บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเหนียวที่มีการเพาะปลูกมากในจังหวัดมหาสารคาม คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ชื่อพระราชทาน “ธัญสิริน” จุดเด่น คือ สามารถต้านทานโรคไหม้ ซึ่งเป็นโรคสำคัญในนาน้ำฝน และเป็นข้าวเหนียวเพียงพันธุ์เดียวที่ได้รับชื่อพระราชทาน นอกจากความสามารถในการต้านทานโรคไหม้แล้ว ข้าวเหนียวพันธุ์ใหม่ยังสามารถต้านทานโรคขอบใบแห้งเพิ่มขึ้น และได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้ต้นเตี้ยลง โดยมีความสูงประมาณ 130 เซนติเมตร ซึ่งเหมาะสมแก่การเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร และยังลดปัญหาต้นข้าวล้ม อีกทั้งความสูงที่ลดลงนี้ ช่วยเพิ่มผลผลิตแก่ต้นข้าวได้มากขึ้นโดยไม่ต้องกังวลว่าข้าวจะล้ม ซึ่งจากการปลูกมา 2 รุ่น ข้าวเหนียวพันธุ์นี้ให้ผลผลิตประมาณ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ประเทศไทยมีการพัฒนาด้านการเกษตรมาจากการเกษตรเพื่อยังชีพเป็นการเกษตรเพื่อการค้าในปัจจุบันและเป็นเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้ให้กับประเทศภาคการผลิตด้านเกษตรกรรมของประเทศไทยยังเน้นการใช้แรงงานและพึ่งพาแหล่งเงินทุนสูง ผลิตภัณฑ์ภาคการเกษตรมาจากสาขาพืชเป็นหลัก คิดเป็นร้อยละ 61.7 พืชที่สำคัญคือ ข้าว ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 35 ของ ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศภาคเกษตร ในปี 2556/57 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 80 ล้านไร่ ผลผลิตข้าวเปลือก ประมาณ 38 ล้านตัน ส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ 6.6 ล้านตัน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) รัฐบาลจึงพยายามผลักดันนโยบายด้านการปรับเปลี่ยนโครงสร้างการผลิตและผลิตภัณฑ์ภาคการเกษตรเริ่มตั้งแต่แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535-2539) มีแผนแม่บทในการพัฒนาโครงสร้างเกษตรกรรมไทย แต่พบว่ายังไม่สามารถแก้ไขปัญหาภาคการเกษตรได้ ตั้งแต่ประสิทธิภาพการผลิต ภาวะราคาผลผลิตตกต่ำภาวะปัญหาสินค้าเกษตรล้นตลาด และปัญหาเนื่องจากภัยธรรมชาติ การพัฒนาพืชเศรษฐกิจคือ “ข้าว” จึงจำเป็นต้องสร้างความแตกต่างและปรับเปลี่ยนโครงสร้างภาคการผลิต เพื่อสร้างความได้เปรียบและสามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ กำหนดแนวทางการพัฒนาและปรับเปลี่ยนโครงสร้างการผลิตข้าวให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของบริบทโลก ดังนั้นการสร้างสรรค์นวัตกรรม (innovation) ต่างๆ เพื่อยกระดับขีดความสามารถ มาตรฐานการผลิตข้าว และพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวบนฐานความรู้ อันจะนำไปสู่การบริหารการจัดการและคุณภาพชีวิตที่ดีสำหรับเกษตรกรไทย รวมไปถึงผู้บริโภค และความเจริญก้าวหน้าของประเทศอย่างยั่งยืนต่อไป (สถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร, 2560)

ในสภาวการณ์วิกฤติศรัทธาของข้าวไทย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการรับจำนำราคาข้าว สารเคมีปนเปื้อนในข้าว รวมถึงการส่งออกข้าว แต่ในอีกด้านหนึ่งยังมีมุมดีๆของข้าวอีกมากมาย เพราะคนไทยมีวิถีชีวิตผูกพันกับข้าวในหลากหลายด้าน อาทิ ทางด้านเศรษฐกิจ ข้าวเป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ที่ทำรายได้เข้าประเทศ ในด้านวัฒนธรรมซึ่งข้าวเป็นจุดกำเนิดของพิธีกรรม และความเชื่อต่างๆ คนไทยได้เรียนรู้ที่จะใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของข้าว เช่น เมล็ดข้าว แกลบ รำข้าว และฟางข้าว มานานแล้ว ซึ่งถือเป็นภูมิปัญญาอันทรงค่าที่สั่งสมและถ่ายทอดกันมายาวนาน ในอดีตคนไทยแปรรูปข้าวเพื่อบริโภคในครัวเรือนเป็นหลัก แต่ในปัจจุบันได้มีผู้ริเริ่มที่จะนำภูมิปัญญาเหล่านี้ มาประยุกต์ให้เป็นการผลิตเพื่อการค้า รวมทั้งได้มีการประดิษฐ์คิดค้นโดยนำข้าวและส่วนต่างๆ ของข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ข้าว (เกษตรพอเพียง, 2560)

จังหวัดมหาสารคาม ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีลักษณะภูมิประเทศที่เอื้อต่อการเกษตรเป็นอย่างยิ่ง ประชากรส่วนใหญ่มีการประกอบอาชีพด้านเกษตรกรรมเป็นหลักการเพาะปลูกข้าวของจังหวัดมหาสารคามในปีหนึ่งๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ฤดูด้วยกัน คือ ฤดูนาปี และฤดูนาปรัง ซึ่งจะสามารถสรุปสถานการณ์พื้นที่ปลูก ผลผลิตต่อพื้นที่ปลูก ต้นทุนการผลิต และราคาข้าวเปลือกที่ชาวนาขายได้ แต่ปัญหาที่ตามมา คือ ราคาข้าวที่ตกต่ำเนื่องจากผลผลิตล้นตลาด ชุมชนขาดองค์ความรู้ในการแปรรูปข้าวสู่ผลิตภัณฑ์ รวมถึงขาดแคลนเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการใช้งานในระดับชุมชนที่จะช่วยลดต้นทุนในการบริหารจัดการ รัฐบาลของไทยตระหนักถึงความสำคัญของการบูรณาการด้านการวิจัยโดยเฉพาะยุทธศาสตร์ด้านการวิจัยข้าว ด้านการรวมกลุ่มเกษตรกรเพื่อสร้างประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจของภาคเกษตรกร รวมถึงระบบการบริหารจัดการผลิตภัณฑ์ข้าวเพื่อยกระดับจากภาคครัวเรือนสู่ผู้ประกอบการขนาดย่อม ข้าวสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้อย่างหลากหลาย ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเมล็ดข้าว กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารหมักดอง และกลุ่มผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผลพลอยได้ของข้าว (จิราภรณ์ กระแสเทพ และคณะ, 2555) ข้าวกล้องงอก หรือข้าวกล้องงอกนึ่ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปจากเมล็ดข้าว เป็นสินค้าที่มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดสูง เพราะมีจุดเด่นหลายประการ อาทิ มีกลิ่นหอม สีสวย อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร เป็นที่ต้องการของตลาด และขายได้ราคาสูงกว่าข้าวขาวเต็มเมล็ดทั่วไป การพัฒนาพืชเศรษฐกิจข้าวจำเป็นต้องสร้างความแตกต่างและปรับเปลี่ยนโครงสร้างภาคการผลิตเพื่อสร้างความได้เปรียบและสามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ กำหนดแนวทางการพัฒนาและปรับเปลี่ยนโครงสร้างการผลิตข้าวให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของบริบทโลก ดังนั้นการสร้างสรรค์นวัตกรรม (innovation) ต่างๆ เพื่อยกระดับขีดความสามารถ มาตรฐานการผลิตข้าว และพัฒนา

ผลิตภัณฑ์ข้าวบนฐานความรู้ อันจะนำไปสู่การบริหารการจัดการและคุณภาพชีวิตที่ดีสำหรับเกษตรกรไทย รวมไปถึงผู้บริโภค และความเจริญก้าวหน้าของประเทศอย่างยั่งยืนต่อไป ในสภาวการณ์วิกฤติศรัทธาของข้าวไทย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการรับจำนำราคาข้าว สารเคมีปนเปื้อนในข้าวรวมถึงการส่งออกข้าว แต่ในอีกด้านหนึ่งยังมีมุมดีๆของข้าวอีกมากมาย เพราะคนไทยมีวิถีชีวิตผูกพันกับข้าวในหลากหลายด้าน รวมทั้งได้มีการประดิษฐ์คิดค้นโดยนำข้าวและส่วนต่างๆ ของข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ข้าว (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) กลุ่มเกษตรกรในจังหวัดมหาสารคามได้รวมกลุ่มขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตข้าวเหนียวแบบเกษตรอินทีย์ งดการใช้สารเคมีในนาข้าว มีการบริหารจัดการหลังการเก็บเกี่ยวในด้านการแปรรูปข้าวเป็นข้าวเพาะงอก โดยอาศัยกรรมวิธีการผลิตที่ได้สืบทอดกันมาจากรุ่นสู่รุ่น สะท้อนภูมิปัญญาด้านการดำรงชีพและการถนอมอาหารเพราะว่าข้าวเพาะแบบงอกทั้งเปลือกจะมีรำข้าวและเส้นใยอาหารอยู่ในเมล็ดข้าวอยู่ครบเนื่องจากผ่านการนึ่งข้าวเปลือกให้สุกก่อนนำไปสีข้าวจึงไม่มีเมล็ดแตกหักเลย ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่น ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาในการผลิตข้าวไม่เพียงพอต่อการบริโภคทั้งปีก่อนที่จะมีข้าวใหม่ออก เกษตรกรอยู่ในภาวะที่ขาดแคลนข้าวเหนียวบริโภคต้องอาศัยธัญพืชอื่นประทังชีวิตไปก่อน เมื่อข้าวในนาออกรวงพัฒนาเมล็ดไปประมาณร้อยละ 70-85 เกษตรกรจะนำมาผลิตข้าวเม่าและเมื่อข้าวพัฒนาเมล็ดไปประมาณร้อยละ 85 ขึ้นไป เกษตรจะนำมาผลิตเป็นข้าวเพาะงอกหรือข้าวฮางงอก เพื่อให้ทันต่อการบริโภคก่อนที่ข้าวจะสุกแก่จุดเด่นของข้าว คือ ข้าวจะหอมเพราะยังมีน้ำนมอยู่ เมล็ดข้าวไม่แตกหัก จมูกข้าวไม่หลุด มีรำข้าวและเส้นใยอาหารยังคงอยู่ในเมล็ดข้าวครบ เมื่อกะเทาะเปลือกออกคุณค่าทางอาหารจึงไม่สูญเสียไป เป็นภูมิปัญญาที่ผลิตขึ้นเองในชุมชน เป็นแหล่งรวมวิตามินที่รักษาเบาหวานและไขมันในเส้นเลือด และรักษาโรคเหน็บชา ข้าวเพาะงอกสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของข้าว ให้อยู่ได้มากกว่าขั้นตอนการสีข้าวโดยทั่วไป มีจุดเด่นคือ เมล็ดข้าวไม่แตกหัก จมูกข้าวไม่หลุด มีรำข้าวและเส้นใยอาหารยังคงอยู่ในเมล็ดข้าวครบ เมื่อกะเทาะเปลือกออกคุณค่าทางอาหารจึงไม่สูญเสีย เป็นภูมิปัญญาที่ผลิตขึ้นเองในชุมชน เป็นแหล่งรวมวิตามินที่รักษาเบาหวานและไขมันในเส้นเลือด และรักษาโรคเหน็บชา เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารและคุณค่าทางด้านโภชนาการ (Wongpornchai *et al*., 2004; Moongngarm and Saetung, 2010; Wichamanee *et al*., 2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารแกมมาอะมิโนบิวทิริก (Gamma aminobutyric acid) เป็นกรดอะมิโนอิสระ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารสื่อนำประสาทในสมอง ช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น ยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง (Oh, 2004) เบาหวาน และช่วยในการควบคุมน้ำหนักตัว เป็นต้น เมื่อนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำเพื่อทำให้งอก จะทำให้ข้าวมีสารอาหารที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ GABA เพิ่มขึ้น ซึ่งนอกจากจะได้ประโยชน์

จากการที่มีปริมาณสารอาหารที่สูงขึ้นแล้ว ยังทำให้ข้าวฮางงอกที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2555) การแปรรูปข้าวงอก ภายหลังการเพาะงอกเพื่อลดความชื้นที่สูงของเมล็ดข้าวยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นการรักษาคุณภาพของข้าวให้ยาวนานขึ้น การอบแห้งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ (Thailand industry, 2555) ในปัจจุบันกระบวนการอบแห้งอาหารระดับอุตสาหกรรมได้มีการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวสำหรับผลิตภัณฑ์การอบแห้ง เทคโนโลยีการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับการอบแห้งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตลอดช่วงความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว (ประมาณ 25-100 μm) จากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบลงบนผิววัสดุ รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวจะทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โดยที่พลังงานการทะลุผ่านของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวซึ่งมีการดูดซับพลังงานรังสีอินฟราเรดในเนื้อวัสดุ ทำให้โมเลกุลในเนื้อวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (ภูมิใจ สอาดโฉม, 2548) ข้อดีของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว คือ รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้สามารถลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งได้ (Wanyo *et al*., 2011) นักวิชาการจำนวนมากให้ความสนใจเทคนิคการอบแห้งดังกล่าวและนิยมนำมาใช้กับการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เพื่อมุ่งสู่การปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีโภชนาการสูง และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ในปัจจุบันสภาวะสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ต้องแข่งขันกับเวลามากขึ้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) การดำเนินชีวิตของบุคคลในสังคมเปลี่ยนไปในลักษณะที่มีความเร่งรีบมากขึ้น โดยเฉพาะในสังคมเมืองใหญ่หรือย่านธุรกิจ ผู้บริโภคจึงหันมานิยมผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถปรุงเองได้สะดวกโดยใช้เวลาไม่มากนักในขณะเดียวกันต้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ข้าวกึ่งสำเร็จรูป ข้าวเสริมสุขภาพสำเร็จรูป และข้าวบรรจุกระป๋องเป็นต้น ข้าวกึ่งสำเร็จรูปจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยประหยัดเวลาในการบริโภคลงได้

ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการแก้ไขปัญหาสภาวะวิกฤตด้านการผลิตข้าวของเกษตรกร จึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีการอบแห้งและเสนอแนวทางการนำพลังงานทดแทนมาใช้ในการพัฒนาชุมชน ตลอดจนการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากในรูปแบบข้าวเหนียวนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป บนพื้นฐานภูมิปัญญาของปราชญ์ชาวบ้านในจังหวัดมหาสารคามให้อยู่ในรูปข้าวกึ่งสำเร็จรูปเพื่อเอื้อต่อการบริโภคและสามารถเลือกซื้อได้ตลอดทั้งปีของกลุ่มผู้บริโภค โดยรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา คือ ข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูป ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน คือ การลดความชื้นในขั้นตอนแรกด้วยเครื่องอบแห้งแบบอากาศร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว และตามด้วยการอบแห้งเครื่องด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ในขั้นตอนที่ 2 เพื่อเป็นการส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพของชุมชนด้านการใช้พลังงานทดแทนสำหรับการแปรรูปข้าวโดยยึดภูมิปัญญาท้องถิ่นจังหวัดมหาสารคาม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาภูมิปัญญาญาปราชญ์ชาวบ้านเกี่ยวกับกระบวนการผลิตข้าวเหนียวนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปพันธุ์ กข6 ภายใต้ชื่อพระราชทาน “ธัญสิริน” เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในระดับชุมชน

2. เพื่อการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์รูปแบบข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ที่ทันสมัยอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะท้องถิ่นและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์จากข้าว

3. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ระดับวิสาหกิจชุมชนให้อยู่บนพื้นฐานปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

4. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารการแปรรูปอาหารโดยการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเพื่อเป็นสินค้า OTOP ของจังหวัดมหาสารคาม

ขอบเขตของการวิจัย

ตัวแปรสำหรับการอบแห้งประกอบด้วย

1. ข้าวที่นำมาศึกษา คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ลักษณะต้นเตี้ย ชื่อพระราชทาน “ธัญสิริน”

2. การเตรียมข้าวเหนียวธัญสิริน เพื่อผลิตเป็นข้าวนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป คือ นำข้าวเปลือกที่อยู่ในระยะพลับพลึง มาเพาะงอก 36 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นบ่มในภาชนะปิด 12 ชั่วโมง จะได้ข้าวเพาะงอก หลังจาก นั้นนำข้าวไปล้างน้ำสะอาด แล้วเข้าสู่กระบวนการนึ่งด้วยหม้อนึ่ง สำหรับนึ่งฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที นำข้าวที่ผ่านการนึ่งราดด้วยน้ำเย็นจัดที่มีช่วงอุณหภูมิ 2-4 องศาเซลเซียส แล้วนำข้าวไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับอากาศร้อนในขั้นตอนแรก อบจนกระทั่งความชื้นลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ อบต่อในขั้นตอนที่ 2 เพื่อรักษาคุณภาพข้าวนึ่งในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้าย 6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง กระบวนการสุดท้าย คือ กะเทาะเปลือกข้าว

3. สภาวะที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบอากาศร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว คือ อุณหภูมิการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส ความเร็วของตัวกลางในการอบแห้ง คือ 3 เมตร/วินาที กำลังของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวในการอบแห้ง คือ 5 กิโลวัตต์/ตารางเมตร

4. สภาวะที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิการอบแห้ง 40-60 องศาเซลเซียส

5. ความชื้นสุดท้ายของข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปอยู่ในช่วง 6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

6. คุณภาพของข้าวเหนียวนึ่งก่อนกระบวนการอบแห้ง ที่ทำการศึกษาได้แก่ สี ลักษณะเนื้อสัมผัส และ การทดสอบทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง

7. คุณภาพของข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปหลังผ่านการคืนรูปในเตาไมโครเวฟ ที่ทำการศึกษาได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัสและการทดสอบทางประสาทสัมผัส

8. สมบัติของข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปที่ทำการศึกษาได้แก่ การคืนตัว โครงสร้างระดับจุลภาค สี ลักษณะเนื้อสัมผัสและการทดสอบทางประสาทสัมผัส

นิยามศัพท์เฉพาะ

ข้าวเหนียวธัญสิริน คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 เมล็ดเรียวยาว ทนทานต่อโรคใบไหม้
ข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูป คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาหุงต้มหรือคืนรูปสั้นๆ ด้วยวิธีที่ไม่ยุ่งยาก สามารถทานได้เมื่อผ่านการให้ความร้อนในระดับ 60 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 2 นาที

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางสำหรับการสร้างมูลค่าเพิ่มของข้าวของเกษตรกรให้สูงขึ้น

2. เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและคงคุณค่าทางโภชนาการและยังสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค

3. เป็นข้อมูลในการถ่ายทอด ส่งเสริม และพัฒนาศักยภาพองค์ความรู้ให้แก่ชุมชนในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อพัฒนาภูมิปัญญาท้องถิ่นตลอดจนสามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนได้

4. เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์หลากหลาย ตรงตามความต้องการ

5. เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นจากระดับผลิตภัณฑ์ครัวเรือนสู่ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ได้

6. ส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพด้านการใช้พลังงานทดแทนในกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง กึ่งสำเร็จรูปและสืบสานภูมิปัญญาของปราชญ์ชาวบ้านของท้องถิ่นในรสชาติอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกนึ่ง ด้วยการอบแห้งที่แตกต่างกันจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีต่างๆ เพื่อสร้างความเข้าใจและแนวทางการศึกษาที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คณะผู้ดำเนินงานวิจัยจึงขอเสนอทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว
2. ข้าวเหนียวพันธุ์ธัญสิริน
3. การเพาะงอกของเมล็ดข้าว
4. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวที่ผ่านกระบวนการแปรรูป
5. กระบวนการผลิตข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูป
6. สารโภชนาการของข้าวเหนียวธัญสิริน
7. ทฤษฎีการอบแห้ง
8. คุณลักษณะทางกายภาพของข้าวเหนียวธัญสิรินแบบกึ่งสำเร็จรูป
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ใน genus *Oryza* เจริญเติบโตได้ดีทั้งเขตร้อนและเขตอบอุ่น ข้าวที่บริโภคกันอยู่ทุกวันนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ *Oryza sativa* L. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย และ *Oryza glabeerima* Steud. มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา แต่เป็นข้าวที่รู้จักยอมรับกันอย่างกว้างขวางและทำการผลิตจำหน่ายเกือบทั้งหมดในท้องตลาด รวมถึงที่ปลูกในประเทศไทย คือ *Oryza sativa* L. (Juliano, 1990) สำหรับ *O. sativa* สามารถแบ่งออกเป็นชนิดย่อยๆ ได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรก คือ อินดิกา (Indica) มีลักษณะเมล็ดยาวเรียว มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ กลุ่มที่สอง คือ จาโปนิกา (Japonica) ลักษณะเมล็ดป้อมสั้น มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออก ในประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี กลุ่มสุดท้าย คือ จาวานิกา (Javanica) ลักษณะเมล็ดอยู่ระหว่างอินดิกากับจาโปนิก มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะชวา ซึ่งมีการปลูกและการใช้บริโภคเฉพาะท้องถิ่นไม่แพร่หลาย สำหรับในประเทศไทยพันธุ์ข้าว

ที่ทางราชการได้รับรองและแนะนำให้เกษตรกรปลูกอย่างกว้างขวางอยู่ในกลุ่มอินดิกา (บริสุทธิ์ สมฤทธิ์, 2537) ประเทศในภูมิภาคเอเชียที่นิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารประจำวันมากกว่าในภูมิภาคอื่นๆ สำหรับประเทศไทยแล้วข้าวเป็นพืชอาหารประจำชาติที่มีตำนานประวัติศาสตร์ที่ยาวนาน ปรากฏเป็นร่องรอยพร้อมกับอารยธรรมไทยมาไม่น้อยกว่า 5,500 ปี ซึ่งมีหลักฐานจากเครื่องปั้นดินเผา เถ้าถ่านในดิน และโบราณวัตถุอื่นๆ เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย โดยนอกจากเป็นอาหารที่มีการบริโภคเป็นหลักของคนไทยแล้วยังเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรไทยที่เป็นผู้ส่งออกข้าวเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยในปี 2554 ซึ่งไทยมีส่วนแบ่งตลาด 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนำรายได้เข้าสู่ประเทศมากกว่าสองแสนล้านบาท (สมาคมโรงสีข้าวไทย, 2555)

1. ลักษณะทั่วไปของข้าว

ลักษณะที่สำคัญของข้าวแบ่งออกได้เป็นลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต และลักษณะที่เกี่ยวกับการขยายพันธุ์ ดังนี้

1.1 ลักษณะที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต

ลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ

1) ราก เป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้ม แต่บางครั้งก็มีรากพิเศษเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่เหนือพื้นดินด้วย ต้นข้าวไม่มีรากแก้ว แต่มีรากฝอยแตกแขนงกระจายแตกแขนงอยู่ใต้ผิวดิน

2) ลำต้น มีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งออกเป็นปล้องๆ โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องนั้นแตกต่างกัน จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ปกติมีประมาณ 20-25 ปล้อง

3) ใบ ต้นข้าวมีใบไว้สำหรับการสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้ง เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเมล็ดของต้นข้าวซึ่งใบจะประกอบด้วยกาบใบและแผ่นใบ (ศูนย์การเรียนรู้การเกษตรตำบลสาคู, 2554)

1.2 ลักษณะพันธุ์ข้าว

สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กล่าวถึง พันธุ์ข้าว ที่ใช้ปลูกในประเทศไทยปัจจุบันสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการเจริญเติบโตของพันธุ์ และแบ่งได้ตามลักษณะของชนิดเนื้อแป้งของเมล็ด ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว เป็นต้น ปัจจุบันการแบ่งตามลักษณะที่เกษตรกรคุ้นเคยเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1) ข้าวนาปี (พันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง) เป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกได้เฉพาะในฤดูฝนหรือที่เกษตรกรเรียกว่า ข้าวนาปี ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีการออกดอกตรงตามฤดูกาลเพราะต้องการช่วงแสงจำเพาะเพื่อการออกดอกไม่ว่าจะปลูกข้าวพันธุ์นั้นเมื่อใด ตัวอย่างเช่น พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

จะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคมของทุกปี ซึ่งไม่ว่าจะปลูกข้าวพันธุ์นี้เมื่อใดก็จะออกดอกในช่วงเดือนตุลาคมเท่านั้น

2) ข้าวนาปรัง (พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง) เป็นพันธุ์ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวค่อนข้างแน่นอน เมื่อมีอายุครบถึงระยะเวลาออกดอกข้าวพันธุ์นั้นจะออกดอกได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยช่วงแสงเป็นตัวกำหนด ทำให้ข้าวชนิดนี้สามารถปลูกได้ตลอดปี แต่เกษตรกรมักจะเรียกว่า ข้าวนาปรัง แม้ว่าจะปลูกได้ทั้งในฤดูนาปีที่อาศัยน้ำฝน และในช่วงฤดูแล้งที่ต้องอาศัยน้ำชลประทาน พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรใช้ปลูกในขณะนี้มีทั้งข้าวพันธุ์พื้นเมือง ข้าวเจ้า และข้าวเหนียวที่ปลูกเพื่อใช้บริโภคในครัวเรือน และพันธุ์ข้าวดีของทางราชการที่ได้รับการรับรองจากกรมวิชาการเกษตร และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกอยู่ทุกวันนี้

2. การจำแนกชนิดข้าว

ชนิดของข้าวสามารถจำแนกได้ตามลักษณะส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้

1) ข้าวเหนียว เมล็ดข้าวสารจะมีลักษณะขุ่น มีอะมิโลสเป็นสัดส่วนประกอบทางเคมีประมาณร้อยละ 0.2 และมีอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ซึ่งทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกจะนุ่มจับตัวติดเหนียวเป็นก้อนได้และมีลักษณะใส มีแป้งอะมิโลสอยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

2) ข้าวเจ้า เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวใส มีปริมาณอะมิโลสเป็นสัดส่วนประกอบทางเคมีประมาณร้อยละ 20-34 ที่เหลือเป็นอะมิโลเพคติน ซึ่งมีผลให้ข้าวสารที่นำไปหุงเป็นข้าวสุกจะมีสีขาวขุ่น มีลักษณะร่วนไม่เกาะติดกัน อัตราส่วนของส่วนประกอบทางเคมีทั้งสองชนิดนี้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณสมบัติการหุงต้มที่ต่างกัน คือ ข้าวที่มีอะมิโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวอะไมโลสต่ำส่งผลให้ข้าวสุกมีลักษณะร่วน ส่วนข้าวที่มีอะไมโลสต่ำจะดูดน้ำ และขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวที่มีอะไมโลสสูง ข้าวจะเหนียวและนุ่มกว่า

3. คุณสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวนั้นมีผลต่อคุณภาพของข้าวทั้งในลักษณะข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร สามารถจำแนกได้ดังนี้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

1) คาร์โบไฮเดรต มีสตาร์ชเป็นหลัก และสตาร์ชนี้ ประกอบด้วยอะมิโลส และอะมิโล-แพกติน ในสัดส่วนต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว ทำให้ข้าวมีลักษณะของการหุงต้มและคุณภาพในการรับประทานต่างกันไปตลอดจนมีผลต่อคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมพลังงาน

2) โปรตีน ในข้าวมีโปรตีนปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และโดยทั่วไปจะมีปริมาณน้อยกว่าในธัญชาติอื่นๆ โปรตีนที่มีในข้าวนี้เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของเมล็ด โดยมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอกจะมีโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ด โปรตีนของข้าวนี้แตกต่างกับธัญชาติอื่นๆ มีปริมาณกลูเทลิน หรือเรียกชื่อว่าออริซานิน ซึ่งเป็นโปรตีนสะสมในปริมาณมากที่สุด และมีปริมาณโพรลามินน้อยที่สุด มีผลต่อลักษณะเฉพาะของโปรตีนข้าว ซึ่งไม่ก่อให้เกิดกลูเทน ดังนั้นข้าวจึงถือได้ว่าเป็นอาหารหลักที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้กลูเทนในผู้บริโภคบางคน จึงเหมาะที่จะเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

3) ไขมัน ในข้าวจะแทรกอยู่ร่วมกับเม็ดสตาร์ช และโปรตีน ในชั้นแอลิวโลน และคัพภะ มีผลให้เกิดการเสื่อมเสียในขณะเก็บรักษาเมล็ด รวมทั้งเมล็ดที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

4) น้ำหรือความชื้นมีผลต่อคุณภาพข้าวในด้านการเก็บรักษา

4. คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าว

คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเป็นคุณสมบัติที่สามารถมองเห็นได้หรือชั่งตวงวัดได้ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) น้ำหนักเมล็ด กำหนดได้ 2 แบบ คือ น้ำหนักต่อปริมาตร หมายถึงการชั่งน้ำหนักข้าวด้วยปริมาตรที่คงที่ เช่น กรัมต่อถัง และแบบที่สองเป็นน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึงการชั่งน้ำหนักข้าวด้วยจำนวนเมล็ดที่คงที่ เช่น กรัมต่อ 100 เมล็ด หรือกรัมต่อ 1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดถือเป็นลักษณะหนึ่งในการจำแนกพันธุ์ข้าว เพราะควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งเป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุดอาจแปรปรวนได้บ้างจากสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของดิน สภาพภูมิอากาศ หรือการใส่ปุ๋ยจากการตรวจสอบพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยประมาณ 334 พันธุ์ พบว่ามีน้ำหนักเมล็ดอยู่ในช่วง 16.20-41.68 กรัมต่อ 1000 เมล็ด (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

2) สีเปลือกของข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าว มีหลายสีตั้งแต่สีขาว น้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม น้ำตาลทอง น้ำตาลแดง ม่วง หรือสีดำ เป็นต้น สำหรับพันธุ์ข้าวของประเทศไทยมีสีเปลือกส่วนใหญ่เป็นสีขาว และสีน้ำตาล พันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีควรมีเปลือกสีอ่อน (สีฟาง หรือสีน้ำตาล) เพราะเปลือกสีเข้ม เมื่อนำไปสีจะได้เปอร์เซ็นต์แกลบสูง (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536; อังคณา เหลืองศิโรรัตน์, 2539)

3) สีข้าวกล้อง เป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นเดียวกับสีเปลือกของข้าวเปลือก ที่ควบคุมโดยยีนส์ (Gene) หลายคู่สร้างสารสีประเภทแอนโทไซยานิน อยู่ในส่วนเยื่อหุ้มผล (Pericarp) มีสีต่างๆ กัน เช่น ขาว แดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงถึงม่วงเกือบดำ และบางพันธุ์เป็นพันธุ์เฉพาะที่ผู้บริโภคนิยมเป็นข้าวพิเศษ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวกล้องสีปกติ ซึ่งประเทศไทยพบพันธุ์ข้าวที่ให้สีข้าวกล้องจัดกลุ่มได้ 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ (ม่วงดำ) คุณภาพข้าวกล้องที่เกี่ยวข้องกับสีจึงขึ้นอยู่กับกลุ่มบริโภค

ซึ่งถ้าผู้บริโภคชอบบริโภคข้าวขัดขาว ทำให้ข้าวกล้องต้องมีสีขาวด้วยเพื่อให้ไม่ต้องใช้แรงในการขัดสีมาก และข้าวไม่หักมาก แต่ถ้าผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวกล้อง โดยเฉพาะข้าวกล้องสีเข้มเพราะให้คุณค่าทางอาหารมากกว่าข้าวขัดขาวก็ไม่ต้องขัดสีของข้าวกล้องออกไป (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536; อังคณา เหลืองศิโรรัตน์, 2539)

4) ขนาดและรูปร่าง ลักษณะประจำพันธุ์ เพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว และใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขายข้าวของประเทศไทย จะแตกต่างไปตามสภาพภูมิประเทศภูมิอากาศ และวิธีการเพาะปลูก รูปร่างของเมล็ดเป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา เมล็ดข้าวสามารถจำแนกตามความยาวของเมล็ดได้ 4 ขนาดคือ เมล็ดยาวมาก (มากกว่า 7.50 มิลลิเมตร) เมล็ดยาว (6.61-7.50 มิลลิเมตร) เมล็ดยาวปานกลาง (5.50-6.60 มิลลิเมตร) และเมล็ดสั้น (5.50 มิลลิเมตร) รูปร่างของเมล็ดจะประเมินจากอัตราส่วนความยาวกับความกว้าง ซึ่งแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ เมล็ดเรียว (มีอัตราส่วนความยาวกับความกว้างมากกว่า 1:3) เมล็ดปานกลาง (มีอัตราส่วนระหว่าง 2.1:3) และเมล็ดป้อม (มีอัตราส่วนน้อยกว่า 1:2) ส่วนความยาวของเมล็ดข้าวจะเป็นความยาวที่วัดจากเมล็ดข้าวกล้อง

5) ลักษณะท้องไข่ (Chalkiness) เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการทำให้ข้าวดูไม่สวยงาม และมีคุณภาพในการขัดสีต่ำ ท้องไข่ในเมล็ด เป็นจุดขาวขุ่นคล้ายชอล์ค เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อชั้นแป้งของเมล็ดแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

5.1 ท้องไข่ที่เกิดขึ้นตรงกลางของชั้นแป้ง

5.2 ท้องไข่ที่เกิดขึ้นด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ดด้านเดียวกับเยื่อเจริญ

5.3 ท้องไข่ที่เกิดขึ้นด้านหลังของเมล็ด ด้านตรงข้ามกับเยื่อเจริญ

6) ความเลื่อมมันของเมล็ด เป็นปัจจัยที่ใช้ประเมินคุณภาพ และราคาข้าว เนื่องจากข้าวกล้องที่มีความเลื่อมมันดี เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวไม่หัก ได้ข้าวเต็มเมล็ดมาก ข้าวหักน้อย ลักษณะความเลื่อมมันของเมล็ดเป็นผลจากการปฏิบัติดูแลรักษาข้าว ขณะปลูกเป็นอย่างดี (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

7) ความขาวของข้าวสาร เมื่อนำข้าวกล้องไปขัดขาวจนได้ข้าวสารซึ่งมีสีขาวเสมอ แต่อาจจะมีความขาวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับการขัดสี ถ้าขัดสีน้อย จะมีสีคล้ำกว่าเมื่อขัดสีมาก เพราะยังมีส่วนของรำติดอยู่ที่ผิวของเมล็ดข้าว สำหรับข้าวเปลือกที่เก็บไว้นาน ถ้านำไปสีจะได้ข้าวสารสีคล้ำกว่าข้าวเปลือกที่เกี่ยวใหม่ ดังนั้นความขาวของข้าวสารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของข้าว (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

8) ความใสของเมล็ด เป็นลักษณะความโปร่งแสง โดยแสงส่องผ่านได้ทั้งเมล็ดข้าว ต่างจากข้าวท้องไข่ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะจุด ในข้าวเจ้าบางสายพันธุ์หรือแม้แต่พันธุ์เดียวกันจะมีความใส หรือขุ่น

ต่างกันขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมที่ปลูก ในขณะทั่วไปข้าวเหนียวจะมีความทึบแสง (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

2.2 ข้าวเหนียวพันธุ์ธัญสิริน

ข้าวเหนียวพันธุ์ธัญสิรินเป็นข้าวที่ได้รับพระราชทานนามจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2553 เป็นข้าว กข 6 ที่ได้ปรับปรุงสายพันธุ์โดย ดร.ธีรยุทธ ตู้จินดา จากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกรมการข้าว ให้มีความต้านทานโรคไหม้ เหมาะที่จะปลูกในพื้นที่นาน้ำฝนในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ แตกกอดี ลำต้นแข็งแรง ไม่หักล้มง่าย สามารถต้านทานโรคขอบใบแห้งเพิ่มขึ้น คุณภาพการหุงต้มอยู่ในระดับดี ข้าวมีความอ่อนเหนียวนุ่ม ข้าวสุกเมื่อเย็นยังคงความนิ่ม และเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค (กองส่งเสริมวิศวกรรมเกษตร, 2552)

ลักษณะประจำพันธุ์ข้าวธัญสิริน คือ ต้านทานโรคไหม้ ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้เฉพาะนาปี ความสูงประมาณ 155 เซนติเมตร ใบยาวเขียวเข้ม ลำต้นแข็งแรงกว่าพันธุ์ กข 6 จำนวนรวงต่อกอประมาณ 10 รวง อายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน ช่วงปลูกที่เหมาะสมเดือน กรกฎาคม-สิงหาคม ผลผลิตประมาณ 600 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวเปลือกสีน้ำตาลคล้ายพันธุ์ กข 6 ขนาดเมล็ดเท่ากับ 2.2×6.9×1.7 มิลลิเมตร (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะพันธุ์ข้าวเหนียวธัญสิริน
ที่มา : สรินกานต์วูด. (2561)

2.3 การเพาะงอกของเมล็ดข้าว

การงอก (Germination) หมายถึง การเกิดกระบวนการต่างๆ ในเมล็ดที่มีชีวิต (Viable seed) ที่แห้งที่อยู่ในสภาวะสงบนิ่ง (Resting หรือ Quiescent stage) แล้วได้รับปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอกกระตุ้นทำให้รากอ่อนแทงทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมา การงอกของเล็ดพืชต้องอาศัยปัจจัยดังนี้ (เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2542)

1. น้ำ หรือความชื้น เป็นสิ่งแรกที่เมล็ดต้องการสำหรับการงอก โดยกระบวนการแรก คือ การดูดน้ำ โดยน้ำถูกนำไปใช้ในการละลายโปรโตพลาสซึมและเพื่อช่วยในการย่อยสลายสารประกอบเคมีโมเลกุลใหญ่ๆ ในเมล็ดให้เล็กลง เพื่อขนย้ายไปยังจุดเจริญเติบโตและช่วยให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม อีกทั้งความชื้นสูงจะทำให้ออกซิเจนแพร่เข้าสู่เมล็ดมากขึ้น ทำให้มีการหายใจมากขึ้น ช่วยให้เอนไซม์และกิจกรรมต่างๆ มีเมตาบอลิซึมสูงขึ้น เป็นพาหะและช่วยในการขนย้ายถ่ายเทสารเคมีและสารอาหารเพื่อลำเลียงไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป ซึ่งความชื้นของเมล็ดข้าวนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2.1

2. อากาศ เมื่อเมล็ดอยู่ในระหว่างการงอกนั้นเมล็ดจะมีการหายใจที่ต่ำมาก จึงต้องการที่จะให้ออกซิเจนช่วยในกระบวนการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในการแบ่งเซลล์และเจริญเติบโต เมล็ดพืชสามารถงอกได้เมื่อมีออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ หากมีปริมาณออกซิเจนต่ำเมล็ดจะไม่เกิดการงอก หากออกซิเจนมีปริมาณสูงขึ้น อัตราการงอกก็จะสูงขึ้น โดยทั่วไปเมล็ดที่ไม่งอกและได้รับออกซิเจนต่ำรวมทั้งการแช่น้ำที่นานเกินไปจะเกิดการเสียหายหรือการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ดังนั้นจะต้องควบคุมไม่ให้น้ำมากเกินไป

3. อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามพันธุ์ชนิด ความเก่าใหม่ของเมล็ด คุณภาพ และสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ อุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้เอนไซม์ทำงานได้ดี และเมล็ดจะงอกได้ดีที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำทำให้ปฏิกิริยาภายในเมล็ดลดลง เนื่องจากเมล็ดต้องการอุณหภูมิที่อบอุ่นเพื่อเพิ่มปฏิกิริยาภายในเมล็ดส่งผลให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

4. แสง แสงมีความจำเป็นสำหรับการงอกของเมล็ดพืชบางชนิดเท่านั้น โดยที่พืชสำคัญทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องใช้แสงสำหรับการงอก แต่มีพืชบางชนิดที่ต้องการแสงในการงอก เช่น พืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีปลอกหุ้มยอดอ่อน

ตารางที่ 2.1 ปริมาณความชื้นที่เมล็ดพืชต้องการสำหรับการงอก

เมล็ดพืช	ความชื้นที่ต้องการ (%)
ข้าว *(Oryza sativa)*	32-35
ข้าวโอ๊ต *(Avena sativa)*	32-36
ข้าวโพด (Zea mays)	30
ละหุ่ง *(Ricinus communis)*	32-36
ถั่วเหลือง *(Glycine max.)*	50
ฝ้าย *(Gossypium spp.)*	50-55
ถั่วลิสง *(Arachis hypogaea)*	50-55
ข้าวสาลี *(Triticum aestivum)*	69

ที่มา : (เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2542)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวที่ผ่านกระบวนการแปรรูป

หลักการในการยืดอายุการเก็บและการแปรรูปอาหารคือ การยับยั้งหรือชะลอการเสื่อมเสีย เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ ปริมาณน้ำในอาหาร ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องควบคุมในกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา เพื่อให้อาหารมีอายุการเก็บหรือใช้ประโยชน์ได้นานขึ้น โดยปกติแล้วอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปจะมีคุณภาพแตกต่างจากวัตถุดิบทั้งทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส ทางด้านกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาด น้ำหนัก รูปร่าง เนื้อสัมผัส ทางด้านเคมี เช่น มีคุณค่าทางอาหารลดลง เกิดการเปลี่ยนสีและกลิ่นรส ทางด้านจุลินทรีย์ เช่น มีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคลดลง หรือมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์จำนวนมากขึ้น สำหรับด้านประสาทสัมผัส เช่น มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีกลิ่นหอม สีสวย เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพต่างๆเหล่านี้อาจเป็นที่ต้องการหรือไม่ต้องการของผู้บริโภค การแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บของอาหาร หรือการทำผลิตภัณฑ์ใหม่จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพตั้งแต่วัตถุดิบ กระบวนการแปรรูปและบรรจุภัณฑ์ มีการขนส่งและจัดจำหน่ายอย่างเหมาะสม เพื่อให้อาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้วมีคุณภาพเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค คุณภาพทางเคมีและเคมีกายภาพของข้าวไม่สามารถประเมินได้ด้วยตาเปล่า แต่เป็นสมบัติที่

สำคัญและมีความเกี่ยวข้องกับการหุงต้มและลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกมากที่สุด (Tan & Corke, 2002) ซึ่งลักษณะทางกายภาพไม่สามารถบอกคุณภาพทางการหุงต้มได้แน่ชัด (Mestres *et al*., 2011) อย่างไรก็ตามสามารถประเมินคุณสมบัติด้านนี้ด้วยการวิเคราะห์ทางเคมี เช่น การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (Juliano, 1971) การประเมินสมบัติทางเคมีกายภาพโดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ เช่น สมบัติด้านความหนืดโดยใช้เครื่อง Rapid Visco-Analyser และสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์การเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งข้าว (Normand & Marshall, 1989)

2.4.1 คุณภาพด้านการหุงต้ม

คุณภาพของข้าวหุงสุกมีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ละมุล วิเศษ (2555) ได้กล่าวว่า คุณภาพด้านการหุงต้มนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้คุณภาพด้านการหุงต้มแตกต่างกัน ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี การอบแห้งข้าวเปลือก ระยะเวลาในการเก็บรักษา และระดับการขัดสีเพื่อแยกชั้นรำออกจากข้าวสาร ซึ่งในแต่ละปัจจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1.1 องค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่แตกต่างกันเนื่องจากพันธุ์ข้าว สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยวและกระบวนการแปรรูปเป็นข้าวสาร ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าว โดยองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ มีดังนี้

1.1.1 ปริมาณอะมิโลส (Apparent amylase content) ข้าวมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวอะมิโลสต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2545) และเมื่อสุกจะได้ข้าวในลักษณะที่เรียกว่าหุงขึ้นหม้อ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุกจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนอะมิโล-เพกติน

1.1.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) แม้ปริมาณอะมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ในระหว่างข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน (งามชื่น คงเสรี, 2546) ซึ่งค่าคงตัวของแป้งสุกสามารถใช้แบ่งประเภทข้าวได้

1.1.3 อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล และลักษณะจากทึบแสงเป็นโปร่งแสง อุณหภูมิแป้งสุกมีจะความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม โดยทั่วไปการหุงต้มข้าวจะใช้เวลา 14-24 นาที ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกนั้นสามารถคาดคะเนได้โดยดูจากการทดสอบค่าการสลายเมล็ดในด่าง โดยการแช่เมล็ดข้าวสารในสารละลาย KOH ความเข้มข้น 1.7 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลานาน 23 ชั่วโมง และใช้ค่าการละลายของเมล็ดที่ปรากฏมาประมาณระดับอุณหภูมิแป้งสุก

1.1.4 อัตราการยืดตัวของข้าวสุกต่อข้าวดิบ (Elongation ratio) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบโดยเฉพาะด้านยาว ข้าวบางพันธุ์สามารถยืดตัวได้มาก การที่เมล็ดข้าวขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่นและช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น คุณสมบัตินี้ช่วยเสริมให้ข้าวนั้นหุงขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

1.2 อุณหภูมิในการอบแห้ง กระบวนการอบแห้งนอกจากเป็นการลดความชื้นของข้าวแล้วยังสามารถปรับปรุงคุณภาพข้าวโดยเร่งให้มีลักษณะคล้ายข้าวเก่าได้โดยเฉพาะ การช่วยให้เมล็ดข้าวมีอัตราการยืดตัวเพิ่มขึ้น ในระหว่างการหุงต้ม ซึ่งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเมื่อนำมาอบแห้งด้วยอุณหภูมิของลมร้อนที่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ข้าวเกิดการเจลาติไนเซชันบางส่วน ทำให้เกิดการหลอมของเม็ดแป้งสามารถประสานรอยร้าวในเมล็ดได้ เมื่อเมล็ดข้าวเย็นตัวลงโครงสร้างภายในของแป้งจึงจับตัวกันแน่นขึ้น ข้าวที่ผ่านการอบแห้งจะใช้ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น การดูดซับน้ำและอัตราการยืดตัวของข้าวสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ก็จะลด เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งส่งผลให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยผนังเซลล์ของเมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้นและมีลักษณะเป็น Hexagonal ที่มีลักษณะโปร่งและไม่อัดแน่น จึงสามารถดูดซับน้ำได้ดี

1.3 ระยะเวลาในการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงจากข้าวใหม่กลายเป็นข้าวเก่าเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกันระหว่าง แป้ง โปรตีน และไขมัน (Juliano, 1985; Zhou *et al*., 2002) การเปลี่ยนแปลงเป็นข้าวเก่าจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับสภาพการเก็บรักษา หากเก็บในที่อุณหภูมิสูงข้าวจะกลายเป็นข้าวเก่าเร็วขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มของเมล็ดข้าวและคุณภาพของข้าวสุก กล่าวคือ ข้าวเก่าเมื่อนำมาหุงเป็นข้าวสวย ข้าวสุกจะร่วนและแข็งมากขึ้นหรือเหนียวเกาะติดกันน้อยลง และมีผลทำให้ข้าวสุกมีการขยายปริมาตรได้มากขึ้น (งามชื่น คงเสรี, 2546) นอกจากนี้ยังพบว่าในระหว่างการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิการเก็บรักษาสูงขึ้นมีผลต่อค่าการดูดซับน้ำและอัตราการยืดตัวของข้าวเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น พัสกร เจียตระกูล และคณะ (2546) รายงานว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 10 และ15 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เมื่อนำมาทดสอบระยะเวลาในการหุงต้มพบว่าระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น โดยการเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาในการหุงต้มนานกว่าการเก็บที่ 15 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

1.4 ระดับการขัดสี หมายถึง ร้อยละของชั้นรำที่ถูกกำจัดออกไป ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการขัดสี เมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ในเมล็ดข้าวมีปริมาณน้อยลง ซึ่งปริมาณไขมันที่อยู่ในชั้นรำเป็นตัวขัดขวางการซึมน้ำในระหว่างการหุงต้ม ข้าวที่มีการกำจัดชั้นรำออกไปมากจะใช้ระยะเวลาในการหุงต้มเร็วขึ้น ซึ่งในแต่ละพันธุ์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดัชนีการหุงต้มในข้าวแต่ละพันธุ์ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้น ซึ่งดัชนีการหุงต้มที่ดีควรมีค่าการอุ้มน้ำของข้าวสุก การยืดตัวและการขยายปริมาตรของข้าวสุกที่สูง แต่ระยะเวลาในการหุงต้มต่ำ ระดับการขัดสีที่เหมาะสมควรพิจารณาจากทั้งคุณค่าทางอาหาร คุณภาพ และความชอบในการบริโภครวมถึงผลกำไรของผู้ผลิต ซึ่งระดับการขัดสีที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียวนุ่มเพิ่มขึ้น ความแข็งของข้าวสุกลดลงและคุณค่าทางอาหารลดลง (Park *et al*., 2001; Lamberts *et al*., 2007; Liu *et al*., 2009) ในขณะเดียวกันปริมาณรำที่ถูกขัดออกเพิ่มขึ้นทำให้การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น (Liang *et al*., 2008)

เมื่อพิจารณาในด้านของพลังงานที่ใช้นั้นพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับการขัดสีแต่พลังงานที่ใช้ในการหุงต้มมีค่าลดน้อยลง (Roy *et al*., 2008)

1.5 การประเมินคุณภาพการหุงต้ม ปัจจัยที่ทำให้ข้าวสายพันธุ์ต่างๆ นั้นมีคุณภาพของข้าวหุงสุกแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆ อย่าง ซึ่งการประเมินคุณภาพทางด้านการหุงต้ม ได้แก่ ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time) ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำข้าวสุก (Solid loss) อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าว (Elongation ratio) การอุ้มน้ำของข้าวสุก (Water uptake) การขยายปริมาตรของข้าวสุก (Volume Expansion) (Juliano, 1985) Guraj & Kumar (2003) ได้รายงานว่า ลักษณะของข้าวหุงสุกที่ดีนั้นควรมีการอุ้มน้ำของข้าวสุก การยืดตัวและการขยายปริมาตรของข้าวสุกสูง หรือที่เรียกว่า ข้าวหุงขึ้นหม้อ

2.5 กระบวนการผลิตข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูป

โดยก่อนการบริโภคจะทำการหุงต้มหรือคืนรูปโดยใช้เวลาสั้นๆ ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการคืนรูปจะยังคงมีรสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัส ใกล้เคียงกับข้าวที่หุงสุกโดยทั่วไป และสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน ซึ่งขั้นตอนการแปรรูปค่อนข้างมีวิธีการที่หลากหลายโดย งามชื่น คงเสรี (2546) ได้รวบรวมข้อมูลไว้ดังนี้

1) การแช่น้ำ-ต้ม-นึ่ง-อบแห้ง (Soak-boil-steam-dry) แช่ข้าวให้มีความชื้นอยู่ที่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ต้มในน้ำเดือดจนความชื้น 50-60 เปอร์เซ็นต์ แล้วต้มหรือนึ่งต่อไปให้มีความชื้น 60-70 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงทำการลดความชื้นอย่างระมัดระวังเพื่อรักษารูพรุนของเมล็ดไว้

2) การทำให้ข้าวขยายตัว (Expanded and pre-gelatinize rice) แช่ข้าวสารแล้วนึ่ง หรือต้มที่ความดันสูงจนข้าวสุกแล้วจึงลดความชื้น จะได้เมล็ดใส แกร่ง หลังจากนั้นจึงทำให้เมล็ดพอง (Puffed) โดยใช้ความร้อนสูง

3) การเตรียมข้าวด้วยการรีดหรือตำ (Rodling or bumping treatment) ต้มข้าวให้สุกแล้วตำหรือผ่านลูกกลิ้งให้เมล็ดแบนก่อนลดความชื้น

4) การเตรียมข้าวด้วยการผ่านลมร้อนขณะแห้ง (Dry heat treatment) ใช้ลมร้อนเป่าข้าวที่อุณหภูมิ 65-82 องศาเซลเซียส นาน 10-13 นาที หรือ 272 องศาเซลเซียส นาน 18 วินาที เพื่อให้เมล็ดข้าวนั้นเกิดรอยร้าว และขยายตัวเพื่อช่วยลดระยะเวลาหุงต้ม

5) การเตรียมข้าวด้วยการแช่แข็งแล้วละลายน้ำแข็ง (Freeze-thaw process) ต้มข้าวให้สุกแล้วนำไปแช่แข็ง ละลายน้ำแข็งแล้วจึงลดความชื้น

6) การทำให้ข้าวพองตัว (Gun puffing) เพิ่มความชื้นเมล็ดข้าวให้อยู่ในระดับ 20-22 เปอร์เซ็นต์ แล้วนึ่งในหม้อความดันสูง (Retort) ที่ 3.5-5.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร นาน 5-10 นาที แล้วทำให้เมล็ดข้าวพองโดยลดความดันลงอยู่ในระดับบรรยากาศหรือต่ำกว่าสภาพที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้น 20-25 เปอร์เซ็นต์

7) การทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) แช่แข็งข้าวสุก แล้วทำให้น้ำระเหิดหายไปในสภาพอุณหภูมิต่ำ (Freeze-dry)

8) การเตรียมข้าวด้วยการใช้สารเคมี (Chemical treatment) ก่อนผ่านขบวนการอื่นที่ลดการเกาะตัวระหว่างเมล็ดข้าวสุกโดยแช่ในสารละลาย เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมฟอสเฟตหรือสารซัลเฟต ที่อยู่ในระดับ Food Grade

2.5.1 ลักษณะของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

ข้าวกึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปชนิดหนึ่ง โดยคุณลักษณะที่สำคัญของข้าวกึ่งสำเร็จรูป ได้แก่

1) ผลิตภัณฑ์ควรแห้ง ความชื้นประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

2) รูปร่างเมล็ดสมบูรณ์ไม่แตกหักจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

3) มีค่าความหนาแน่นรวม ประมาณ 0.4-0.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำจะมีความพรุนมากสามารถคืนรูปได้อย่างรวดเร็ว (Meullent *et al*., 2000)

4) ผลิตภัณฑ์ที่คืนรูปแล้ว มีเนื้อสัมผัส กลิ่น สี ใกล้เคียงกับข้าวหุงสุกด้วยวิธีธรรมดา

5) มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสม

มีรายงานการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงรูปแบบและวิธีการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป มาโดยตลอด โดยมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น เพื่อเพิ่มปริมาณการบริโภค ลดเวลาในการประกอบอาหาร หรือเพื่อพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่ให้ความสะดวก โดยทั่วไปกระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีกระบวนการผลิต ดังนี้

การแช่ข้าว-ต้ม-ทำแห้ง (The soak-boil-steam dry methods) กระบวนการนี้เป็นวิธีแรกที่ใช้ในการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป ตามวิธีของ Ozari-durrani ค.ศ. 1984 ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การแช่ข้าวสาร การให้ความร้อนเพื่อทำให้สุก และการทำแห้ง วิธีการนี้ถูกนำมาพัฒนาปรับปรุงต่อในหลายวิธี เช่น การพยายามทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยร้าวมากขึ้น ส่งผลให้ไอน้ำแทรกซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดข้าวได้ง่ายขึ้น (Samual *et al*., 1991) ข้อดี คือ ช่วยลดเวลาในการหุงต้ม การแช่ข้าว (Soaking) โดยทั่วไปการแช่จะทำให้เมล็ดข้าวดูดน้ำจนมีความชื้นประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ การที่ข้าวจะดูดซึมน้ำได้มากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิของน้ำในการแช่ ทั้งนี้การแช่อาจแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การแช่โดยใช้ความร้อนและการแช่โดยไม่ใช้ความร้อน ในระหว่างการแช่อาจมีการเติมสารเคมีโดยมีจุดประสงค์ คือ เพื่อปรับโครงสร้างของโปรตีนโดยการลดหรือทำลายโครงสร้างโปรตีน เพื่อให้ข้าวดูดน้ำได้มากขึ้น สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ Disodium Phosphate, Sodium Tipolyphosphate และ Calcium Citrate

Robert *et al*. (1952) ได้พัฒนากระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยทำการแช่ข้าวสารในน้ำที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงหุงด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 1-3 นาที จนกระทั่งความชื้นประมาณ 45-55 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก หลังจากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เพื่อต้องการลดความชื้นจากบริเวณผิวให้เร็วกว่าที่ดูดซึมจากข้างใน ทำให้เกิดลักษณะขอบแข็ง โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 1-3 นาที เพื่อป้องกันการไหม้ของเมล็ดข้าว และขั้นตอนที่สองอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเหลือ 10-15 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถคืนรูปได้ในเวลา 5 นาที

การทำแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปอาจทำแห้งได้ 2 วิธี ได้แก่

1. การทำแห้งในขั้นตอนเดียว เป็นการทำแห้งที่ใช้ความร้อนไม่สูงมากประมาณ 70 องศาเซลเซียส แต่ใช้ระยะเวลานานประมาณ 2-3 ชั่วโมง

2. การทำแห้งแบบหลายขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการใช้ความร้อนสูง ภายในระยะเวลาอันสั้นเพื่อให้โครงสร้างอยู่ตัว อาจเกิด Case hardening ภายในเมล็ดข้าวจะเกิดรูพรุนขนาดใหญ่แล้วจึงตามด้วยการใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างอยู่ตัวโดยที่ข้าวไม่ไหม้ (งามชื่น คงเสรี, 2545)

2.7 ทฤษฎีการอบแห้ง

2.7.1 ความหมายของการอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) เป็นกระบวนการแปรสภาพของเหลว ของเหลวกึ่งของแข็ง หรือแม้กระทั่งของแข็ง ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของของแข็งโดยการระเหยเอาของเหลว (ซึ่งโดยกรณีส่วนใหญ่ คือ น้ำ แต่บางกรณีอาจเป็นตัวทำละลายอื่นๆ) ส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดออกไปจากวัสดุโดยการให้ความร้อน วัตถุประสงค์ของการอบแห้งคือ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร) เนื่องจากกระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลให้จุลินทรีย์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียไม่สามารถเจริญได้ เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ก็ยังมีอัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate of reaction) ที่ต่ำลงมากเมื่อปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง การอบแห้งยังช่วยลดค่าใช่จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และในบางกรณี การผลิตไม่อาจเกิดขึ้นได้หากไม่มีกระบวนการอบแห้ง (สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา, 2555)

2.7.2 กลไกการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นวัสดุ จนถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เพื่อทำให้วัสดุมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาด้วยการถ่ายเทความร้อน และมวลสารไปพร้อมๆ กัน โดยทั่วไปแล้วการอบแห้งใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกไปจากวัสดุ ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร ขนาด รูปร่าง ตำแหน่งอาหารในเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศร้อน ด้วยเหตุนี้ปรากฏการณ์หลักที่เกิดขึ้นกับการอบแห้งด้วยลมร้อนคือ การถ่ายเทความร้อน และมวลสารระหว่างวัสดุ และของไหล โดยอาศัยแรงขับจากความต่างศักย์ของอุณหภูมิและความชื้น กล่าวคือ ความร้อนสัมผัสจากของไหลจะถูกถ่ายเทสู่วัสดุทำให้ความชื้นระเหยออกไปกับอากาศในขณะเดียวกันไอน้ำก็จะเคลื่อนที่จากผิวหน้าวัสดุไปยังอากาศด้วยความเข้มข้นของความชื้นด้วย การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากวัสดุนั้นมีอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ การเคลื่อนที่ด้วยแรง Capillary (Capillary Flow Mechanism) และแบบการแพร่ (Diffusion Mechanism) การเคลื่อนที่ด้วยแรง Capillary จะเกิดกับวัสดุที่มีเซลล์โปร่ง ความพรุนสูงและมีความต่อเนื่องระหว่างเซลล์โดยมักจะเกิดขึ้นในช่วงต้นของการอบแห้ง อุณหภูมิที่ผิววัตถุช่วงนี้จึงคงที่ และการเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ (Diffusion) ผ่านเซลล์จะเกิดกับวัสดุที่มีเนื้อแน่นไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์หรือเกิดกับวัสดุที่ผ่านการอบแห้งไประยะหนึ่งความร้อนที่เหลือจากการระเหยน้ำจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวอาหารสูงขึ้นเซลล์เกิดการหดตัวทำให้แรง Capillary หมดไปน้ำจึงต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุจะมีผลต่ออัตราการอบแห้ง (Drying Rate)

2.7.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากวัสดุหรืออาหาร ปัจจัยใดๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่ออัตราเร็วการอบแห้ง ได้แก่ (งามชื่น คงเสรี, 2545)

1) ธรรมชาติของอาหาร อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะ กีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึงทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2) ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกัน การระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศ จึงเกิดการแห้งได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3) ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4) ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือได้รับความร้อนจากถาดแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5) ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่จำนวนมากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อยจึงมีผลในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

6) อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมินั้นเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงด้วย

7) ความเร็วของอากาศร้อน ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสกับอาหารได้ดีขึ้น

8) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการระเหยน้ำปริมาณ ความชื้นสุดท้ายในผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำมีผลทำให้การทำแห้งใช้ระยะเวลาสั้นลง

2.7.4 ปริมาณความชื้น

ความชื้น (Moisture Content) เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารหรือวัสดุเป็นสมบัติที่สำคัญ เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งกระทบต่ออายุการวางจำหน่าย อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย เนื่องจากมีสภาวะเหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค และการสร้างสารพิษ (Toxin) ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำความร้อน (Thermal conductivity) ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ เนื้อสัมผัส (Texture) เช่น ความกรอบ ความหนืด (Viscosity) การเกาะติดกันเป็นก้อน (Caking) เป็นต้น ซึ่งความชื้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา

2.7.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้น

เปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็นตัววัดระดับความชื้นในพืชผล นอกจากนี้ยังเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของพืช และยังเป็นพื้นฐานในการกำหนดราคาตามท้องตลาด มาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความชื้นแบ่งได้เป็น 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐานเปียก (Wet Basis) และมาตรฐานแห้ง (Dry Basis) ซึ่งเป็นการแสดงปริมาณของน้ำที่มีอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง โดยทั่วไปแล้วปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุจะถูกนิยามในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลแห้ง

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \left(\frac{w - d}{w}\right) \times 100 \quad \text{..... (2.1)}$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \left(\frac{w - d}{d}\right) \times 100 \quad \text{..... (2.2)}$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

w คือ มวลของวัสดุเปียก (กิโลกรัม)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (กิโลกรัม)

ความชื้นมาตรฐานแห้งนิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎีเนื่องจากช่วยทำให้การคำนวณสะดวกขึ้น เพราะมวลแห้งของวัสดุจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่ว่าเกือบคงที่นี้ เพราะผลผลิตทางการเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหารทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

2.8 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งผลผลิตโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้น้ำระเหยจากผลิตผลซึ่งจะอาศัยการพาความร้อน โดยที่การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะเสียต้นทุนด้านพลังงานน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดอื่นๆ (ดรุณี เอ็ดเวิร์ดส์, 2532) เนื่องจากประเทศไทยอยู่บริเวณศูนย์สูตร ซึ่งมีศักยภาพด้านการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 18.2 MJ/m^2 -day และสืบเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม พืชผลทางการเกษตรมากมาย ส่วนหนึ่งก็จำหน่ายในรูปของสด และบางส่วนก็ทำการอบแห้ง หรือตากแห้ง เพื่อเพิ่มมูลค่า ยืดอายุการจัดเก็บ หรือความสะดวกต่อการขนส่ง
นักวิจัยคนแรกที่เสนอแนวคิดเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ คือ อิสไมโลวา (Ismailova, 1957) จากประเทศสหภาพโซเวียต เขาได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานรังสี
อาทิตย์ 3 แบบ ได้แก่

1) แบบที่รังสีอาทิตย์ตกกระทบผลิตผลที่ต้องการอบแห้งโดยตรง

2) แบบใช้ลมร้อนจากตัวทำลมร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ (Solar air heater)

3) แบบที่ใช้ทั้งพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผลิตผลโดยตรงและใช้ลมร้อนจากตัวทำลมร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ร่วมกัน (เสริม จันทร์ฉาย. 2017)

ทเนจ นาคปนคำ และคณะ (2550) ได้ศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อน ระบบประกอบด้วยแผงรับรังสีสุริยะแบบแผ่นราบขนาด 2.64 ตารางเมตรและระบบ กักเก็บพลังงานความร้อนขนาด 0.352 ลูกบาศก์เมตร บรรจุหินแกรนิตปริมาณ 75

กิโลกรัม ใช้น้ำมัน BP 36 เป็นสารทำงานในระบบ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 สภาวะ คือ 1) กลางวัน (6.00-17.00 น.) น้ำมันถ่ายเทความร้อนปรับตั้งอัตราการไหล 4, 6 และ 8 ลิตรต่อเมตร ไหลหมุนเวียนผ่านแผงรับรังสีสุริยะ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้อบแห้งกุ้ง จำนวน 3 ชั้น รวม 1,500 กรัม ภายในตู้ อบแห้ง ความร้อนที่เหลือจากการอบแห้งถูกนำไปเก็บสะสมในรูปความร้อน สัมผัสภายในถังกักเก็บพลังงานความร้อน 2) กลางคืน (17.00-6.00 น.) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิของน้ำมันที่ออกจากตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมีค่าอยู่ระหว่าง 50- 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งมีค่าระหว่าง 40 -70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังกักเก็บความร้อนมีค่าระหว่าง 40 – 70 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสุดท้ายของกุ้งที่อบแห้งด้วยระบบนี้มีค่า 6.25% การวิเคราะห์เศรษฐศาตร์พบว่า จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความร้อนในการอบกุ้งจะสามารถคืนทุนในระยะเวลา 2.9 ปี

สุขฤดี นาถกรณกุล (2547) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊สชีวภาพ ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีสมรรถนะทางความร้อนสูงร่วมกับระบบพลังงานความร้อนเสริมจากระบบก๊าซชีวภาพ (Biogas system) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ (1) ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar collector) (2) อุโมงค์อบแห้ง (Tunnel dryer) (3) แหล่งพลังงานความร้อนเสริม (Biogas System) ผลิตภัณฑ์ที่วางไว้ในอุโมงค์อบแห้งสามารถรับความร้อนจาก แสงอาทิตย์ 2 ทาง คือ ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงเนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้งเป็นพลาสติกใส และได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้พัดลมในการกำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง จากการทดสอบ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีค่าร้อยละ 42.8 ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่า โดยเฉลี่ยร้อยละ 54.6 สามารถปรับอุณหภูมิอากาศ อบแห้งได้หลายระดับมีความเหมาะสมต่อเกษตรกร

2.9 เครื่องอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัย

2.9.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

<u>เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งตามแบบการไหลของกระแสอากาศ</u>

สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ (จารุวัฒน์ เจริญจิต, 2555)

1) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ (Force convection solar dryer) เครื่องอบแห้งนี้จะใช้พัดลมเป็นตัวขับอากาศให้ไหลภายในเครื่องอบแห้ง เนื่องจากเป็นการสร้างความดันให้เท่ากับความแตกต่างของความดันรวมระหว่างทางเข้าและทางออก เหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ลงทุนยากและสร้างยากกว่า แต่สามารถออกแบบให้การทำงานมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างมาก ถ้าต้องการมีการอบแห้งจำนวนมากๆ ควรมีพัดลมในการขับอากาศจะทำให้การหมุนเวียนอากาศเป็นไปได้ด้วยดี ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ใช้พัดลม หรือ Free convection dryer

2) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ (Force convection dryer) เครื่องอบแห้งชนิดนี้อาศัยหลักการขยายตัวของอากาศภายนอกซึ่งมีความหนาแน่นแตกต่างกันทำให้การหมุนเวียนเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้น เหมาะกับการอบแห้งขนาดเล็กที่ต้องการลงทุนต่ำเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศขึ้นกับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

<u>เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งตามลักษณะการรับพลังงานความร้อนภายใน</u>

เครื่องอบแห้ง ประกอบกับลักษณะการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งประเภทได้เป็นลักษณะ ดังนี้

1) แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct mode solar dryer) โดยที่เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะใช้วัสดุทำเป็นหลังคา รังสีดวงอาทิตย์จะทะลุผ่านไปยังวัสดุโดยตรง การระเหยน้ำออกจากตัววัสดุเกิดขึ้นเพราะความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกล่อง

2) แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Indirect mode solar dryer) โดยที่เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วย ตัวทำความร้อนด้วยรังสีดวงอาทิตย์ (Solar air heater) พัดลม (Fan) โบลว์เวอร์ (Blower) และห้องอบแห้ง (Drying chamber) รังสีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน โดยตัวทำอากาศร้อนก่อนแล้วจึงส่งไปยังวัสดุ ซึ่งมีอากาศเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังเก็บ

3) แบบรับรังสีแสงอาทิตย์แบบผสม (Mixed mode solar dryer) โดยเครื่องอบแห้งประเภทนี้เกิดจากการพัฒนาโดยเอาสองแบบแรกมารวมกัน วัสดุจะได้รับความร้อนสองส่วนคือ ได้รับความร้อนจากการถูกแสงโดยตรงและได้จากอากาศร้อนที่มาจากตัวทำอากาศร้อน

<u>เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก</u>

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกจะใช้หลักการเรือนกระจก (Greenhouse effect) กล่าวคือ เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ส่งผ่านกระจกหรือพลาสติกใสเข้าสู่ภายในถูกผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบภายในเรือนกระจกดูดกลืนรังสี แล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนวัสดุภายในโรงเรือนจะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาแต่ไม่สมารถผ่านกระจกออกมาภายนอกได้ ทำให้อุณหภูมิภายในเรือนกระจกสูงขึ้นและถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา และถูกพัดลมดูดอากาศด้านหลังของระบบอบแห้งดูดออกไปภายนอก อากาศแวดล้อมจะไหลผ่านช่องระบายอากาศด้านหน้าจะไหลเข้ามาแทนที่ ความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงค่อยๆ ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานทั้งหมดจากรังสีที่ตกกระทบโดยตรงและจากอากาศร้อนภายในส่วนอบแห้ง ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วกว่าการตากแดดโดยธรรมชาติ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ภายในระบบอบแห้งยังไม่ถูกรบกวนจากสิ่งสกปรกและการเปียกฝนด้วย (สำนักพลังงานแสงอาทิตย์กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2553)

<u>การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์</u>

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ คือ

1) การอบแห้งระบบ Passive คือ ระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่ เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศ ในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้อบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้นตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง

2) การอบแห้งระบบ Active คือ ระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่าน

พัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผล จึงพาความชื้นจากพืชผลออกสู่ภายนอกทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้

3) การอบแห้งระบบ Hybrid คือ ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จะช่วยให้เวลาในการตากแห้งเร็วขึ้นกว่าแบบทั่วๆ ไป ป้องกันแมลงที่เป็นพาหะนำโรค เช่น แมลงวัน มารบกวน ทำให้อาหารที่ได้จากการตากแห้ง มีความสะอาดถูกหลักอนามัย ใช้งานและดูแลรักษาง่าย นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันฝน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้วัตถุดิบไม่แห้ง และเกิดความเสียหายได้

2.9.2 เครื่องอบแห้งแบบอากาศร้อนร่วมกับอินฟราเรดคลื่นยาว

การประยุกตใชงานเทคโนโลยีรังสีอินฟราเรด ให้เหมาะสมต่อสภาพการทำงานจะขึ้นอยูกับความยาวของคลื่นแมเหล็กไฟฟา ลักษณะการใชงานโดยมีตัวอยางการใชงานที่หลากหลาย ไดแก การอบสี การอบผลิตภัณฑแปง การเคลือบภาชนะในการทำอาหาร การเคลือบสารพีวีซีบนผนัง การอบแหงผลิตภัณฑกระจกนิรภัย การอบหนัง การอบแหง กระดาษ การอบสีและแล็คเกอร การบัดกรี การทำใหหดตัวของโลหะ และการเผากระเบื้อง เปนตน ขอควรพิจารณาในการประยุกตใชงานขนาดอินฟราเรดเนื่องจากขนาดของผลิตภัณฑที่แตกตางกันระยะเวลาการทำความรอนก็จะ ตางกันดวยประเภทของวัสดุผลิตภัณฑชนิดของวัสดุรวมทั้งลักษณะของพื้นผิวจะมีการดูดซับรังสีอินฟราเรด ที่ตางกันซึ่งตองพิจารณาเปนกรณีๆไป ชวงความยาวคลื่นคุณสมบัติของรังสีอินฟราเรดจะแตกตางกันตาม ชวงความยาวคลื่น โดยคลื่นอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นสั้น จะมีประสิทธิภาพในการทะลุผานพื้นผิวของผลิตภัณฑไดมาก ในขณะที่คลื่นอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นยาว จะทะลุผานผลิตภัณฑไดนอยกวา ดังนั้น การใหความรอนโดยใชรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว จึงเหมาะสมกับการใหความรอนเฉพาะบริเวณพื้นผิวของผลิตภัณฑไดแก การอบแห้งสีผลิตภัณฑ์ เปนตน (วิโรจน ปงลงกา และนตพงษ์ สมไชยวงค์, 2556) การประยุกต์รังสีอินฟราเรด ในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตรนั้นอธิบายไว้ว่า รังสีจะถูกแผ่ออกมา ในลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตลอดช่วงความยาวคลื่น รังสีอินฟราเรดจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบลงบนผิวของผลิตภัณฑ์ แล้วรังสีที่เกิดจากการทะลุทะลวงเข้าไปภายในผลิตภัณฑ์ ทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีถูกผลิตภัณฑ์ดูดกลืนเอาไว้ และเกิดการเปลี่ยนแปลงในสถานะโมเลกลุ ซึ่งในสภาวะดังกล่าวนี้จะ

สอดคล้องกับความยาวคลื่นในช่วงระหว่าง 2.5-100 ไมโครเมตร หรือในช่วงรังสีอินฟราเรดแบบคลื่นยาว ดังนั้นจึงเกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์และทำให้น้ำในสถานะของเหลวและไอน้ำเกิดการแพร่ออกไปยังผลิตภัณฑ์ ส่วนความร้อนที่ถ่ายเทจากภายในของผลิตภัณฑ์ไปยังผิวของผลิตภัณฑ์จะเกิดจากการนำความร้อน แต่จะตรงกันข้ามกับการอบแห้งแบบใช้พลังงานลมแบบทั่วไป ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของผลิตภัณฑ์โดยการนำความร้อนโดยทั่วไปแล้วเมล็ดพืชต่างๆจะมีส่วนประกอบหลัก คือ น้ำ และ สารประกอบอินทรีย์ เช่น โปรตีนและแป้ง ซึ่งส่วนประกอบดังกล่าวนี้จะดูดกลืนพลังงานจากการแผ่รังสีอินฟราเรดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดประโยชน์ของเทคโนโลยีรังสีอินฟราเรด ให้ความร้อนและลดความร้อนได้อย่างรวดเร็วโดยส่วนใหญ่เตาอบไฟฟ้าที่ใช้รังสีอินฟราเรดสามารถทำความร้อนให้ผลิตภัณฑ์ได้ในเวลาไม่กี่วินาที ดังนี้ เตามีขนาดเล็กเนื่องจากการให้ความร้อนที่รวดเร็วทำให้ต้องการพื้นที่ว่างในเตาน้อยลง เป็นเตาที่สะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีการควบคุมที่แม่นยำ มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพต้นทุนเริ่มแรกและค่าบำรุงรักษาต่ำ

จุดเด่นของรังสีอินฟราเรด

1. พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่นและเกิดความร้อนขึ้นซึ่งทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิผิวจุดเด่นนี้เองที่ทำให้ผิววัสดุไม่เหี่ยวย่น และยังช่วยให้อัตราการอบแห้งที่สูง ลดระยะเวลาการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ได้

2. การให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีจะทำให้อุณหภูมิกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ อีกทั้งยังต้องการอากาศหมุนเวียนเพียงเล็กน้อย

3. รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปใช้ควบคู่กับระบบอื่นได้ง่ายเนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย ไม่มีความซับซ้อนของระบบ และตอบสนองต่อการควบคุมได้รวดเร็ว

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้กันอย่างทั่วไปในการตัดสินใจทางสถิติ คือ การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Hypothesis Testing) เช่น การทดสอบค่าเฉลี่ย (T-test) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยทั่วไปการทดสอบสมมติฐานจะสันนิษฐานว่าสิ่งที่เราสนใจนั้นเป็นจริงก่อนแล้วจึงทำการพิสูจน์ด้วยข้อมูลจากตัวอย่าง

1. ความแปรปรวน

ความแปรปรวน (Variance) เป็นมาตรการวัดการกระจายข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากความแปรปรวนสามารถคำนวณได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง ความแปรปรวนจึงเป็นการวัดการกระจายข้อมูลในรูปของพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) หรือเรียกอย่างย่อว่า ANOVA เป็นวิธีหนึ่งในการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรมากกว่าสองกลุ่มขึ้นไปพร้อมๆ กัน โดยความแตกต่างระหว่างกลุ่มจะถูกวัดในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความแปรปรวนซึ่งในที่นี้ก็คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรผันในการทดสอบสมมติฐานโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ตัวแปรที่ศึกษาอาจมีเพียงตัวแปรเดียวหรือหลายตัวแปรที่ศึกษาพร้อมๆ กันได้ แต่ละตัวแปรอาจแยกออกได้หลายระดับหรือหลายชนิด โดยตัวแปรที่ต้องการศึกษาจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีเพียงตัวเดียวหรือมากกว่าหนึ่งตัว แต่ตัวแปรตามต้องมีตัวเดียวเท่านั้น

2. ลักษณะของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจจะจำแนกออกเป็นระดับต่างๆหรือจำแนกออกเป็นประเภทต่างๆ

3. ลักษณะของตัวแปรตามต้องมีค่าต่อเนื่อง

1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน จำแนกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวเดียวกับตัวแปรตามตัวเดียว โดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่จำแนกออกเป็นระดับต่างๆ เช่น เก่ง-ปานกลาง-อ่อน เป็นต้น ส่วนตัวแปรตามอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตามตามสมมติฐานที่กำหนดไว้

2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางเป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรต้นที่เป็นสิ่งทดลองจำนวน 2 ตัว กับตัวแปรตามเพียงตัวเดียว โดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเชิงคุณภาพที่จำแนกออกเป็นระดับหรือประเภทต่างๆ ส่วนตัวแปรตามมีลักษณะเชิงปริมาณเพื่อศึกษา

ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าจะส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตาม ตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้ โดยที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง นอกจากจะสามารถศึกษาผลของตัวแปรทั้งสองตัวไปพร้อมๆ กันแล้วยังสามารถศึกษาผลร่วม (Interaction) ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวด้วยว่าตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวหนึ่งนอกจากจะส่งผลต่อตัวแปรตามแล้วยังส่งผลใดๆ ต่อตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอีกตัวหนึ่งหรือไม่

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางจะต้องทาการวิเคราะห์ผลรวมกาลังสองของความเบี่ยงเบนค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องหรือที่เรียกว่า ผลรวมกำลังสอง (Sum of squares) ของการแปรผันทั้งหมด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งามชื่น คงเสรี และคณะ (2546) ศึกษาการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยการพัฒนาการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปเบื้องต้นจากข้าวขาวที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกันโดยใช้พันธุ์ข้าว กข 21 กข 23 และเหลืองประทิว 123 ซึ่งมีอะมิโลส 17, 23 และ 28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยการแช่ข้าวและต้มจนสุก แช่แข็งแล้วจึงอบลดความชื้นที่ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ข้าวที่ใช้ควรเป็นข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ และผลิตภัณฑ์ใช้เวลาคืนรูปโดยแช่ในน้ำร้อนจัดนาน 7 นาที สำหรับข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำจากข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123 มีคุณภาพผลิตภัณฑ์ไม่ดี ต่อจากนั้นทำการปรับปรุงวิธีการผลิตจนสามารถใช้ข้าวที่มีอะมิโลสต่างๆ ได้ เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข 23 และเหลืองประทิว 123 โดยใช้เทคนิคการลดความชื้นด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด ใช้เวลาคืนรูปโดยแช่น้ำร้อนจัดนาน 5, 4 และ 4 นาที ตามลำดับ มีขบวนการผลิตโดยหุงต้มให้สุกในน้ำเดือดหรือนึ่งสุกโดยเติมน้ำ 1.2, 2.0 และ 2.0 เท่าโดยน้ำหนักของพันธุ์ข้าวตามลำดับ ล้างข้าวสุกและแช่แข็งตามด้วยละลายน้ำแข็งและลดความชื้นด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด เทคนิคนี้สามารถใช้ในการผลิตข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปของพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เช่นกัน เมื่อทำการปรุงรสข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยเติมผลิตภัณฑ์เยือกแข็งแห้ง คือ เนื้อไก่ และถั่วฝักยาว ผักอบแห้ง ได้แก่ แครอท และต้นหอม สำหรับสารปรุงรสใช้ น้ำตาลปน เกลือป่น พริกไทย น้ำมันพืช และกระเทียมเจียว ทำการคืนรูปโดยเติมน้ำร้อนจัดในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้ข้าวปรุงรสไก่พร้อมรับประทาน จากการสำรวจการยอมรับของประชาชนในกรุงเทพฯ ผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปปรุงรส และข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปได้รับการยอมรับในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดี ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมควรเป็นอะลูมิเนียมฟอยล์ชนิดประกบหลายชั้นด้วย OPP/PE/ALU/PE โดยมีอายุการเก็บ 4 เดือน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และ 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จารุวัฒน์ เจริญจิตร (2555) ศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ในประเทศไทย พบว่า สามารถแบ่งตามวิธีรับแสงอาทิตย์ได้ 3 แบบ คือ รับรังสีอาทิตย์โดยตรง โดยอ้อม และแบบผสม มีลักษณะการหมุนเวียนอากาศภายใน 2 ลักษณะ คือ หมุนเวียนตามธรรมชาติ และหมุนเวียนแบบบังคับ โดยปัจจัยหลักของการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ คือ อุณหภูมิ ความเร็ว และความชื้นของอากาศในระบบ รวมถึงการพัฒนาระบบให้มีความสม่ำเสมอ และเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งที่ใช้ทำงานร่วมกับโรงเรือนกระจก เป็นแนวทางที่ควรศึกษาเพื่อพัฒนาการผลิตอากาศร้อนในกระบวนการอบแห้งแบบ Mixed Active Solar Drying และ Mixed Passive Solar Drying ตามลำดับ โดยอุณหภูมิที่จะสามารถผลิตได้จะแปรผันตามสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแต่ละชนิด โดยใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางสะสมความร้อน

พชรกมล พงษ์เพชร (2552) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการอบแห้งและความเร็วลมของอากาศร้อนต่อคุณภาพของข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูป การทดลองใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน อบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.3, 0.4 และ 0.5 เมตรต่อวินาที สัดส่วนอากาศที่ไม่ผ่านเครื่องทำระเหยร้อยละ 30 ตัวอย่างข้าวหอมมะลิหุงสุกความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 340 มาตรฐานแห้ง ความหนาของชั้นตัวอย่าง 0.5 เซนติเมตร ทำการอบแห้งจนกระทั่งมีปริมาณความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง ผลการวิจัยพบว่า ดัชนีความขาวของข้าวที่ผ่านการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นทำให้รูพรุนที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าวมีขนาดเล็กลงและมีปริมาณเพิ่มขึ้น อุณหภูมิและความเร็วลมไม่มีผลต่อความสามารถในการคืนรูป ค่าความแข็ง (Hardness) ความเหนียว (Stickiness) และค่าการเกาะติดกันภายในเมล็ด (Cohesiveness) มีค่าน้อยกว่าข้าวหุงสุกใหม่ ค่าการเกาะติดกับผิวอื่น (Adhesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) จะมีค่าใกล้เคียงกันกับข้าวหุงสุกใหม่ แต่จะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น การอบแห้งข้าวหุงสุกด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนควรอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้ สามารถรับประทานเป็นข้าวหุงสุกโดยการเติมน้ำร้อนเป็นเวลา 8 นาที

สุกัญญา แซ่เตียว (2559) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และความเร็วลมที่ใช้ในการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ต่อการเปลี่ยนแปลงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวหอมนิลฮางงอก โดยการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วลม ใช้การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด แปรค่าอุณหภูมิที่ 40, 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ 0.5 และ 1.0 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นจำเพาะ 25 กรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศ และการศึกษาอิทธิพลของการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมและแบบเรือนกระจก โดยพบว่าการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

ที่อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส ทำให้มีร้อยละข้าวหักสูงกว่ามาตรฐานกำหนด สำหรับการศึกษาการทำแห้งด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 3 วิธี ได้แก่ การตากแดด ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม และแบบเรือนกระจก พบว่าเวลาที่ใช้ในการทำแห้งข้าวหอมนิลฮางงอกด้วยการตากแดด เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม และแบบเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 5, 4 และ 4.5 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้วิธีที่ใช้ในการทำแห้งทั้งสามวิธีข้างต้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ต่อปริมาณกาบาของข้าวหอมนิลฮางงอกหลังการทำแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ตากในที่ร่ม แต่วิธีที่ใช้ในการทำแห้งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ตากในที่ร่ม พบว่าการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมส่งผลให้ค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีค่าต่ำที่สุด และทำให้มีปริมาณข้าวหักสูงกว่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้นการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำแห้งข้าวหอมนิลฮางงอกมากกว่าการตากแดดซึ่งไม่ถูกสุขลักษณะ และการทำแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม

อุมาภรณ์ เนตรแหน (2551) ศึกษาวิธีการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปกลิ่นใบเตย โดยนำข้าวพันธุ์ C85 มาแช่ในน้ำใบเตยที่มีความเข้มข้น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 และ 60 นาทีแล้วนำมานึ่ง 30 นาทีและนำข้าวนึ่งเสร็จแล้วมาแช่ในน้ำใบเตย หลังจากนั้นนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และนำมาวิเคราะห์ค่าสี น้ำหนักข้าวหลังอบรวมทั้งวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ผลผลิต ตัวอย่างที่แช่ข้าวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตมากที่สุด คือ 89.17 การคืนรูปของข้าวกึ่งสำเร็จรูปกลิ่นใบเตยด้วย ไมโครเวฟโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนัก พบว่าที่เวลา 5 นาทีข้าวที่คืนรูปจะสุกพอดีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่า แช่ข้าวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 60 นาที ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ผู้บริโภคจะยอมรับมากที่สุด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้น 0.62 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.65 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 7.02 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 0.47 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 0.53 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 90.71 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความแข็ง 38,208.4 กรัม ค่าสีที่ได้จะมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 0.14, 0.08 และ 0.09 ตามลำดับ

Luangmalawat *et al.* (2008 : 716-723) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเจ้าหอมมะลิหุงสุกโดยใช้เครื่องอบแห้งประเภทลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50, 60, 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส อบแห้งจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายเป็น 10 กรัม และ 7 กรัมต่อ 100 กรัมมาตรฐานแห้ง ในแต่ละอุณหภูมิ พบว่าทั้ง 10 เงื่อนไขการทดลองจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการคืนรูปไม่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิที่

สูงขึ้นจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง แต่สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมควรไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะเริ่มได้เมล็ดข้าวที่มีความขาวน้อยลง หรือเริ่มเกิดสีน้ำตาล และพบว่ากระบวนการอบแห้งในทุกอุณหภูมิทำให้จำนวนรูพรุนของเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น

Miah *et al*. (2002) ได้ศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อคุณภาพของข้าวนึ่ง โดยข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นเริ่มต้น 10.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ความหนาแน่น 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความพรุนของขาวเปลือกเท่ากับ 56.3 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองใช้อุณหภูมิของน้ำแช่เท่ากับ 25 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่า เมื่อเวลาที่ใช้แช่ข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นของข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้น และเมื่อนำข้าวนึ่งที่ได้ไปกะเทาะและขัดสีจะได้เปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดสูงขึ้น เนื่องจากการแตกหักของข้าวเปลือกลดลง ข้าวที่ได้จึงมีคุณภาพดีขึ้น

Prasert *et al.* (2009) ได้ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูป โดยพิจารณาอิทธิพลของความชื้น ความดัน และอุณหภูมิการอบแห้งที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของข้าวกึ่งสำเร็จรูป วิเคราะห์ค่าดัชนีความขาว ความแข็ง การรับรสทางประสาทสัมผัส ข้าวที่ใช้คือ ขาวดอกมะลิ 105 โดยนำข้าวสารมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งความชื้น 35 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก หลังจากนั้นนำไปหุงต้มที่ความดัน 11.6-28.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 166.4-233.6 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิการอบแห้งและความชื้นมีผลต่อค่าความแข็งและการบดเคี้ยว และความดันส่งผลต่อความหนาแน่น อัตราการคืนตัว และปริมาตรของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

Ramesh และ Rao (1995 : 391-395) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวบาสมาติหุงสุก โดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดไวโบรฟลูอิไดซ์เบด (Vibro fluidize bed) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 160-240°C และความเร็วลมของฟลูอิไดซ์เซชันขั้นต่ำ 4-5 m/s วัสดุจะถูกอบวนรอบจนได้ความชื้นสุดท้ายเป็น 6.4 g / 100 g d.b. แล้วทดสอบการคืนรูปโดยใช้ขนาดตัวอย่าง 10 g แช่ในน้ำร้อน 5 นาที หลังการคืนตัวได้ค่าความชื้น 233% d.b. และมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับข้าวหุงสุกก่อนทำการอบแห้ง โดยพิจารณาในเรื่องของ โครงสร้าง ความชื้น ปริมาณเนื้อข้าวและการพองตัวเพิ่มสูงขึ้น

Singh *et al.* (2005) ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณสมบัติการหุงต้มของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ในประเทศอินเดีย พบว่าปริมาณอะมิโลสมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการหุงสุกในทิศทางตรงกันข้ามแต่มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับค่าการสูญเสียปริมาณของแข็ง ส่วนการเกาะติดมี

ความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับอะมิโลส และค่าการสูญเสียปริมาณของแข็งแต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับเวลาที่ใช้ในการ

Puspitowati และ Driscoll (2007 : 451) ได้ศึกษาจลน์ศาสตร์การคืนรูป โดยการนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปมาแช่ในน้ำเดือด แล้วสุ่มออกมาวัดปริมาณความชื้นทุกๆ 30 วินาที จนครบ 15 นาที โดยข้าวกึ่งสำเร็จรูป (Dehydrated rice) ที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีการหุงต้มในเวลาที่ไม่เท่ากัน พบว่าข้าวที่หุงสุกจนเกิดเจลาทิไนเซชันอย่างสมบูรณ์คือ 30 นาที จะพองตัวได้เร็วกว่าข้าวที่หุงต้มด้วยเวลาที่น้อยกว่า

Krokida และ Philippopoulos (2005 : 801-825) ได้ศึกษากระบวนการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผักและผลไม้หลายชนิด โดยผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่ ลมร้อน สุญญากาศ การแช่เยือกแข็ง การแพร่ผ่าน และเมื่อทำการคืนรูปพบว่าลักษณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นจริง ปริมาตรจำเพาะ ความยืดหยุ่น ความเป็นรูพรุน และการสูญเสียกลิ่นหอม อุณหภูมิของน้ำมีผลอย่างมากต่อจลศาสตร์การคืนรูปและปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์หลังการคืนรูป ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายของการคืนรูปในการทำแห้งทุกวิธีมีค่าน้อยกว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ เกิดจากการหดตัว โครงสร้างที่ถูกทำลายขณะทำแห้งจะมีผลต่อความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ สังเกตได้จากคุณสมบัติของเนื้อสัมผัสซึ่งสัมพันธ์กับวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่แข็งจะไม่ค่อยปรากฏการสูญเสียความยืดหยุ่น และเมื่อใช้วิธีการแพร่ผ่าน (Osmotic) ร่วมกับการแช่เยือกแข็งจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้ผลิตภัณฑ์ การทำแห้งด้วยอากาศร้อนและสุญญากาศจะให้ความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ขณะเกิดการคืนรูปน้อยที่สุด รสและกลิ่นจากวิธีแช่เยือกแข็งมีการสูญเสียในระหว่างเกิดการคืนรูปน้อยกว่าวิธีการอบแห้งแบบอื่น

จากการศึกษารายงานทางวิชาการแสดงให้เห็นว่า เทคนิคการอบแห้งมีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้าวเหนียวนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป แต่มีรายงานทางวิชาการในจำนวนน้อยที่มุ่งเน้นศึกษาอิทธิพล เทคนิควิธีการอบแห้ง การเตรียมข้าว ขั้นตอนกระบวนการเหล่านี้ที่จะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่มอันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของข้าวกึ่งสำเร็จรูปเมื่อผ่านการคืนรูป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยและรายละเอียดเกี่ยวกับการศึกษาศักยภาพของชุมชนด้านการใช้พลังงานทดแทนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว“ธัญสิริน” เพาะงอกนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป โดยต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดมหาสารคาม สรุปดังรายละเอียดของขั้นตอน ต่าง ๆ ดังนี้

1. วัตถุดิบ วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย
3. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

3.1.1 วัตถุดิบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ข้าวเหนียวธัญสิริน จากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทำนาบ้านดอนตูม รหัสทะเบียน -44-01-08/1-0005 ศูนย์ประสานงานตั้งอยู่บ้านเลขที่ 109 หมู่ 1 ต.แก่งเลิงจาน อ.เมืองมหาสารคาม จ.มหาสารคาม

3.1.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด
2. เครื่องอบแห้งแบบอากาศร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว
3. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS รุ่น Adventurer, สหรัฐอเมริกา (ความละเอียด 0.01g)
5. เครื่องวิเคราะห์ความชื้นยี่ห้อ OHAUS รุ่น MB45
6. เครื่อง Sputter – Coater SPI MODULE
7. เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น Mini Scan Plus รุ่น Colorimeter color c/2*
8. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA.XT. plus
9. เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก
10. เครื่องปั่นบด

11. ตะแกรงร่อน
12. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ดิจิตอล ยี่ห้อ TACTIX
13. ชุดหม้อนึ่ง
14. ถุงอะลูมิเนียมฟรอยด์ลามิเนต
15. เครื่องแก้วและอุปกรณ์พื้นฐาน

3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินงอกนึ่ง โดยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดคลื่นยาวในขั้นตอนแรก และต่อด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในขั้นตอนที่สอง

ขั้นที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบและการอบแห้ง

1. เตรียมข้าวเหนียวธัญสิริน จำนวน 5 กิโลกรัม นำมาล้างด้วยน้ำสะอาดจากนั้นนำมาแช่ในอัตราส่วนน้ำต่อข้าว เท่ากับ 3:1 เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ทำการเปลี่ยนน้ำทุก 6 ชั่วโมง

2. การงอก นำข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านการแช่เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง มาล้างทำความสะอาด และทำการงอกที่อุณหภูมิห้อง (26-28 องศาเซลเซียส) ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

3. การนึ่ง นำข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านกระบวนการงอก มาล้างทำความสะอาด และทำการนึ่ง เป็นระยะเวลา 30 นาที

4. การอบแห้ง นำข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านกระบวนการนึ่ง มาทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดคลื่นยาวอุณหภูมิการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส กำลังของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวในการอบแห้ง คือ 5 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ในขั้นตอนแรก

5. สภาวะที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิการอบแห้ง 40-60 องศาเซลเซียส

6. ความชื้นสุดท้ายของข้าวนึ่งกึ่งสำเร็จรูปอยู่ในช่วง 6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

1. สุ่มข้าวที่ผ่านการงอกนึ่ง จำนวน 20 กรัม เพื่อนำไปทดสอบหาค่าความชื้นเริ่มต้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น

2. นำข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกและนึ่ง มาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 10 นาที จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

3. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย การคืนตัว โครงสร้างระดับจุลภาค การเปลี่ยนแปลงค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัสและการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและการอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินงอกนึ่ง แสดงในภาพที่ 3.1

ก) เตรียมข้าวเหนียวธัญสิริน แช่ในอัตราส่วนน้ำต่อข้าว เท่ากับ 3:1 เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง

ข) ข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านการแช่เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง มาทำการเพาะงอก

ค) นำข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านกระบวนการงอก 3 กิโลกรัม มานึ่งด้วยไฟกลาง เป็นระยะเวลา 30 นาที

ง) อบแห้งข้าวด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและการอบแห้ง

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินงอกเพาะงอกนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป

ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

อัตราการคืนรูป

การคืนตัวของอาหารที่ผ่านการทำแห้งด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่ เมื่อผ่านการทดสอบด้วยการแช่ หรือลวกในน้ำร้อนเดือด ที่อุณหภูมิ 90 อาศาเซลเซียส ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก ในเวลา 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ ให้นำข้าวออกมาชั่งน้ำหนัก โดยให้ซับน้ำที่ผิวออกด้วยกระดาษซับน้ำก่อนทำการบันทึกน้ำหนักที่วัดได้ และคำนวณหาการคืนตัวที่เปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การคืนรูป

สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\%\,\mathrm{Rehydration} = \frac{W_t - W_d}{W_d} \qquad (3.1)$$

โดย W_t คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ทำการคืนตัวที่เวลาใดๆ (g)

W_d คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนการคืนตัว (g)

การวัดสี

ทำการวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี ฮันเตอร์ (Hunter) ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการพิจารณา คือ ค่าความสว่าง (L), ค่าความเป็นสีแดง (a), และค่าความเป็นสีเหลือง (b)

L คือ ค่าที่อ่านได้จากมืดสุดไปสว่างสุดตั้งแต่ 0-100

a คือ ค่าที่บ่งบอกค่าสีเขียวและสีแดง โดยค่า a- แสดงความเป็นสีเขียว และ a+ แสดงความเป็นสีแดง

b คือ ค่าที่บ่งบอกถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดย b+ แสดงความเป็นสีเหลือง b- แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ผลิตภัณฑ์ข้าวก่อนและหลังการอบแห้ง
2. เครื่องวัดสีแบบฮันเตอร์ รุ่น mini scan XE plus (Hunter)

วิธีการวิเคราะห์

1. ทำการสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องด้วยแผ่นกระเบื้องเทียบสีขาวและสีดำแล้วตรวจสอบค่ามาตรฐาน x = 79.1 y = 83.8 z = 88.7
2. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งวางบนภาชนะที่สะอาดแล้วนำแผ่นรองของเครื่องวัดวางด้านบนอีกครั้ง
3. ทำการวัดและอ่านค่า ด้านหน้าและด้านหลังของผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น โดยใช้ผลิตภัณฑ์สภาวะละ 10 ชิ้น
4. ทำการบันทึกค่าที่วัดได้
5. ทำซ้ำทั้งหมดสภาวะละ 3 ซ้ำ

<u>การวัดเนื้อสัมผัส</u>

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ผลิตภัณฑ์ข้าวก่อนและหลังการอบแห้ง
2. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA.XT. plus (Texture Analyzer)

วิธีการวิเคราะห์

1. ประกอบฐานและหัววัดแบบ HDP/CFS ขนาด 6 mm เข้ากับเครื่อง Texture analyzer
2. เปิดเครื่อง Texture Analyzer และสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องโดยใช้น้ำหนักมาตรฐาน 1 กิโลกรัม จากนั้นตั้งค่าความเร็วก่อนกดที่ 1 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วในการกดที่ 2 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วในการยกหัววัดกลับที่ 10 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทางในการกด 5 มิลลิเมตร และค่าน้ำหนักที่เริ่มเก็บข้อมูลเป็น 10 กรัม
3. ทำการเลือกเครื่องมือที่อยู่ใน Program ให้เป็นแบบ HDP/CFS แล้วตั้งชื่อ File ที่จะเก็บข้อมูลและตั้งค่าเป็นแบบ Auto saves
4. นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง จำนวน 1 ชิ้น ขึ้นวางบนฐานรับแรงของเครื่องวัดเนื้อสัมผัสโดยให้ผลิตภัณฑ์อยู่ตรงกลางฐานรับแรง

5. กด Run เครื่อง

6. ค่าที่ได้จากการทดลองจะปรากฏและถูกบันทึกค่าที่ได้ไว้ในโปรแกรมควบคุมเครื่องวัดเนื้อสัมผัสในรูปของกราฟระหว่าง แรง (N) กับระยะเวลา (sec)

7. นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งชิ้นต่อไปวางบนฐานรับแรง แล้วกด Ctrl Q เครื่องจะเริ่มกดใหม่อีกครั้ง โดยทำทั้งหมด 15-20 ชิ้น

8. ทำซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ

<u>การทดสอบทางประสาทสัมผัส</u>

งานวิจัยนี้ เลือกใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic scaling test) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ บอกความชอบ และไม่ชอบ ออกมาเป็นสเกลความชอบ (hedonic scale) โดยเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทีละ 1 ตัวอย่าง ในสเกลความชอบอาจจะมีการใช้คำแปลความหมายต่างๆ เช่น ดีเลิศ (excellent) ดีมาก (very good) ดี (good) หรือไม่ดี (poor) เป็นต้น สเกลที่ใช้อาจเป็น 5 หรือ 7 แต่สเกลความชอบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ สเกลความชอบ 9 คะแนน (Nine-point hedonic scale) ในการศึกษานี้ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คนในระดับหลากหลายอายุ โดยผู้ทดสอบผ่านการอบรมด้านการประเมินทางประสาทสัมผัสจากผู้เชี่ยวชาญ และทำการทดสอบตามงานวิจัยของ Lim (2011) ใช้แบบประเมินความชอบ (9-point hedonic scale) โดยเป็นวิธีการทดสอบแบบให้คะแนน ความชอบ โดยวิธี Hedonic scaling 9-point จากนั้นประเมินการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม นำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variances, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan’s new multiple range test

<u>การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)</u>

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง
2. กล้องอิเล็คตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JSM รุ่น 6460LV
3. เครื่อง Sputter – Coater SPI MODULE

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งมาหักเป็นชิ้นเล็กๆ
2. ตัดกาว 2 หน้าให้เป็นชิ้นเล็กๆแล้วปิดลงบน Stub
3. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ (1) วางบนกระดาษกาวสองหน้าบน Stub
4. เคลือบผิวผลิตภัณฑ์ด้วยทอง โดยใช้เครื่อง Sputter – Coater
5. นำ Stub ที่มีผลิตภัณฑ์ติดอยู่ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายต่าง ๆ กัน ที่ความดัน 10 กิโลโวลต์

บทที่ 4
ผลการวิจัย และอภิปรายผล

การศึกษาศักยภาพของชุมชนด้านการใช้พลังงานทดแทนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว “ธัญสิริน” เพาะงอกนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป โดยต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

1. ภูมิปัญาญาปราชญ์ชาวบ้านเกี่ยวกับกระบวนการผลิตข้าวธัญสิรินเพาะงอกนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในระดับชุมชน

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทำนาบ้านดอนตูม รหัสทะเบียน 44-01-08/1-0005 ศูนย์ประสานงานตั้งอยู่บ้านเลขที่ 109 หมู่ 1 ต.แก่งเลิงจาน อ.เมืองมหาสารคาม จ.มหาสารคาม โดยบ้านดอนตูมมีสภาพภูมินิเวศน์ที่อุดมสมบูรณ์ที่มีลักษณะเป็นที่ดอน รอบหมู่บ้านมีแหล่งน้ำที่คอยหล่อเลี้ยงหมู่บ้าน คือ ห้วยกุดตูม หนองฮะ แก่งเลิงจาน หนองกุดโด ซึ่งมีผลต่อการดำเนินวิถีชีวิตของชาวบ้าน มีจำนวนครัวเรือนทั้งสิ้น 217 ครอบครัว จำนวนประชากรทั้งสิ้น 1,033 คน อาชีพโดยส่วนใหญ่ คือ ทำนา เลี้ยงสัตว์ ปลูกผัก จุดเด่นคือมีแหล่งน้ำเพื่อทำการเกษตร อาทิ แก่งเลิงจานอยู่ทางทิศใต้ของหมู่บ้านออก ซึ่งเป็นแก่งขนาดใหญ่มีพื้นที่ถึงพันกว่าไร่ มีน้ำตลอดปีถือเป็นแหล่งน้ำหลักที่ชาวบ้านหลายหมู่บ้านในตำบลแก่งเลิงจานได้ใช้ประโยชน์กันอย่างมากไม่ว่าจะเป็นการทำน้ำประปาหมู่บ้านเพื่ออุปโภคในครัวเรือน การใช้ในการเกษตรของบ้านหรือแม้แต่การจับสัตว์น้ำใช้ประโยชน์จากแก่งเลิงจานนี้ทั้งสิ้นชาวบ้านส่วนใหญ่มีที่นาเป็นของตนเอง พันธุ์พืชที่ใช้ก็จะเป็น ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ข้าวจ้าวพันธุ์ กข 15 (บทสัมภาษณ์ จากนายวิมล รัตติธรรม ตัวแทนชุมชนบ้านดอนตูม) มีการแปรรูปผลผลิตจากข้าวในฤดูกาลที่มีผลผลิตล้นตลาด ราคาข้าวตกต่ำ โดยมีการทำข้าวกล้องงอก หรือข้าวฮางงอก ออกจำหน่ายสู่ตลาดในชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียงครอบครัว คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ เพื่อเก็บข้อมูลจากการสอบถาม ผู้นำชุมชน ผู้ประสานงานวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทำนาบ้านดอนตูม ผู้ประสานงานกลุ่มทำนา ตลอดจนตัวแทนชาวบ้านดอนตูม พบว่า ปัญหาหลักในปัจจุบันวิสาหกิจชุมชนดังกล่าว ไม่ได้รับการสนับสนุนปัจจัยหลายๆ ประเด็นเหมือนเช่นปีก่อนที่ผ่านมา อาจจะมีสาเหตุมาจาก นโยบายทางการเมือง ปัญหาเศรษฐกิจที่ตกต่ำ ปัญหาราคาสินค้าเกษตร ปัญหาความยากจนของชุมชน ฯลฯ แต่ในขณะนี้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนยังมีการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องท่ามกลางปัญหาของชาวนาที่ไม่ได้รับการแก้ไขหรือมีการพัฒนาปรับปรุง

โดยปัญหาหลักที่เกิดจากการบริหารจัดการของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทำนาบ้านดอนตูม ที่ได้วิเคราะห์สถานการณ์เป็นไปตาม**ตารางที่ 4.1** ดังนี้

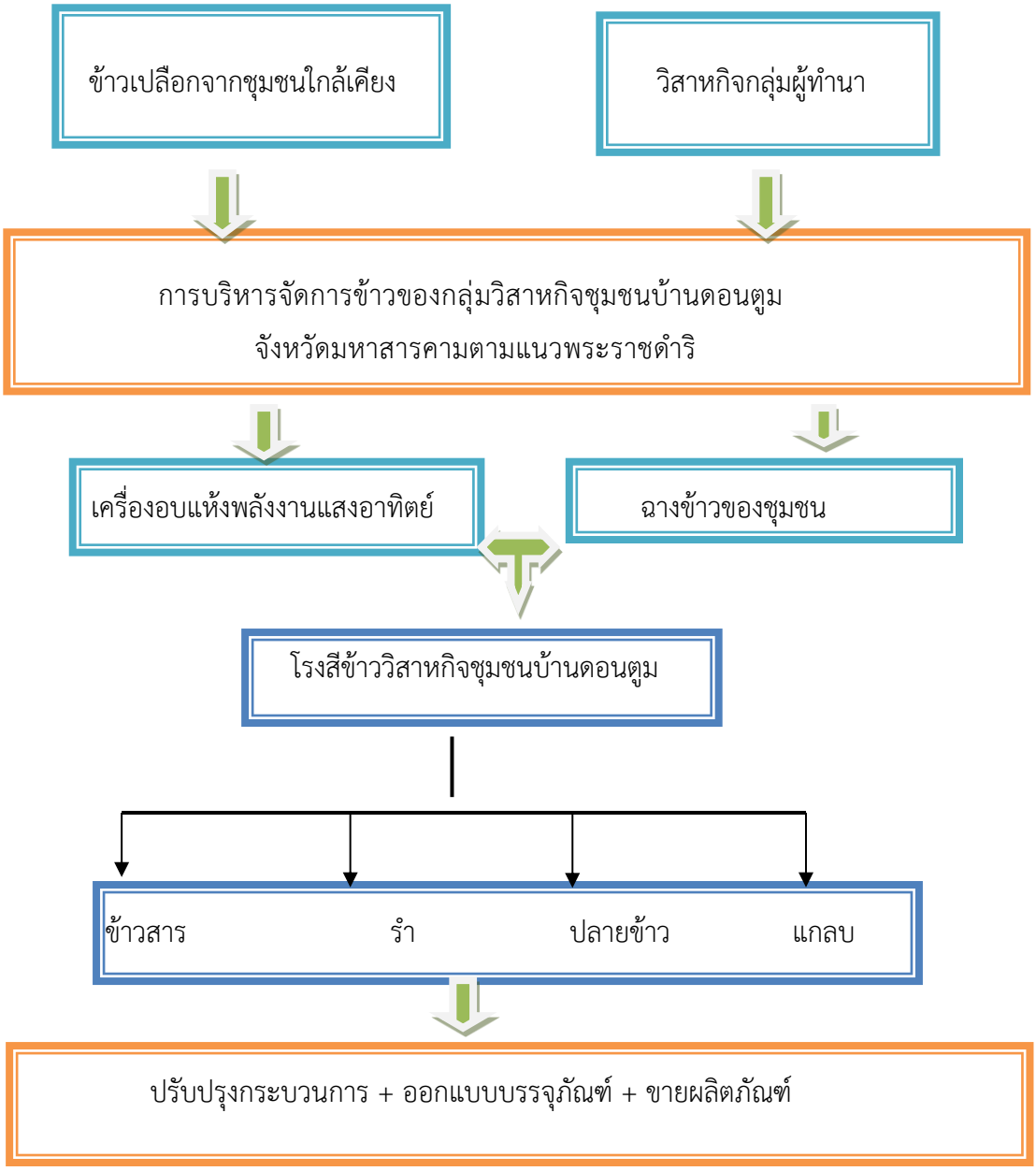
ตารางที่ 1 วิเคราะห์สถานการณ์ของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทำนาบ้านดอนตูม

จุดแข็ง	**จุดอ่อน**
1. ชุมชนได้รับงบประมาณในการพัฒนาศักยภาพ (SML)	1. เทคโนโลยีในการแปรรูปข้าวในชุมชน ใช้งานได้ในระดับน้อย แต่ยังไม่ได้มาตรฐาน
2. ชุมชนมีการรวมกลุ่มและบริหารอย่างมีส่วนร่วมของคนในชุมชน	2. ขาดเครื่องอบแห้งเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือกก่อนกระบวนการสี/เก็บรักษาข้าว
3.ชุมชนมีโรงสีข้าวขนาดเล็กไว้บริการสมาชิกและเกษตรกร	3. ชุมชนขาดองค์ความรู้ด้านการตลาดและการเชื่อมโยงธุรกิจของกลุ่มยังไม่เป็นระบบเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์เพื่อบริหารจัดการข้าว
4. ผู้นำชุมชนมีความรู้ความสามารถ และมีความสามารถในการบริหารจัดการกลุ่ม	4. ชุมชนขาดการสร้างมาตรฐานและตราสินค้าเพื่อสร้างความเชื่อมั่นต่อผู้บริโภค
โอกาส	**ข้อจำกัด**
1. ชุมชนสามารถลดต้นทุนการผลิตและทำนาแบบเกษตรอินทรีย์	1. คู่แข่งทางการค้า ปัจจุบันมีจำนวนมากขึ้น
2. มีกลุ่มโรงสีข้าวรองรับชุมชนซึ่งเป็นอำนาจในการต่อรองราคาข้าว	2. ราคาสินค้าเป็นไปตามกลไกตลาด
3. ชุมชนมีการสร้างเครือข่าย กลไกการตลาด เพื่อการจำหน่ายข้าวที่มากขึ้น	3. ภัยธรรมชาติส่งผลกระทบต่อการทำนา

แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในระดับชุมชน ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว“ธัญสิริน” เพาะงอกนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป โดยคณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ เพื่อเก็บข้อมูลจากการสอบถาม ผู้นำชุมชน ผู้ประสานงานวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทำนาบ้านดอนตูม ผู้ประสานงานกลุ่มทำนา ตลอดจนตัวแทนชาวบ้านดอนตูม ดังแสดงในภาพที่ 4.1-4.2

ภาพที่ 4.1 คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ เพื่อเก็บข้อมูลจากการสอบถาม ผู้นำชุมชน ผู้ประสานงานวิสาหกิจชุมชนกลุ่มทำนาบ้านดอนตูม ผู้ประสานงานกลุ่มทำนา ตลอดจนตัวแทนชาวบ้านดอน

โดยสรุปขั้นตอนการบริหารจัดการข้าวธัญสิรินเพาะงอก/ข้าวฮางงอก มีดังนี้



ภาพที่ 4.2 การบริหารจัดการข้าวของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านดอนตูม

2. การพัฒนากระบวนการและรูปแบบผลิตภัณฑ์รูปแบบข้าวธัญสิรินึ่งกึ่งสำเร็จรูป

ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปเพาะงอก มาผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อให้ข้าวแห้งเร็วขึ้น ตลอดจนมีการตรวจสอบคุณภาพข้าวหลังผ่านกระบวนการอบแห้งโดยมีรายงานทางวิชาการ กล่าวไว้ว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำทำให้งอก โดยมีส่วนของคัพภะ หรือจมูกข้าวงอกยาวออกมาประมาณ 0.5-1.0 มิลลิเมตร พบการเพิ่มขึ้นของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารแกมม่าอะมิโนบิวทิริคแอซิค (Gamma aminobutynic acid, GABA) สารประกอบฟีโนลิก (Phenolic compound) แกมมาออริซานอล (Gamma oryzanol) กรดเฟอร์รูลิก (Ferrulic acid) ใยอาหาร อินโนซิทอล (Inositol) กรดไฟติก (Phytic acid) โทโคไตรอีนอล (Tocotrienols) แมกซีเนียม โพแทสเซียม และสังกะสี ซึ่งข้าวกล้องที่นำมาทำให้งอกแล้วนั้นมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าในข้าวกล้องปกติ โดยเฉพาะปริมาณ GABA พบว่ามีมากกว่าในข้าวกล้องถึง 10 เท่า และยังผลิตกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ หรือสร้างได้ คือ ไนอะซีน (niacin) และไลซีน (Lyzine) เพิ่มขึ้น 4 เท่า ซึ่งกรดอะมิโนนี้ช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซม ส่วนที่สึกหรอของร่างกาย รวมทั้งมี dietary fiber เพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวกล้องปกติ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2555) ในการวิจัยครั้งนี้ นำข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านกระบวนการงอก มาล้างทำความสะอาด และทำการนึ่ง เป็นระยะเวลา 30 นาที ต่อด้วยกระบวนการอบแห้งโดยนำข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านกระบวนการนึ่ง มาทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดคลื่นยาวอุณหภูมิการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส กำลังของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวในการอบแห้ง คือ 5 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ในขั้นตอนแรก ลดความชื้นจนเหลือร้อยละ 25 จึงทำการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิการอบแห้ง 40-60 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายของข้าวเหนียวนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปอยู่ในช่วง 6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง **ภาพที่ 4.3-4.4** แสดงลักษณะเมล็ดข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปและการเก็บในบรรจุภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปเพื่อการเก็บรักษาคุณภาพ

ภาพที่ 4.3 ลักษณะเมล็ดข้าวเหนียวธัญสิรินนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป

ภาพที่ 4.4 บรรจุภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป
เพื่อการเก็บรักษาคุณภาพ

<u>อัตราการคืนรูป</u>

การคืนรูปของข้าวเหนียวธัญสิรินนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป โดยใช้หลักการการคืนรูปในน้ำร้อน คือ นำข้าวที่ผ่านการอบแห้งแล้ว ให้ข้าวคืนรูปด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่ เมื่อผ่านการทดสอบด้วยการแช่หรือลวกในน้ำร้อนเดือด ที่อุณหภูมิ 90 อาศาเซลเซียส ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนักในเวลา 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ ให้นำข้าวออกมาชั่งน้ำหนัก โดยให้ซับน้ำที่ผิวออกด้วยกระดาษซับน้ำก่อนทำการบันทึกน้ำหนักที่วัดได้ และคำนวณหาการคืนตัวที่เปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การคืนรูป จากผล

การทดลอง พบว่า ข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปมีเปอร์เซ็นต์การคืนรูป เท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับข้าวเหนียวธัญสิรินก่อนการอบแห้ง คำนวณการคืนรูปจากสมการที่ (3.1)

การวัดสี

จาก**ตารางที่ 4.2** แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีของข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป เมื่อเทียบกับข้าวเหนียวธัญสิรินก่อนการอบแห้ง พบว่า มีค่าความสว่าง (L*) แตกต่างกัน โดยจะมีค่าความสว่างลดลงหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการทำแห้งจึงทำให้ค่าความสว่างลดลง แต่เมื่อพิจารณาค่าสี a* และ b* พบว่า จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง แสดงให้เห็นว่าสีของเมล็ดข้าวมีความเข้มมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวเกิดจากการได้รับความร้อนจากการอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับ สมชาติ โสภณฤทธิ์ (2540) กล่าวไว้ว่า ความร้อนจะไปทำให้พันธะ Hydroxyl group ระหว่างโมเลกุลภายในน้ำตาลหลุดออกจากกันกลายเป็นน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำ เมื่อให้ความร้อนต่อไปเรื่อยๆ พันธะ Hydroxyl group ภายในน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำจะหลุดจากกันและเกิดเป็นสารประกอบคีโตนซึ่งทำให้ข้าวมีสีเหลือง และสอดคล้องกับการงานวิจัยของ Leelayuthsoontorn and Thipayarat (2006) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ และความดันที่มีต่อโครงสร้างข้าวหุงสุก ด้วยการใช้หม้อหุงข้าวแบบควบคุมความดัน พบว่า ระดับความขาวของข้าวหุงสุกจะลดลง หรือค่อนข้างมีสีเหลืองมากขึ้น และมีรายงานทางวิชาการของ Luangmalawat *et al.* (2008) ศึกษาการอบแห้งข้าวเจ้าหอมมะลิหุงสุก โดยใช้เครื่องอบแห้งประเภทลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 60 80 100 และ 120 องศาเซลเซียส อบแห้งจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายเป็น 10 กรัม และ 7 กรัม / 100 กรัม มาตรฐานแห้ง ในแต่ละอุณหภูมิ พบว่า ทั้งเงื่อนไขการทดลองจะให้ผลิตภัณฑ์หลังกระบวนการอบแห้งโดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง แต่สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมควรไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะเริ่มได้เมล็ดข้าวที่มีความขาวน้อยลงหรือเริ่มเกิดสีน้ำตาล

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสี และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ของข้าวเหนียวธัญสิรินงอกนึ่ง

ตัวอย่าง	L*	a*	b*	ΔE
ข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งก่อนอบแห้ง	69.24±1.05[a]	2.42±0.13[b]	18.33±0.12[b]	71.66
ข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป	53.18±1.19[b]	5.77±0.24[a]	23.16±0.75[a]	58.29

การวัดเนื้อสัมผัส

จาก**ตารางที่ 4.3** แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดกับผิวอื่น ค่าความเหนียว ลดลงหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง โดยค่าความแข็งมีค่าเท่ากับ 809.48 N ค่าการเกาะติดกับผิวอื่น (-3.56) ค่าการยึดเกาะกันภายในเมล็ดมีค่าเท่ากับ 0.92 ค่าความเหนียวมีค่าเท่ากับ 540.57 N จะเห็นว่าข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการงอกนึ่ง ภายหลังการทดสอบการคืนรูปในน้ำร้อนจะมีแนวโน้มที่ลดลง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานทางวิชาการของ ชนิรัตน์ สำเร็จ และคณะ (2555) ที่ได้ศึกษาผลของวิธีการหุงและการแช่ข้าวเหนียวดำที่มีต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับข้าวเหนียวดำสุก การเปรียบเทียบวิธีการหุง 2 วิธี คือ การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าและหุงด้วยหวดนึ่งข้าว พบว่า ข้าวเหนียวดำที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าในอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำ 1:2 โดยน้ำหนัก มีค่าสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกับการหุงด้วยหวดนึ่งข้าว มีรายงานทางวิชาการที่มุ่งศึกษาเทคนิคการอบแห้งที่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกึ่งสำเร็จรูป ดังนี้ พชรกมล พงษ์เพชร (2552) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการอบแห้งและความเร็วลมของอากาศร้อนต่อคุณภาพของข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูป การทดลองใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.3 0.4 และ 0.5 เมตรต่อวินาที สัดส่วนอากาศที่ไม่ผ่านเครื่องทำระเหยร้อยละ 30 ตัวอย่างข้าวหอมมะลิหุงสุกความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 340 มาตรฐานแห้ง ความหนาของชั้นตัวอย่าง 0.5 เซนติเมตร ทำการอบแห้งจนกระทั่งมีปริมาณความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง ผลการวิจัยพบว่า ดัชนีความขาวของข้าวที่ผ่านการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นทำให้รูพรุนที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าวมีขนาดเล็กลงและมีปริมาณเพิ่มขึ้น อุณหภูมิและความเร็วลมไม่มีผลต่อความสามารถในการคืนรูป ค่าความแข็ง (Hardness) ความเหนียว (Stickiness) และค่าการเกาะติดกันภายในเมล็ด (Cohesiveness) มีค่าน้อยกว่าข้าวหุงสุกใหม่ ค่าการเกาะติดกับผิวอื่น (Adhesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) จะมีค่าใกล้เคียงกันกับข้าวหุงสุกใหม่ Prasert *et al.* (2009) ได้ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูป โดยพิจารณาอิทธิพลของความชื้น ความดัน และอุณหภูมิการอบแห้งที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของข้าวกึ่งสำเร็จรูป วิเคราะห์ค่าดัชนีความขาว ความแข็ง การรับรสทางประสาทสัมผัส ข้าวที่ใช้ คือ ขาวดอกมะลิ 105 โดยนำข้าวสารมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งความชื้น 35 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก หลังจากนั้นนำไปหุงต้มที่ความดัน 11.6 - 28.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 166.4 - 233.6 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณ 12

เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิการอบแห้งและความชื้นมีผลต่อค่าความแข็งและการบดเคี้ยว จากรายงานทางวิชาการ ชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิการอบแห้ง วิธีการหุงต้ม ความชื้นในเมล็ดข้าว ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหลังการคืนรูปเป็นอย่างยิ่ง

ตารางที่ 4.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง (N)	ค่าการเกาะติดกับผิวอื่น (g.sec)	ค่าการยึดเกาะกันภายในเมล็ด	ค่าความเหนียว (N)
ข้าวเหนียวธัญสิรินนึ่งก่อนอบแห้ง	893.21±60.35	-4.14±8.17	0.98±0.02	697.80±55.27
ข้าวเหนียวธัญสิรินนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป	809.48±52.60	-3.56±0.09	0.92±0.02	540.57±49.03

<u>การทดสอบทางประสาทสัมผัส</u>

ใช้การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic scaling test) ซึ่งเป็นวิธีการบอกความชอบ และไม่ชอบ ออกมาเป็นสเกลความชอบ (Hedonic scale) โดยเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทีละ 1 ตัวอย่าง ในสเกลความชอบอาจจะมีการใช้คำแปลความหมายต่างๆ เช่น ดีเลิศ (Excellent) ดีมาก (Very good) ดี (Good) หรือไม่ดี (Poor) เป็นต้น สเกลที่ใช้อาจเป็น 5 หรือ 7 แต่สเกลความชอบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ สเกลความชอบ 9 คะแนน (Nine-point hedonic scale) ในการศึกษานี้ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยผู้ทดสอบผ่านการอบรมด้านการประเมินทางประสาทสัมผัสจากผู้เชี่ยวชาญ และทำการทดสอบตามงานวิจัยของ Lim (2011) ใช้แบบประเมินความชอบ (9-point hedonic scale) โดยเป็นวิธีการทดสอบแบบให้คะแนน จากนั้นประเมินการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในด้านลักษณะ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยแบ่งเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้ (Mestres *et al.* 2011)

1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด	4 = ไม่ยอมรับเล็กน้อย	7 = ยอมรับปานกลาง
2 = ไม่ยอมรับมาก	5 = เฉยๆ	8 = ยอมรับมาก
3 = ไม่ยอมรับปานกลาง	6 = ยอมรับเล็กน้อย	9 = ยอมรับมากที่สุด

จากรายงานทางวิชาการของ ชนิรัตน์ สำเร็จ และคณะ (2555) ได้ศึกษาผลของวิธีการหุงและการแช่ข้าวเหนียวดำที่มีต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับข้าวเหนียวดำสุกการเปรียบเทียบวิธีการหุง 2 วิธี คือ การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าและหุงด้วยหวดนึ่งข้าว พบว่า ข้าวเหนียวดำที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าในอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำ 1:2 โดยน้ำหนัก มีค่าสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้ามีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และความเกาะตัวสูงกว่าวิธีการหุงด้วยหวดนึ่งข้าว ในงานวิจัยนี้มีคะแนนผลการประเมินข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปแสดงใน**ตารางที่ 4.4** จากข้อมูลในตารางผู้ทดสอบให้คะแนนคุณภาพของข้าวเหนียวธัญสิรินกึ่งสำเร็จรูปในด้านการยอมรับโดยรวมสูงสุดสำหรับข้าวหุงสุกใหม่ในเกณฑ์การยอมรับที่ดี (คะแนน 8.50) ข้าวเหนียวธัญสิรินกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งได้รับการยอมรับปานกลาง (คะแนน 7.84) นอกจากนี้ยังมีจุดเด่นคือ คุณภาพด้านสี กลิ่น มีคะแนนการยอมรับในเกณฑ์การยอมรับที่ดี

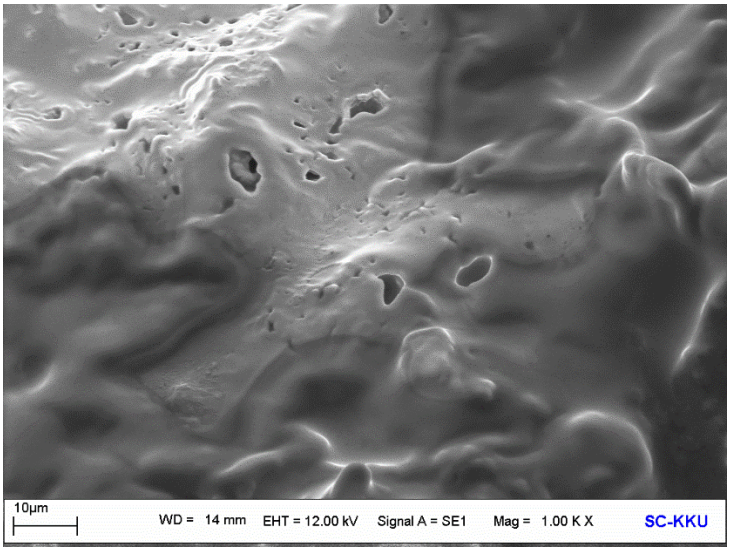
ตารางที่ 4.4 คุณภาพของข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป ที่ผ่านการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบแบบให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale)

เงื่อนไขการทดลอง	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
ข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งก่อนอบแห้ง	8.30	8.04	8.27	8.39	8.25
ข้าวเหนียวธัญสิรินึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป	8.93	7.58	7.40	7.45	7.84

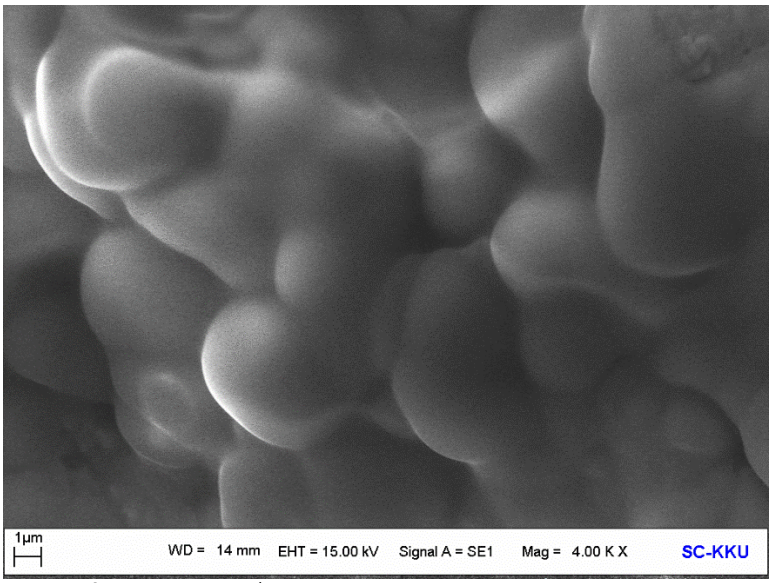
<u>การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด</u>

เมื่อนำข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป มาผ่านกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาคข้าวที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ลักษณะทางกายภาพของข้าวภายหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง คือ มีการเกาะติดกันระหว่างเมล็ด อาจมีสาเหตุเนื่องจากการเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนจึงทำให้เม็ดแป้งเกิด Gelatinization ที่สมบูรณ์ ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งดังแสดงใน**ภาพที่ 4.5-4.6** ลักษณะโครงสร้างของข้าวที่

กำลังขยาย 12 kV พบว่า เม็ดสตาร์ชของโครงสร้างข้าวเกิดการหลอมเหลวเกิดรูพรุน และที่กำลังขยาย 15 kV เห็นได้อย่างชัดเจน คือ เม็ดแป้งเกิด Gelatinization ที่สมบูรณ์สูญเสียโครงสร้างที่เป็นรูปทรงหลายเหลี่ยมไป



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาค
ข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป ที่กำลังขยาย 12 kV



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับจุลภาค
ข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป ที่กำลังขยาย 15 กิโลโวลต์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยกรรมวิธีการอบแห้ง เพื่อเป็นการแปรรูปข้าวให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ตลอดจนเป็นการยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวของวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดมหาสารคาม คณะผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัย ดังนี้

1. ภูมิปัญญาญาปราชญ์ชาวบ้านเกี่ยวกับกระบวนการผลิตข้าวธัญสิรินเพาะงอกนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป

เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในระดับชุมชน แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในระดับชุมชน ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียว “ธัญสิริน” เพาะงอกนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป โดยเป็นวิธีการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนเพื่อให้ข้าวแห้งเร็ว โดยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดคลื่นยาวในขั้นตอนแรก และต่อด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในขั้นตอนที่สอง

2. การพัฒนากระบวนการและรูปแบบผลิตภัณฑ์รูปแบบข้าวธัญสิรินนึ่งกึ่งสำเร็จรูป

การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป คือ นำข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านกระบวนการงอก มาล้างทำความสะอาด และทำการนึ่ง เป็นระยะเวลา 30 นาที ต่อด้วยกระบวนการอบแห้งโดยนำข้าวเหนียวธัญสิรินที่ผ่านกระบวนการนึ่ง มาทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดคลื่นยาวอุณหภูมิการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส กำลังของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวในการอบแห้ง คือ 5 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ในขั้นตอนแรก ลดความชื้นจนเหลือร้อยละ 25 จึงทำการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำด้วยเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิการอบแห้ง 40-60 องศาเซลเซียส ความชื้นสุดท้ายของข้าวเหนียวนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปอยู่ในช่วง 6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยมีมีการตรวจสอบคุณภาพข้าวหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง

5.2 อภิปรายผล

การผลิตข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยกรรมวิธีการอบแห้ง เพื่อเป็นการแปรรูปข้าว ได้ผลการวิจัย ดังนี้ อัตราการคืนรูป พบว่า ข้าวเหนียวธัญสิรินนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปมีเปอร์เซ็นต์การคืนรูป เท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับข้าวเหนียวธัญสิรินก่อนการอบแห้ง ผลการวิเคราะห์ค่าสีของข้าวเหนียวธัญสิรินนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูป เมื่อเทียบกับข้าวเหนียวธัญสิรินก่อนการอบแห้ง พบว่า มีค่าความสว่าง แตกต่างกัน โดยจะมีค่าความสว่างลดลงหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการทำแห้งจึงทำให้ค่าความสว่างลดลง แต่เมื่อพิจารณาค่าสี a* และ b* พบว่า จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็ง ค่าการเกาะติดกับผิวอื่น ค่าความเหนียว ลดลงหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง โดยค่าความแข็งมีค่าเท่ากับ 809.48 N ค่าการเกาะติดกับผิวอื่น (-3.56) ค่าการยึดเกาะกันภายในเมล็ดมีค่าเท่ากับ 0.92 ค่าความเหนียวมีค่าเท่ากับ 540.57 N จะเห็นว่าข้าวเหนียวธัญสิรินนึ่งแบบกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการงอกภายหลังการทดสอบการคืนรูปในน้ำร้อนจะมีแนวโน้มที่ลดลง การทดสอบทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบให้คะแนนคุณภาพของข้าวเหนียวธัญสิรินกึ่งสำเร็จรูปในด้านการยอมรับโดยรวมสูงสุดสำหรับข้าวหุงสุกใหม่ในเกณฑ์การยอมรับที่ดี (คะแนน 8.25) ข้าวเหนียวธัญสิรินกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งได้รับการยอมรับในระดับปานกลาง (คะแนน 7.84) นอกจากนี้ยังมีจุดเด่นคือ คุณภาพด้านสี กลิ่น มีคะแนนการยอมรับในเกณฑ์การยอมรับที่ดี การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวลักษณะทางกายภาพของข้าวภายหลังผ่านกระบวนการอบแห้ง คือ มีการเกาะติดกันระหว่างเมล็ด อาจมีสาเหตุเนื่องจากการเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนจึงทำให้เม็ดแป้งเกิดเจลลาตินไนซ์ที่สมบูรณ์ ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้ง ลักษณะโครงสร้างของข้าวที่กำลังขยาย 12 กิโลโวลต์ พบว่า เม็ดสตาร์ชของโครงสร้างข้าวเกิดการหลอมเหลวเกิดรูพรุน และที่กำลังขยาย 15 กิโลโวลต์ เม็ดแป้งสูญเสียโครงสร้างที่เป็นรูปทรงหลายเหลี่ยมไป

5.3 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การนำผลการวิจัยไปใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป ควรพิจารณาข้อมูลทางด้านเนื้อสัมผัสมีความอร่อยไม่เท่ากับข้าวหุงสุกใหม่เนื่องจากเป็นข้าวที่ผ่านการทรีทเมนท์มาก่อนหลายขั้นตอน การพัฒนากระบวนการผลิตจึงต้องคำนึงถึงเนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยสำคัญ ควรมีความใกล้เคียงกับข้าวหุงสุกใหม่ได้มากที่สุด

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการแปรรูปอาหารเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าว อาจมีการศึกษาเทคนิคการแปรรูปที่หลากหลายเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการแปรรูปอาหารและเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตร ตลอดจนเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่มากขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2554). ข้าวเหนียวธัญสิริน สืบค้นออนไลน์จาก: URL:http://http://www.moac.go.th

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ.(2543). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งามชื่น คงเสรี. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. (2546). กรมวิชาการเกษตร

งามชื่น คงเสรี สุนันทา วงศ์ปิยชน พูลศรี สว่างจิต ละม้ายมาศ ยังสุข และ วิชัย หิรัญญูปกรณ์, (2551) การผลิตข้าวกึ่งสำเร็จจรูป. สืบค้นออนไลน์จาก: http://anchan.lib.ku.ac.th

ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2546). ลักษณะเฉพาะของข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิไดซ์ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ: ม.ป.พ. หน้า 269.

ชนิรัตน์ สำเร็จ .(2555). สมบัติด้านเนื้อสัมผัสและการยอมรับของข้าวเหนียวดำสุกที่มีผลจากการแช่และวิธีการหุง.การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์

พชรกมล พงษ์เพชร เจริญพร เลิศสถิตธนกร และ ละมุล วิเศษ. (2552). การอบแห้งข้าวหอมมะลิกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. วารสารวิทยาการเกษตร, หน้า 453-456.

ละมุล วิเศษ. (2554). ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านการหุงต้มของข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17 (2555) 1 : 172-180

วิไล รังสาดทอง. (2547). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วัชรานนท์ จุฑาจันทร์. (2548) การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. (2546). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตร

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, หน้า 1-7.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). ข้าววิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุมาภรณ์ เนตรแหน. (2551). ข้าวกึ่งสำเร็จรูปกลิ่นใบเตย. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

Borompichaichartkul, C., Wiset, L., Tulayatun, V., Tuntratean, S., Thetsupamorn, T., Impaprasert, R. & Waedalor, I. (2007). Comparative study of effects of drying methods and storage conditions on aroma and quality attributes of Thai jasmine rice. Drying Technology. 25, 1185-1192.

Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16, 334-340.

Krokida, M., Maroulis, B. and Saravacos, D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. International Journal of Food Scienceand Technology. 36, 53–59.

Luangmalawat, P., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A., and Soponronnarit, S. (2008). Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. LWT -Food Science and Technology. 41(4), 716-723.

Leelayuthsoontorn, P. and A. Thipayarat. (2006). Textural and Morphological Changes of Jasmine Rice under Various Elevated Cooking Condition. Food Chemistry. 96 : 606-613.

Lim, J., Fujimaru, T. (2010). Evaluation of the Labeled Hedonic Scale under different experimental conditions. Food Quality Prefer. 21: 521–530.

Mestres, C., Ribeyre, F., Pons, B., Fallet, V. & Matencio,F. (2011). Sensory texture of cooked rice is rather linked to chemical than to physical characteristics of raw rice. Journal of Cereal Science. 53, 81-89.

Mahatheeranont, S., Keawsa-ard,S. and Dumri, K. (2001). Quantification of the rice aroma compound, 2-Acetyl-1-pyrroline, in Uncooked Khao Dawk Mali 105 brown rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49: 773-779.

Prasert, W. and P. Suwannaporn. (2009) Optimization of Instant Jasmine Rice Process and its Physicochemical Properties. Journal of Food Engineering. Vol, 95 : 54-61.

Puspitowati,S and Driscoll, R.H. (2007). Rehydration Kinetics of Instant Rice by Freeze Drying. International Journal of Food Properties. 10(3), 445-453.

Ramesh, M.N., (2003). Moisture transfer properties of cooked rice during drying, Lebensm.- Wiss.U.-Technol. Vol. 36, pp. 245–255.

Roy, P., Ijiri, T., Okadome, H., Nei, D., Orikasa, T., Nakamura, N. & Shiina, T. (2008). Effect of processing conditions on overall energy consumption and quality of rice (Oryza sativa L.). Journal of Food Engineering. 89, 343-348

Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y.and Bao, Y. (2009). Total Phenolics, Flavonoids, Antioxidant Capacity in Rice Grain and Their Relations to Grain Color, Size and Weight. Cereal Science. 49: 106–111.

Wiset, L., Srzednicki, G., Wootton, M., Driscoll, R. H. & Blakeney, A. B. (2005). Study on effects of high temperature drying using a fluidised-bed dryer on physico-chemical properties of various cultivars of rice. Drying Technology. 23, 2227-2237.

Yadav, B.K. & Jindal, V.K. (2008). Changes in head rice yield and whiteness during milling of rough rice (Oryza sativa L.). Journal of Food Engineering. 86, 113-121.

สืบค้นจากสื่อออนไลน์

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2550). มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. สืบค้นออนไลน์จาก ได้จาก: http://www.moac.go.th

สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน สืบค้นออนไลน์จาก URL: https://www.doctor.or.th

สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวไรซ์เบอร์รี่ สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน สืบค้นออนไลน์จาก URL: http://dna.kps.ku.ac.th/index.php/article-rice-rsc-rgdu/47-riceberry-height-antioxidant

การพัฒนาเกษตรกรรมยั่งยืน. สืบค้นออนไลน์จาก ได้จาก: Online. available : www.nfc.or.th

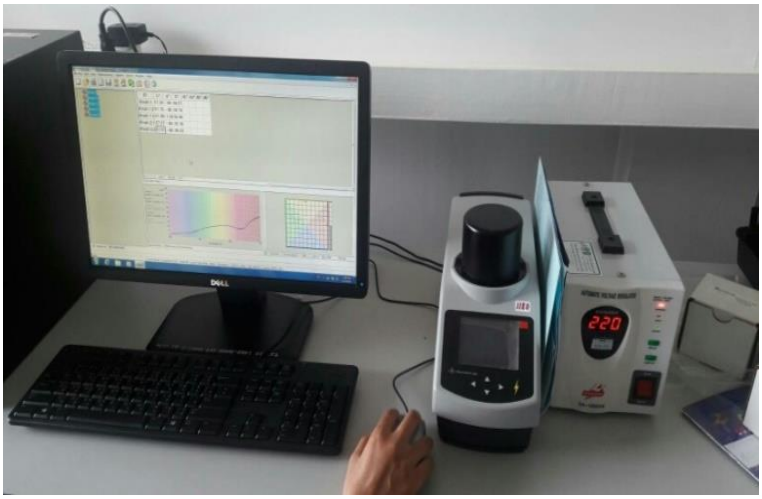
จุดกำเนิดพิธีกรรรมข้าวไทย. สืบค้นออนไลน์จาก ได้จาก: Online. available : http://thairice.org

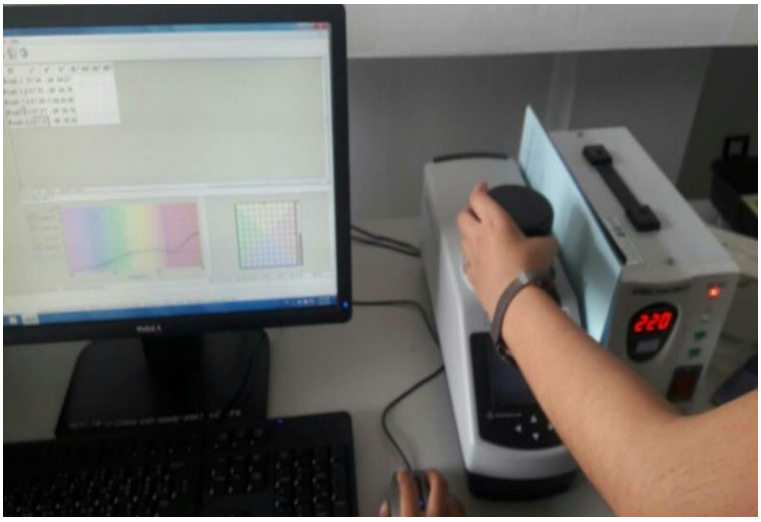
การบริหารจัดการผลิตภัณฑ์ข้าว. สืบค้นออนไลน์จาก ได้จาก: Online. available : http://www.moac.go.th

ภาคผนวก ก

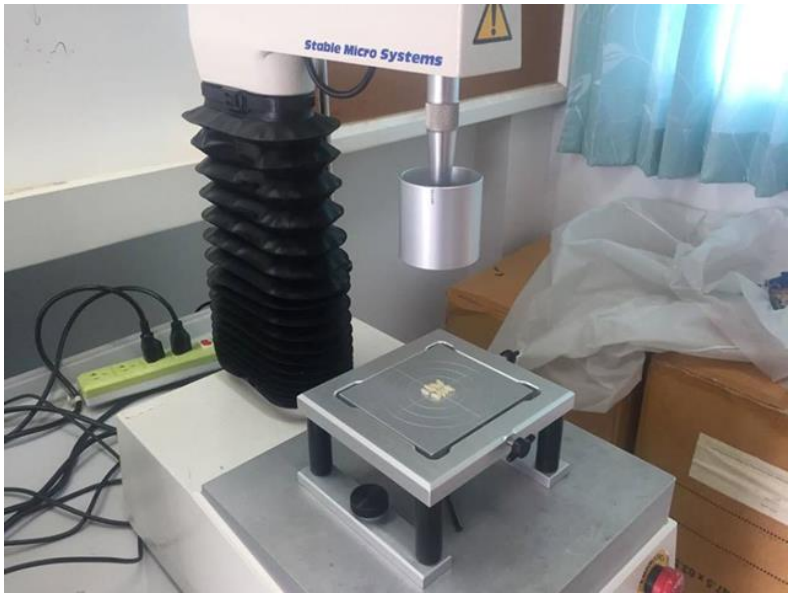
ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป

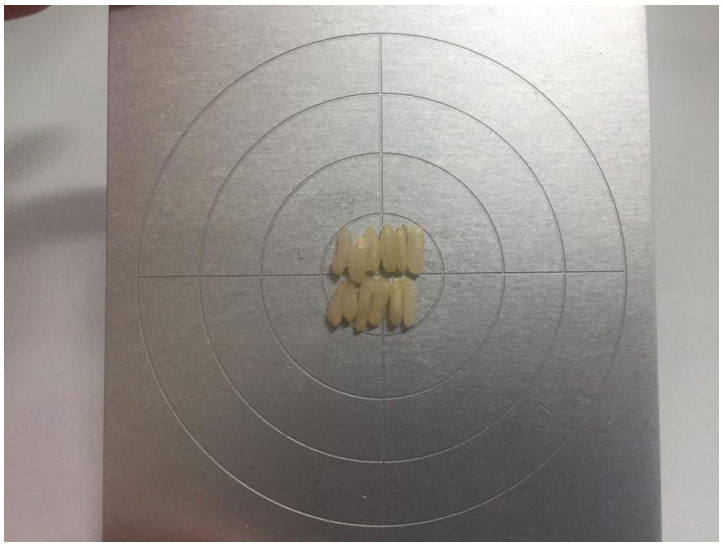




ภาพที่ ก-1 ขั้นตอนการวัดสีของข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป



ภาพที่ ก-2 ขั้นตอนการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป



ภาพที่ ก-3 ขั้นตอนการวางเมล็ดข้าวเพื่อวัดเนื้อสัมผัส

ภาพที่ ก-4 การเตรียมผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูปเพื่อการทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบการให้คะแนนความชอบ

ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวธัญสิรินเพาะงอกแบบกึ่งสำเร็จรูป ชุดที่ .....
ชื่อผู้ทดสอบ..... อายุ..... เพศ.....วันที่ .....

<u>คำแนะนำ</u> ให้ชิมตัวอย่างที่ท่านได้รับตามลำดับแล้วให้คะแนนการยอมรับแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปตามคำอธิบายคะแนนข้างล่างนี้ (กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง)

1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด 4 = ไม่ยอมรับเล็กน้อย 7 = ยอมรับปานกลาง
2 = ไม่ยอมรับมาก 5 = เฉยๆ 8 = ยอมรับมาก
3 = ไม่ยอมรับปานกลาง 6 = ยอมรับเล็กน้อย 9 = ยอมรับมากที่สุด

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์	ตัวอย่าง				
	01	02	03	04	05
สี					
กลิ่น					
รสชาติ					
เนื้อสัมผัส					
การยอมรับโดยรวม					

ประวัติคณะผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวมะลิ สโรบล

สถานที่อยู่ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000

ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ประจำ

สถานที่ทำงานปัจจุบัน สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ประวัติการศึกษา

พ. ศ. 2549 ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต (ค.บ.) สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ. ศ. 2552 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พ. ศ. 2558 ปริญญาดุษฎีบัณฑิตบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ชื่อ นางสาวสุมินทร์ญา ทีทา

สถานที่อยู่ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000

ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ประจำ

สถานที่ทำงานปัจจุบัน สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ประวัติการศึกษา

พ. ศ. 2545 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ. ศ. 2552 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท. ม.) สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ นายกลยุทธ ดีจริง

สถานที่อยู่ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000

ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ประจำ

สถานที่ทำงานปัจจุบัน สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ประวัติการศึกษา

พ. ศ. 2547 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

พ. ศ. 2553 ปริญญาวิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ชื่อ นางสาวเพชรรัตน์ ใจบุญ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์ประจำ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ประวัติการศึกษา

พ. ศ. 2542 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ. ศ. 2553 ปริญญาดุษฎีบัณฑิตบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาเทคโนโลยีพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี