่าง เช่น การประหยัดพลังงาน ความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่มีอยู่ ต้นทุนในการผลิตและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

สรุปผลการทดลอง

ระยะเวลาในการแช่น้ำลูกเต๋อยเพื่อให้มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลลาตินส์ คือ 7 ชั่วโมง จากนั้นเมื่อนำลูกเต๋อยนั้นนาน 30 นาที แล้วอบแห้ง พบว่าลูกเต๋อยที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ใช้เวลาในการต้มสุกน้อยกว่าลูกเต๋อยที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เนื่องจากการอบแห้งด้วยสภาวะสุญญากาศทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำภายในลูกเต๋อยกับภาวะภายในห้องอบแห้ง จึงเกิดลักษณะการพอง (puffing) ของลูกเต๋อย จึงใช้เวลาในการต้มสุกน้อยกว่า ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมต่อการพัฒนากระบวนการผลิตลูกเต๋อยหุงสุกเร็ว คือ การแช่ลูกเต๋อยที่ 7 ชั่วโมง หนึ่งเป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ที่กำลังไฟ 4,800 วัตต์ จนมีความชื้นสุดท้ายระหว่าง 10–14%

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศิลปากร และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่สนับสนุนทุนวิจัย และเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2546). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- น้ำฝน ศีตะจิตต์. (2548). **การเกิดรีโทรเกรดชันของข้าวขาวและข้าวหนึ่งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงหุงสุกแช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภัทรชนก อธิติ. (2541). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวอบกึ่งปรุงรสถึงสำเร็จรูป**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีระ ศรีอริยะกุล. (2549). **อิทธิพลของการพ่นไอน้ำก่อนที่มีต่อการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดซ์เซชันที่ใช้อากาศร้อน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- _____. (2550). **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาต่างประเทศ

- AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17th ed., Virginia. U.S.A.
- Azeez, M.A. and Shafi, D.C. (1966). "Quality in rice". **Dept. Agri. (W. Pakistan) Tech. Bull.** 13: 23.
- Bai-Ngew, S., Therdthai, N. and Dhamvithee, P. (2011). "Characterization of microwave vacuum-dried durian chips". **Journal of Food Engineering**, 104: 114–122.
- Bhattacharya, K.R. and Subba Rao, P.V. (1966). "Effect of Processing Conditions on Quality of Parboiled Rice". **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 14: 476-479.
- Chang, H.C., Huang, Y.C and Hung, W.C. (2003). "Antiproliferative and chemopreventive effects of adlay seed on lung cancer in vitro and in vivo". **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 51(12): 3,656-3,660.
- Chun, K.S., Chiang, W. and Kuo, M.L. (2004). "Effect of adlay on azoxymethane-induced colon carcinogenesis in rats". **Food Chemistry and toxicology**, 42: 1,339-1,347.
- Gacula, M.C. (1993). **Design and analysis of sensory optimization**. Trumbull, Conn., USA: Food & Nutrition Press.
- Giri, S.K. and Prasad, S. (2007). "Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms". **Journal of Food Engineering**, 78: 512–521.
- Hu, Q., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Xiao, G. and Sun, J. (2006). "Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination". **Journal of Food Engineering**, 77: 977–982.
- Hung, W.C. and Chang, H.C. (2003). "Methanolic extract of adlay seed suppresses COX-2 expression of human lung cancer cells via inhibition of gene transcription". **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 51(25): 7,333-7,337.
- Inchuen, S., Narkrugs, W., Pornchaloempong, P., Chanasinchana, P. and Swing, T. (2008). "Microwave and hot-air drying of Thai red curry paste". **Maejo International Journal of Science and Technology**, 1: 38-49.
- Kar, A. and Gupta, D.K. (2003). "Air drying of osmosed button mushrooms". **Journal of Food Science and Technology**, 40(1): 23-27.
- Kato, H., Ohta, T., Tsugita, T. and Hosaka, Y. (1983). "Effect of Parboiling on Texture and Flavor Components of Cooked Rice". **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 31: 818-823.
- Li, J. and Corke, H. (1999). "Physicochemical Properties of Normal and Waxy Job's Tears (*Coix lachryma-jobi* L.) Starch". **Cereal Chemistry**, 76(3): 413-416.

- Ozai-Durrani, A.K. (1948). **Quick-cooking Rice and Process for Making Same**. U.S. Patent. 2,438,939. April 6.
- Parnsakhorn, S. and Noomhorm, A. (2008). “Changes in Physicochemical Properties of Parboiled Brown Rice during Heat Treatment”. **Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal**, Manuscript FP 08 009. Vol. X.
- Swasdisevi, T., Sriariyakula, W., Tia, W. and Soponronnarit, S. (2010). “Effect of pre-steaming on production of partially-parboiled rice using hot-air fluidization technique”. **Journal of Food Engineering**, 96(3): 455-462.
- Therdthai, N. and Zhou, W. (2009). “Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen)”. **Journal of Food Engineering**, 91: 482–489.
- Yu, F., Gao, J., Zeng, Y. and Liu, C.X. (2011). “Effects of adlay seed oil on blood lipids and antioxidant capacity in hyperlipidemic rats”. **Journal of the Science of Food and Agricultural**, 91(10): 1,843-1,848.