Agricultural Sci. J. 38/ : 5 (Suppl.) : 291-300 (2007) ว. วิทย. กษ. 38 : 5 (พิเศษ) : 291-300 (2550)

การจัดการข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการปรับปรุงคุณภาพและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

Postharvest management of paddy for improving quality and product development

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[1] สมเกียรติ ปรัชญาวรากร[2] และชัยยงค์ เตชะไพโรจน์[3]

Somchart Soponronnarit[1], Somkiat Prachayawarakorn[2] and Chaiyong Taechapairoj[3]

Abstract

This paper describes postharvest management of paddy for improving quality and product development. The recommended techniques are major outputs of our research group during 15 years. These are 1) improving quality of paddy after drying 2) drying related processes that can reduce process time and cost of production related to white rice, brown rice and parboiled rice.

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการจัดการข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อการปรับปรุงคุณภาพและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งสรุปจากผลงานการวิจัยที่ดำเนินการมาเป็นระยะเวลายาวนานกว่า 15 ปี ของกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีการอบแห้ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร่วมกับมหาวิทยาลัยมหาสารคาม และมหาวิทยาลัยศิลปากร ผลลัพธ์ที่สำคัญ ได้แก่ การเพิ่มคุณภาพข้าวด้านต่างๆ และกรรมวิธีการผลิตที่สามารถร่นระยะเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เกี่ยวกับข้าว ข้าวกล้อง และข้าวนึ่ง

1. บทนำ

ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวมีปริมาณความชื้นสูง ทำให้คุณภาพลดต่ำลงระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นจึงต้องลดความชื้นลง ระยะเวลาที่เก็บรักษาได้โดยปลอดภัยขึ้นอยู่กับความชื้นของข้าวเปลือก ถ้าความชื้นต่ำจะเก็บรักษาได้นาน แต่ถ้าการที่จะลดความชื้นของข้าวเปลือกให้แห้งมากๆ นั้นก็ไม่มีประโยชน์ เพราะนอกจากจะเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้นโดยไม่จำเป็นแล้ว ยังทำให้ข้าวแตกร้าวหรือแตกหักระหว่างการขนถ่ายหรือระหว่างการสีได้ง่าย ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษามีค่าประมาณร้อยละ 13-15 มูลฐานเปียก (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

การลดความชื้นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 2 วิธี คือ 1. **การตากแดดหรือตากลาน** ซึ่งใช้แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งความร้อน เป็นวิธีการที่ประหยัด ไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อเสียคือ ใช้แรงงานและพื้นที่ในการตาก และไม่สามารถควบคุมคุณภาพข้าวได้ 2. **การใช้เครื่องอบแห้ง** ซึ่งใช้อากาศร้อนเป็นตัวพาความร้อนไปสู่เมล็ด วิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถปฏิบัติได้ในทุกสภาวะอากาศ ใช้พื้นที่น้อย สามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับตามต้องการ สามารถควบคุมป้องกันความเสียหายต่อคุณภาพข้าวได้ แต่มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายสูง

คุณภาพข้าวเป็นคำที่กลุ่มคนซึ่งเกี่ยวข้องกับข้าวหลายกลุ่มที่คุ้นเคยและกำหนดขึ้นเป็นเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันของกลุ่มคนร่วมกัน ตามสถานภาพที่ต้องเกี่ยวข้องกับข้าว ตั้งแต่นักวิชาการ ผู้ปลูกข้าว เจ้าของโรงสี ผู้ซื้อข้าวเปลือกมาแปรรูปเป็นข้าวสาร ผู้ค้าข้าวซึ่งมีทั้งผู้ค้าข้าวเปลือก และข้าวสาร ขายข้าวให้ผู้ขายส่งและผู้ขายปลีกซึ่งจะขายต่อให้ผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องกำหนดคุณภาพข้าวเพื่อการซื้อขายต่อกัน โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าว คุณภาพการสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร และคุณภาพการหุงต้มตลอดจนการรับประทาน **คุณภาพทางกายภาพเป็นลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้** ซึ่งประกอบด้วย 1.**ขนาดและรูปร่างของเมล็ด** ในแต่ละประเทศนิยมข้าวที่มีขนาดและรูปร่างต่างกัน คนไทยนิยมข้าวเมล็ดยาวเรียว 2. **ท้องไข่** (chalkiness) เป็นจุดขาวขุ่นทึบแสงภายในเมล็ดข้าวเจ้า ซึ่งเกิดจากผลึกหรือกลุ่มแป้งภายในเมล็ดอัดกันไม่แน่นพอ ทำให้เกิดช่องอากาศเล็กๆ ขึ้น จัดเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งบอกคุณภาพและราคาข้าวเปลือก เนื่องจากเมล็ดข้าวที่เป็นท้องไข่มาก เมื่อนำไปสีจะทำให้เมล็ดหัก นอกจากนั้นยังเป็นลักษณะที่บอกถึงคุณภาพในลักษณะปรากฏแก่ผู้บริโภคซึ่งส่วนใหญ่ต้องการเมล็ดข้าวสารเจ้าที่ใสมากกว่าที่มีจุดขาวขุ่นภายในเมล็ด 3. **คุณภาพการสี**

[1] คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุ่งครุ กรุงเทพฯ

[1] School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Tungkru, Bangkok

[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทุ่งครุ กรุงเทพฯ

[2] Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Tungkru, Bangkok

[3] ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์ อำเภอเมือง นครปฐม

[3] Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus, Nakhon Pathom

ปริมาณข้าวสารและต้นข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือก เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพการสี ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการสีมี 3 ปัจจัยหลักคือ พันธุ์ข้าวหรือลักษณะประจำพันธุ์ การปฏิบัติการทั้งก่อนและหลังการเกี่ยว และกระบวนการสีข้าว

สำหรับคุณภาพการหุงต้มตลอดจนการรับประทานของข้าวสาร ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของเมล็ดแป้งในเมล็ด ดังนี้ ก. **ปริมาณแอมิโลส** (Amylose) การหุงต้มข้าวแอมิโลสสูงต้องการน้ำมาก และเมื่อสุกจะได้ข้าวร่วนฟู ได้ข้าวปริมาตรมาก เป็นข้าวขึ้นหม้อ ในขณะที่ข้าวแอมิโลสต่ำเป็นข้าวเหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนและไม่ขึ้นหม้อ ข. **ความคงตัวของแป้งสุก** (Gel consistency) ข้าวที่มีค่าความคงตัวอ่อนเมื่อสุกแล้วจะนุ่มกว่าข้าวที่มีค่าคงตัวแข็ง หากข้าวทั้งสองมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในระดับเดียวกัน ค. **อุณหภูมิที่แป้งสุก** (Gelatinization temperature) ข้าวเหนียวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงหรือปานกลาง จะนึ่งสุกยากหรือมีลักษณะนึ่งไม่สุก ข้าวเจ้าหากเป็นข้าวแอมิโลสต่ำและมีอุณหภูมิแป้งสุกสูง อาจมีปัญหาการหุงไม่สุกหรือข้าวแฉะ ง. **การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก** (Elongation ratio) ในระหว่างการหุงต้ม เช่น ข้าวสาร เมล็ดข้าวจะขยายตัวด้านความยาว ช่วยให้เป็นข้าวขึ้นหม้อ ซึ่งจะทำการทดสอบอัตราการยืดตัวของเมล็ดได้ จ. **กลิ่นหอม** วิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Gas chromatograph หรือใช้วิธีสกัดไล่สารระเหยออกมาแล้วดมกลิ่น

ต้นข้าว (Head rice) เป็นดัชนีหนึ่งที่สำคัญในการวัดคุณภาพของข้าวสาร ซึ่งหมายถึงข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีแล้วเหลือความยาวของเมล็ดข้าวร้อยละ 80 ขึ้นไป มีความสำคัญต่อการกำหนดราคาข้าว ปริมาณการหักของเมล็ดข้าวจะมากหรือน้อย ขึ้นกับ ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกก่อนการสี และวิธีการทำแห้ง โดยทั่วไป ข้าวจะมีปริมาณการแตกหักน้อยลงเมื่อทำการสีข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 13-15 มูลฐานเปียก แต่เนื่องจากข้าวขณะเก็บเกี่ยวมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง คือประมาณร้อยละ 20-25 มูลฐานเปียก จึงต้องทำการลดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกลงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมก่อนทำการขัดสี จึงจะสามารถลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวสารได้ อย่างไรก็ตาม สภาวะและวิธีการลดความชื้นของข้าวเปลือกแต่ละวิธีก็มีผลต่อปริมาณต้นข้าวที่แตกต่างกัน

สภาวะการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกนับว่ามีความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือก เนื่องจากเมล็ดข้าวเปลือกหลังจากทำให้แห้งแล้ว เมื่อนำไปเก็บ เมล็ดข้าวยังมีการหายใจอยู่ ทำให้เกิดความร้อนและความชื้นขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อรา และแบคทีเรีย ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาคุณภาพของข้าวให้มีการสูญเสียในขณะเก็บรักษาให้น้อยที่สุดทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ โดยทั่วไปควรเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 14 มูลฐานเปียก ไว้ในสภาพหรือโรงเก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศต่ำ (ในที่แห้งและเย็น) โดยทั่วๆ ไป **การเก็บรักษาข้าวมีอยู่ 4 วิธี** ได้แก่ 1. **การเก็บในสภาพปกติ** ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นวิธีที่นิยมใช้อยู่เป็นส่วนใหญ่ เพราะมีการลงทุนน้อย และเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่โอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษาสูง 2. **การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว** เช่น การเก็บข้าวไว้ในห้องเย็น 3. **การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ** ได้แก่ การเก็บข้าวไว้ในภาชนะเก็บที่มิดชิด สามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ การเก็บข้าวในสภาพปิดเช่นนี้ ความชื้นของข้าวจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะที่เก็บ ถ้าความชื้นของข้าวต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะต่ำ ข้าวที่เก็บจะเกิดความเสียหายน้อย ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของข้าวสูง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะสูง ข้าวที่เก็บจะเกิดความเสียหายมาก วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ผลดี และมีค่าใช้จ่ายต่ำ 4. **การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ** วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถป้องกันและลดความเสียหายของข้าวได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คงคุณภาพดี ได้เป็นเวลานาน แต่มีการลงทุน และเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลสูง เช่นการเก็บอนุรักษ์เชื้อพันธุ์ข้าวในธนาคารเชื้อพันธุ์

โดยทั่วไปข้าวจะมีคุณภาพที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ที่เรียกว่า**ข้าวเก่า** ซึ่งหมายถึงข้าวที่เก็บหลังจากการเก็บเกี่ยวจากท้องนาและนำมาลดความชื้นให้เหลือประมาณร้อยละ 13-15 มูลฐานเปียก แล้วเก็บรักษาไว้ในรูปของข้าวเปลือกไว้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 4-6 เดือน แล้วจึงนำมาทำการสีข้าวเพื่อเป็นข้าวสาร จุดประสงค์ของการทำข้าวเก่าเพื่อต้องการคุณภาพข้าวสุก ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการเลือกซื้อข้าวลักษณะของข้าวที่คนทั่วไปนิยมมาบริโภคคือ ข้าวที่หุงขึ้นหม้อ เมล็ดข้าวสุกร่วนไม่ติดกันเป็นก้อน แต่เนื่องจากระยะเวลาที่ทำให้ข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่าต้องใช้เวลานาน และต้องมีแผนในการจัดเก็บ ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมสถานที่จัดเก็บ การป้องกันการสูญเสียของข้าวจากการทำลายของแมลงและเชื้อรา ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียรายได้ ดังนั้นเพื่อลดระยะเวลาลงและเป็นการควบคุมคุณภาพข้าวเก่าให้ได้ตามที่ต้องการ จึงมีการพัฒนาวิธีการเร่งข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า โดยทั่วไปจะนำข้าวเปลือกที่ได้มาผ่านกระบวนการทางด้านความร้อน เช่น การนำข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง (ร้อยละ 22-25 มูลฐานเปียก) มาทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 130-150°C จนได้ความชื้นประมาณร้อยละ 18-20 มูลฐานเปียก แล้วนำข้าวเปลือกที่ได้ไปเก็บไว้ในที่อับอากาศ (Tempering) เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วจึงนำข้าวมาเป่าด้วยพัดลมเพื่อลดความชื้นให้ได้ประมาณร้อยละ 14 มูล

สูงกว่าเปียก พบว่า ค่าสมบัติต่างๆ ของข้าวในด้านการหุงต้มมีแนวโน้มคล้ายข้าวเก่า โดยทำให้ค่าอัตราการยืดตัวและการดูดซับน้ำของข้าวที่หุงสุกมีค่าสูง และมีปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำข้าวสุกลดลง ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่า ข้าวหลังจากการหุงสุกแล้วจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นหรือข้าวหุงขึ้นหม้อ สำหรับการที่ปริมาณของแข็งลดลงนั้นจะทำให้ข้าวสุกร่วนไม่ติดเกาะกันเป็นก้อน (มัทนียา เชี่ยวเวช และคณะ, 2549; อนุชา ใจกล้า และคณะ, 2549)

ปัจจุบันอาหารเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยม จึงส่งผลทำให้**ข้าวสุขภาพซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง**ได้รับความสนใจ เช่น **ข้าวกล้อง**ซึ่งนอกจากจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบแล้วยังอุดมไปด้วยไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวซึ่งนอกจากช่วยไม่ให้เส้นเลือดอุดตันแล้ว ยังมีเส้นใย ช่วยเพิ่มกากอาหารทำให้ขับถ่ายสะดวก วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวสุขภาพในรูปแบบอื่นๆ อีก เช่น ในบางประเทศได้มีการตัดต่อพันธุกรรมยีนของข้าวเพื่อให้ได้**ข้าวที่มีสีเหลืองทอง** (Golden rice) ซึ่งเป็นแหล่งของ**โปรวิตามินเอ**สูงกว่าข้าวขาว สำหรับในประเทศไทยก็มีการปรับปรุงพันธุ์โดยการผสมพันธุ์ข้าวที่ให้สีม่วงเข้ม ซึ่งเรียกข้าวชนิดนี้ว่า **ข้าวหอมนิล** ซึ่งองค์ประกอบหลักในสีม่วงเข้มนี้มีสารจำพวก Proanthocyanidin ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิตามินซี อี นอกจากนี้ยังมีข้าวอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจคือ **ข้าวกล้องงอก** หรือ **กาบาไรซ์** (GABA-rice) แต่เนื่องจากข้าวกล้องโดยทั่วไปปริมาณไขมันมากกว่าข้าวขาว ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ง่ายในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นกว่าข้าวขาว แป้งในข้าวสามารถย่อยสลายให้เป็นกลูโคสได้ตั้งแต่อัตราเร็วปานกลางถึงสูง บ่งบอกโดยค่า Glycemic index (GI) ซึ่งหากค่า GI สูง แป้งชนิดนั้นสามารถเปลี่ยนเป็นกลูโคสได้สูง ข้าวกล้องมีค่า GI ต่ำกว่าข้าวขาว จึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

การทำ**ข้าวนึ่ง** เป็นวิธีหนึ่งที่นอกจากช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ข้าวแล้ว ยังช่วยลดปริมาณข้าวหักระหว่างการสีอีกด้วย ข้าวนึ่งเป็นสินค้าออกของไทยมานานแล้ว โดยในแต่ละปี ประเทศไทยส่งข้าวนึ่งออกประมาณ 7 แสน ถึง 1 ล้านเมตริกตัน คิดเป็นมูลค่าหลายพันล้านบาท ข้าวนึ่งคุณภาพดีของไทยยังมีโอกาสพัฒนาได้อีกมาก เพราะต้นทุนข้าวเปลือกไทยราคาถูกกว่าประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นคู่แข่งที่สำคัญ ดังนั้นข้าวนึ่งจึงนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่ควรได้รับการส่งเสริมและพัฒนาอย่างยิ่ง ซึ่ง**กรรมวิธีพื้นฐานของการทำข้าวนึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่ต่อเนื่องกันคือ การแช่** (Soaking) **การนึ่ง** (Steaming) **และการอบแห้ง** (Drying)

2. วิธีการอบแห้ง

การอบแห้งเมล็ดพืชมักใช้การเป่าหรือดูดอากาศผ่านกองเมล็ดพืช อากาศที่ใช้อาจมีอุณหภูมิใกล้อากาศแวดล้อมหรือสูงกว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำอาจไม่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น ความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 70- 75 ภายใต้สภาวะอากาศดังกล่าว การลดความชื้นของข้าวเปลือกอาจใช้เวลานานหลายสัปดาห์ ดังนั้นข้าวจะเปลี่ยนสีจากขาวเป็นเหลือง และมีจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อราเกิดขึ้น จากที่กล่าวมาสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของแนวทางในการจัดการเกี่ยวกับการอบแห้ง เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ดีพร้อมกับระยะเวลาในการอบแห้งที่ไม่นานเกินไปจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสียหาย แนวทางหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกคือแบ่งการอบแห้งเป็นสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 100ºC เพื่อต้องการเร่งกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในข้าวซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูง จากนั้นตามด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำนั้น ควรเก็บไว้ในที่อับอากาศสักระยะหนึ่ง ซึ่งขั้นตอนนี้เมล็ดพืชจะไม่มีการสูญเสียความชื้น จะทำให้ลดการแตกหัก และหรือแตกร้าวของเมล็ดข้าวเปลือกลงได้มาก

2.1 ชนิดของเครื่องอบแห้งเมล็ดพืช

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงนั้นโดยส่วนใหญ่จะสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งสูง ดังนั้นควรเลือกชนิดของเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง เครื่องอบแห้งที่ใช้กันทั่วไปในการอบแห้งเมล็ดพืชสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.1 เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่

มักทำการอบแห้งเมล็ดพืชในกระบะที่มีความหนาของชั้นเมล็ดพืชไม่มากกว่า 50 cm เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของการทำงาน ทำให้ไม่เป็นที่นิยมใช้กันโดยเฉพาะในประเทศไทย

2.1.2 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง

ในเครื่องอบแห้งชนิดนี้ อากาศที่ใช้ในการอบแห้งจะไหลตัดผ่านทิศทางการไหลของเมล็ดพืช ดังรูปที่ 1ก บริเวณด้านบนของเครื่องอบแห้งมีที่เก็บเมล็ดพืช เมล็ดพืชจะไหลลงด้านล่างผ่านช่องแคบซึ่งกว้างประมาณ 0.3-0.45 เมตร และไหลออกด้านล่างของเครื่องอบแห้งด้วยตัวควบคุมการไหล ช่องแคบที่เมล็ดพืชไหลลงนี้อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนบนเป็นส่วนอบแห้ง และส่วนล่างเป็นส่วนที่ทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังการอบแห้งเสร็จ อัตราการไหลของอากาศที่ใช้แปรอยู่ระหว่าง 38-

76 $m^3/min \cdot m^3$ เมล็ดพืช ข้อเสียของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือ เมื่ออบแห้งเสร็จแล้วเมล็ดข้าวเปลือกแต่ละเมล็ดจะมีความชื้นไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลต่อมาถึงคุณภาพข้าวเปลือก

2.1.3 เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม

ในเครื่องอบแห้งแบบไหลตาม การไหลของเมล็ดพืชและของอากาศจะขนานกัน และมีทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่1ข เมล็ดพืชส่วนที่ชื้นที่สุดจะสัมผัสกับอากาศส่วนที่ร้อนที่สุด เมื่อเมล็ดพืชไหลต่ำลงมาอากาศที่ใช้อบแห้งจะเริ่มเย็นลง และเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดลง เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะไม่สัมผัสกับอากาศที่ร้อนจัด ดังนั้นจึงสามารถใช้อากาศในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมากได้ ทำให้อบแห้งได้เร็ว ข้อดีอย่างหนึ่งของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือ การแตกร้าวของเมล็ดพืชมีน้อย เพราะเมล็ดพืชส่วนที่แห้งที่สุดจะสัมผัสกับอากาศแห้งที่เย็นที่สุด เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะไหลลงสู่ด้านล่างด้วยตัวควบคุมการไหลซึ่งถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ หรือความชื้นของเมล็ดพืช

2.1.4 เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง

ในเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง การไหลของเมล็ดพืชและของอากาศอบแห้งมีขนานกัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังรูปที่ 1ค เมล็ดพืชจะไหลจากด้านบนของเครื่องอบแห้งลงสู่ด้านล่าง ขณะที่อากาศที่ใช้อบแห้งจะไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ข้างบน เมล็ดพืชส่วนที่อยู่ล่างสุดจะมีความชื้นน้อยที่สุด แต่ไม่ต่ำกว่าความชื้นข้าวเปลือกที่จะเก็บรักษา คือ ประมาณร้อยละ 14.5 มูลฐานเปียก อัตราการขนย้ายเมล็ดพืชออกจากเครื่องอบแห้งถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นของเมล็ดพืช หลังจากเมล็ดพืชออกจากเครื่องอบแห้งแล้ว จะถูกทำให้เย็นลงก่อนที่จะเก็บรักษา

เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทางมีข้อดีคือ การใช้ความร้อนสัมผัสในอากาศอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเมล็ดพืชที่อยู่ชั้นล่างไม่แห้งเกินไป และอากาศอบแห้งตรงทางออกจะสัมผัสกับเมล็ดพืชส่วนที่ชื้นที่สุด ทำให้อุณหภูมิของอากาศอบแห้งที่ออกจากเครื่องอบแห้งมีค่าต่ำ

2.1.5 เครื่องอบแห้งแบบผสม

ในเครื่องอบแห้งแบบผสมมีลักษณะผสมผสานของเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทางและแบบไหลตาม โดยออกแบบให้มีท่อลมเข้าและท่อลมออกสลับกันไปตามความสูงของเครื่องอบแห้งดังรูปที่ 1ง เครื่องอบแห้งแบบนี้มีข้อดีคือ สามารถลดความชื้นได้ค่อนข้างสม่ำเสมอเนื่องจากมีการผสมผสานกันของเมล็ดพืช นับเป็นเครื่องอบแห้งที่มีผู้นิยมใช้กันมากสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก

2.1.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด

ฟลูอิไดเซชันเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้เมล็ดพืช หรืออนุภาคของแข็งมีการเคลื่อนที่คล้ายของเหลวได้ โดยให้กระแสของไหลไหลผ่านชั้นของวัสดุด้วยความเร็วสูงเพียงพอที่จะทำให้แรงเสียดทานระหว่างที่ผิวของวัสดุกับกระแสของไหลสมดุลกับน้ำหนักของวัสดุที่อยู่ในห้องอบแห้ง โดยทั่วไปความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเมล็ดพืชนั้นควรมีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน ด้วยลักษณะของฟลูอิไดเซชันที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เมล็ดพืชสัมผัสกับอากาศร้อนเป็นไปอย่างทั่วถึง และสามารถใช้อุณหภูมิสูงมากในการอบแห้ง เป็นผลให้การลดลงของความชื้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว และใช้เวลาในการอบแห้งสั้นเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีขนาดเล็กและให้อัตราการอบแห้งสูง อย่างไรก็ตามในกรณีที่ความชื้นของข้าวเปลือกต่ำกว่าร้อยละ 19 มูลฐานเปียก ไม่แนะนำให้ใช้การอบแห้งโดยวิธีนี้ เนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งสูง และเมล็ดข้าวอาจมีการแตกหักและหรือแตกร้าวมาก

รูปที่ 1จ แสดงเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่องที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก เมล็ดพืชและอากาศมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่ตั้งฉากกัน เมล็ดพืชไหลเข้าห้องอบแห้งทางด้านซ้ายของรูป และไหลออกทางด้านขวา ความหนาของชั้นเมล็ดพืชในห้องอบแห้งถูกควบคุมโดยใช้แผ่นกั้นซึ่งติดตั้ง ณ บริเวณทางออกของเมล็ดพืช และอัตราการไหลของเมล็ดพืชเข้าและออกถูกควบคุมโดยตัวป้อน จากการศึกษาพบว่าควรอบแห้งข้าวที่อุณหภูมิ 130-150°C ความหนาของชั้นเมล็ดพืชในห้องอบแห้ง 10 cm ความเร็วของอากาศในห้องอบแห้ง 2.3 m/s อัตราการหมุนเวียนอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งและนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 80 หากใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกหักและหรือแตกร้าวของข้าว ไม่ควรลดความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 18-19 มูล-ฐานเปียก จากงานวิจัยพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C ไม่มีผลต่อการลดลงของร้อยละต้นข้าว แต่กลับทำให้ได้ต้นข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวอ้างอิงซึ่งเป็นข้าวที่ลดความชื้นโดยการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม (Poomsa-ad et al., 2005) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดเจลของแป้งข้าวโดยเกิดขึ้นเพียงบางส่วน การอบแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวนอกจากจะได้ต้นข้าวที่เพิ่มขึ้นแล้ว ยังส่งผลดีต่อการคุณภาพข้าวในแง่ของลดการสูญเสียเนื่องจากแมลงกัดกิน และอาจเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้บริโภคที่มีปัญหาเกี่ยวกับปริมาณน้ำตาลในเลือดสูง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.2 การพักในที่อับอากาศ (Tempering)

การพักในที่อับอากาศเป็นขั้นตอนหนึ่งในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากที่เมล็ดพืชผ่านการลดความชื้นลงมาระดับหนึ่งก่อนที่จะนำไปอบแห้งในขั้นตอนต่อไป จุดประสงค์ของการพักในที่อับอากาศนั้นก็เพื่อต้องการลดแรงเค้นภายในเมล็ดพืช ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความชื้นระหว่างภายในและที่ผิวของเมล็ด ในกรณีที่ไม่มีการพักระหว่างกระบวนการอบแห้ง จะส่งผลให้ข้าวมีรอยร้าวมากและได้ร้อยละต้นข้าวน้อย (Steffe, Singh and Bakshi, 1979; Poomsa-ad et al., 2005) นอกจากคุณภาพที่ดีขึ้นแล้ว การพักในที่อับอากาศเป็นระยะเวลานานอย่างเพียงพอช่วยให้ความชื้นในเมล็ดกระจายสม่ำเสมอ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้นเมื่อนำเมล็ดพืชมาอบแห้งอีกครั้ง ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานในการอบแห้ง

ระยะเวลาในการพักเมล็ดพืชไว้ในที่เก็บอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบแห้ง และความชื้นของเมล็ดพืชที่ลดลงในช่วงเวลาของการอบแห้ง การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง และปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชลดลงน้อยจะใช้เวลาในการพักเก็บไว้ในที่อับอากาศสั้นกว่าในกรณีที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำ และ ปริมาณความชื้นลดลงมาก จากรายงานการวิจัยต่างๆ พบว่า ปัจจัยของอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อระยะเวลาในการพักในที่อับอากาศมากกว่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชที่ลดลง (Steffe and Singh, 1980; Poomsa-ad et al., 2002) ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกด้วยวิธีฟลูอิไดเซชันจากความชื้นเริ่มต้นใด ๆ เหลือความชื้นร้อยละ 18.5 มูลฐานเปียก โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 150°C หลังผ่านการอบแห้งแล้วควรพักข้าวเป็นเวลาอย่างน้อย 25 นาที ก่อนที่จะนำไปอบแห้งในขั้นต่อไป (Poomsa-ad et al., 2005)

ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกจากร้อยละ 18.5 มูลฐานเปียก เหลือร้อยละ 14.5 มูลฐานเปียกนั้นเป็นขั้นตอนที่ยาก เนื่องจากความชื้นส่วนใหญ่อยู่ภายในเมล็ด การเร่งอบแห้งโดยการใช้อุณหภูมิสูงทำให้ข้าวแตกหักมาก และเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เทคนิคการอบแห้งในที่เก็บ (In-store drying) จะมีความเหมาะสม ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.3 การเป่าอากาศแวดล้อม

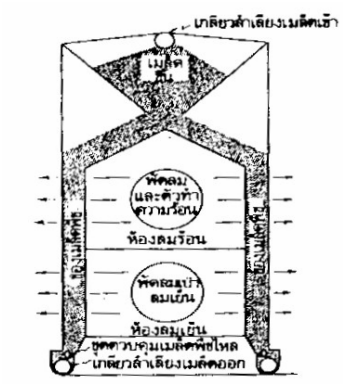
การเป่าอากาศแวดล้อมผ่านชั้นเมล็ดพืชหลังการอบแห้งมีจุดประสงค์เพื่อที่จะลดอุณหภูมิของเมล็ดพืชลง ก่อนที่จะนำเมล็ดพืชไปเก็บไว้ในไซโล หรือยุ้งฉาง ช่วยป้องกันการควบแน่นของไอน้ำเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้เมล็ดพืชบางส่วนมีความชื้นสูงขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดเชื้อราตามมา ในขณะที่เป่าด้วยอากาศแวดล้อมเพื่อลดอุณหภูมิของเมล็ดพืชลงนั้นจะมีการสูญเสียความชื้นของเมล็ดพืชด้วย

รูปที่ 1ฉ แสดงการเป่าอากาศแวดล้อมผ่านชั้นกองเมล็ดพืชที่เก็บไว้ในที่เก็บ ความหนาของชั้นเมล็ดพืชจะสูงกว่าเครื่องอบแห้งชนิดอื่นๆ การอบแห้งดำเนินไปอย่างช้าๆ กินเวลานานหลายสัปดาห์ เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งยาวนาน การเจริญเติบโตของเชื้อรา และการสูญเสียมวลแห้งของเมล็ดพืชเนื่องจากการหายใจของเมล็ดพืชอาจมีมากเกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ความชื้นของเมล็ดพืชที่นำมาอบแห้งไม่ควรสูงกว่าร้อยละ 18 มูลฐานเปียก ในกรณีสภาวะอากาศร้อนชื้น Soponronnarit et al. (1995) แนะว่าความสูงของชั้นข้าวเปลือกควรอยู่ระหว่าง 3-4 เมตร อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งค่อนข้างต่ำ โดยแปรอยู่ระหว่าง 0.5-1 $m^3/min \cdot m^3$ เมล็ดข้าวเปลือก อากาศที่ใช้ในการอบแห้งโดยวิธีนี้ส่วนใหญ่จะใช้อากาศแวดล้อมซึ่งจะให้ทั้งคุณภาพและประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีกว่าการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน นอกจากนี้เมล็ดพืชไม่แห้งเกินไปและมีการแตกร้าวน้อย ในวันที่ฝนตก หรือวันที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมากกว่าร้อยละ 75 อาจมีความจำเป็นที่จะต้องอุ่นอากาศขึ้นประมาณ 2-3ºC ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการดูดความชื้นกลับของเมล็ดพืชที่แห้งแล้ว

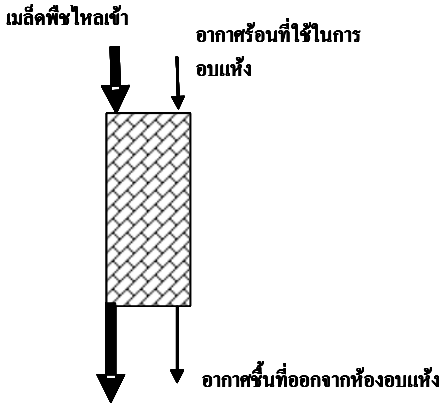
2.4 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ซึ่งแตกต่างจากหัวข้อที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นสภาวะที่ไอน้ำมีสถานะเป็นแก๊สไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ยกตัวอย่างเช่น เมื่อต้มน้ำที่ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำจะเดือดกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 100ºC เมื่อนำไอดังกล่าวมาให้ความร้อนต่อจนอุณหภูมิของไอน้ำสูงกว่า 100ºC สถานะของไอดังกล่าวเรียกว่าไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีนานมากกว่า 100 ปี โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า การนำไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาใช้ในการอบแห้งมีน้อยมากโดยเฉพาะกับเมล็ดพืช Taechapairoj et al. (2004) ได้ทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่าข้าวที่ได้มีลักษณะคล้ายข้าวนึ่ง จากการค้นพบดังกล่าวนี้ ทำให้มีความก้าวหน้าในการผลิตข้าวนึ่งอย่างมาก เนื่องจากการผลิตข้าวนึ่งด้วยวิธีการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการนึ่งข้าวก่อน นั่นคือขั้นตอนของการนึ่งและการอบแห้งสามารถรวมเป็นขั้นตอนเดียว ซึ่งทำให้สามารถประหยัดเวลาในการทำข้าวนึ่งได้ค่อนข้างมาก ด้วยวิธีการทำข้าวนึ่งแบบทั่วไปจะใช้เวลาอย่างน้อย 3-4 ชั่วโมงซึ่งรวมขั้นตอนของการนึ่งและการอบแห้ง **แต่ด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งนี้จะ**

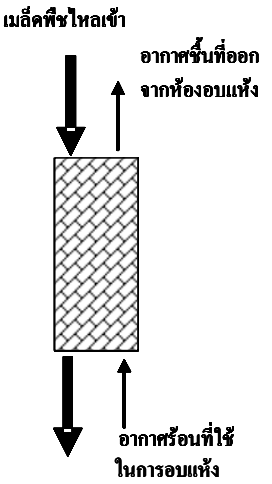
ใช้เวลาเพียงแค่ 5-6 นาที อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนี้ ไม่สามารถอบแห้งข้าวนึ่งให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 18.5 มูลฐานเปียก เนื่องจากข้าวจะหักหรือแตกร้าวมาก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการลดลงของต้นข้าว ควรเก็บในที่อับอากาศแล้วตามด้วยการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมจนความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 14 มูลฐานเปียก



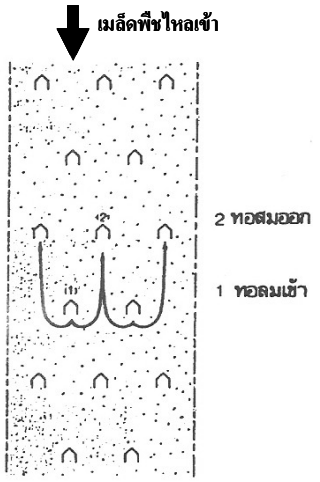
ก) เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง



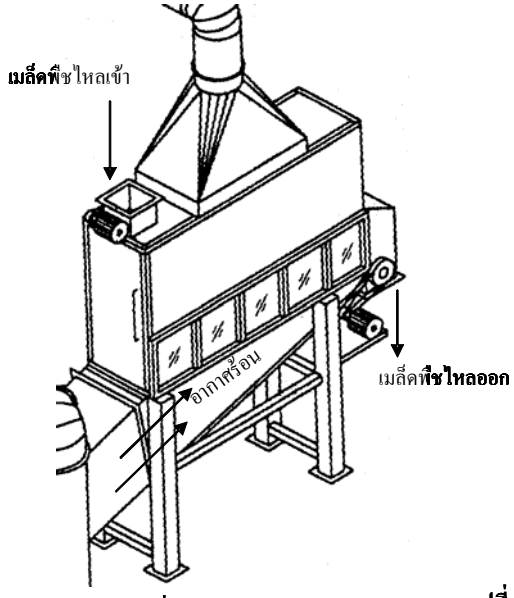
ข) เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม



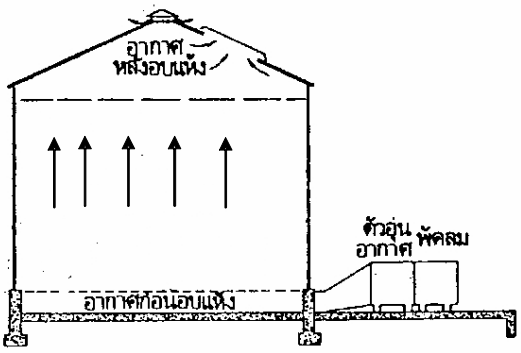
ค) เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง



ง) เครื่องอบแห้งแบบผสม



จ) เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบด



ฉ) เครื่องอบแห้งในที่เก็บ

รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชชนิดต่างๆ

3. การเพิ่มต้นข้าว

การเพิ่มต้นข้าว เป็นการลดปริมาณข้าวหักที่เกิดขึ้นระหว่างการขัดสี ซึ่งสามารถทำได้โดยการควบคุมปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกก่อนการสี การทำให้ข้าวเปลือกสุกทั้งเมล็ด ที่เรียกกันว่าข้าวนึ่ง หรือ การทำให้ข้าวเปลือกสุกเป็นบางส่วน โดยการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง เพื่อให้มีการเกิดโครงสร้างของ

เจลแป้งที่แข็งแรง ทำให้ทนต่อแรงกระทำจากการขัดสี จึงลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวสารได้ การเพิ่มต้นข้าวโดยการทำให้ข้าวเปลือกสุกก่อนการสี จะต้องมีการเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวเปลือกก่อนนำไปทำให้แห้ง ถ้าเป็นการทำข้าวนึ่งจะต้องเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวเปลือกเป็น 33% มูลฐานเปียก แต่ถ้าเป็นการทำข้าวที่สุกบางส่วน จะต้องเพิ่มความชื้นให้แก่ข้าวเปลือกเป็นร้อยละ 22-25 มูลฐานเปียก นอกจากนี้จะต้องมีการควบคุมสภาวะการทำแห้งให้เหมาะสมในแต่ละวิธีด้วย

เทคนิคฟลูอิไดซ์เบด นับว่าเป็นวิธีการทำแห้งข้าวเปลือกที่มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความชื้นของเมล็ดข้าวลดลงได้รวดเร็วขึ้น ทำให้ร่นระยะเวลาในการทำแห้ง นอกจากนี้เมล็ดข้าวมีการผสมผสานกันได้ดี จึงทำให้คุณภาพของเมล็ดข้าวใกล้เคียงกัน ทั้งนี้สามารถเลือกใช้ตัวกลางที่ให้ความร้อนได้ 2 แบบคือ อากาศร้อนหรือไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิประมาณ 140-150^{O}C ถ้าใช้อากาศร้อนจะทำให้ได้ข้าวสุกบางส่วน ที่บริเวณผิวนอกของเมล็ดข้าว จึงทำให้ทนต่อแรงกระทำระหว่างการขัดสี และมีปริมาณเมล็ดแตกหักน้อยลง แต่ถ้าใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะทำให้ได้ข้าวสุกเกือบทั้งเมล็ดหรือเต็มเมล็ด จึงทำให้ทนต่อแรงกระทำระหว่างการขัดสีได้มากขึ้น และมีปริมาณเมล็ดแตกหักน้อยลงกว่าการใช้อากาศร้อน (Rordprapat et al., 2002) อย่างไรก็ตาม พบว่าข้าวสารที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะมีสีที่เหลืองเข้มกว่า Taweerattanapanich et al. (1999) และ Poomsa-ad et al. (2002) **ทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดพบว่า สามารถเพิ่มต้นข้าวได้อย่างมาก** โดยมีเงื่อนไขดังนี้ ใช้อากาศร้อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 140-150^{O}C ความชื้นข้าวเปลือกก่อนการอบแห้งร้อยละ 23-26 มูลฐานเปียก โดยลดความชื้นลงเหลือประมาณร้อยละ 18-19 มูลฐานเปียก แล้วนำไปเก็บในที่อับอากาศประมาณ 30 นาที จากนั้นเป่าด้วยอากาศแวดล้อมจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 14.5 มูลฐานเปียก

4. การเร่งทำข้าวเก่า (Accelerating Aging)

จากการศึกษาของ Juliano (1985) พบว่า เมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงหลังจากการเก็บเกี่ยว เมื่อนำมากองรวมกันเอาไว้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในกองข้าวสูงถึง 60^{O}C เนื่องจากเมล็ดข้าวมีอัตราการหายใจสูง มีการใช้อาหารอย่างรวดเร็ว และมีการเจริญของเชื้อรา และแบคทีเรียสูง ทำให้เมล็ดข้าวเกิดความเก่าได้เร็วขึ้น และพบว่า ข้าวเก่าที่ผ่านการเก็บรักษาจะมีความเหนียวของข้าวสุกลดลง ซึ่งจากการทดลองเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 28-30^{O}C ความคงตัวของเจลจะลดลง ส่วนความหนืดของแป้งสุกและความแข็งของข้าวสุกจะเพิ่มขึ้น จากการทดสอบความเก่าของข้าวโดยการชิมของยุพร จรรยงค์วรกุล (2539) พบว่าเนื้อสัมผัสของข้าวเก่าจะแข็งกว่าข้าวใหม่ ซึ่งเนื้อสัมผัสของข้าวที่แข็งจะให้ค่า Setback สูง และความคงตัวของเจลมีค่าน้อย ในการอบข้าวเปลือกหอมมะลิในภาชนะปิดสนิท โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่ 40, 45, 50, 55, 60, 65 และ 70^{O}C และมีการอบข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วงร้อยละ 13-24 มูลฐานเปียก พบว่า ถ้าใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วงร้อยละ 20-24 มูลฐานเปียก และใช้อุณหภูมิในการอบสูงกว่า 55^{O}C ขึ้นไป สามารถเร่งการเปลี่ยนแปลงสมบัติความหนืดน้ำแป้งของข้าวจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่า โดยการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้นจะใช้เวลาในการอบน้อย การอบเพื่อเร่งความเก่านี้ยังส่งผลทำให้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออบข้าวเปลือกที่ความชื้นสูง (วินิต ชินสุวรรณ และ ภูสิทธ์ วรรณชารี, 2545) นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บในที่อับอากาศ หลังจากลดความชื้นด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดช่วยทำให้เพิ่มสมบัติความเป็นข้าวเก่าและคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือกหลังการอบแห้งดีขึ้น (Taweerattanapanich et al., 1999)

มัทนียา เชี่ยวเวช และคณะ (2549) และ อนุชา ใจกล้า และคณะ(2549) ทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดด้วยอากาศร้อน โดยมีเงื่อนไขดังนี้ ใช้อากาศร้อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 150^{O}C ความชื้นข้าวเปลือกก่อนการอบแห้งร้อยละ 21-25 มูลฐานเปียก โดยลดความชื้นลงเหลือประมาณร้อยละ 18-19 มูลฐานเปียก แล้วนำไปเก็บในที่อับอากาศประมาณ 120 นาที จากนั้นเป่าด้วยอากาศแวดล้อมจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 14.5 มูลฐานเปียก ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที **รวมระยะเวลาทั้งหมดประมาณ 153 นาที พบว่า สามารถทำการเร่งข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่าได้ โดยสมบัติต่างๆ ของข้าวมีลักษณะคล้ายกับข้าวที่เก็บรักษาโดยวิธีธรรมชาติเป็นระยะเวลา 4-6 เดือน**

5. ข้าวสุขภาพ

ข้าวสุขภาพที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ได้แก่ ข้าวกล้อง ข้าวหอมนิล และข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้อง (Cargo rice, Loonzain rice, Brown rice, Husked rice) คือ ข้าวที่ผ่านการกระเทาะเอา เปลือกออกเท่านั้น จึงหมายถึง ข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว ข้าวที่ได้จึงเป็นข้าวที่มีสีขาวขุ่น แต่เป็นข้าวที่ยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่มาก เป็นส่วนที่มีคุณค่าอาหาร เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

การบริโภคข้าวกล้องจะได้คุณค่าทางอาหารหลายอย่าง เช่น คาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีน ช่วยเสริมสร้าง ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ได้ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่ให้พลังงาน และความอบอุ่นแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับประโยชน์จากสารอาหารอื่น ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่มาก เป็นส่วนใหญ่ในข้าวคือ วิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 ไนอาซิน (Niacin) ข้าวกล้องยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุ ที่สำคัญต่อร่างกาย คือ แคลเซียม-ฟอสฟอรัส ส่วนในจมูกข้ายังมี วิตามินอี ซิลิเนียม และแมกนีเซียม ส่วนเส้นใยอาหารซึ่งเป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มีอยู่มากในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวของข้าวกล้อง เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะผ่านกระเพาะและลำไส้เล็กได้ง่าย เนื่องจากน้ำย่อยไม่สามารถย่อยเส้นใยอาหารได้ทั้งหมด จึงถูกขับออกมา และช่วยพาสิ่งที่ตกค้างอยู่ในลำไส้ออกไปเป็นกากอาหาร ทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการท้องผูกและช่วยป้องกันการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ด้วย (http://rx12.wsnhosting.com/herb/sativa.html)

ข้าวเจ้าหอมนิล มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงประมาณ 293 ไมโครโมล/กรัม มีน้ำมันรำข้าวร้อยละ 18 ซึ่งร้อยละ 80 เป็นชนิด C18:3, C18:2 และพบว่ามี omega-3 ประมาณร้อยละ 1-2 รำข้าวเจ้าหอมนิล มีปริมาณ Digestible fiber ถึงร้อยละ 10 จากข้อมูลคุณภาพแป้งและโภชนาการนับได้ว่าข้าวเจ้าหอมนิล เป็นข้าวที่มีศักยภาพในการแปรรูปทางอุตสาหกรรมอาหารสูง ในการทำ Cracker หรือ Cookie ข้าวพันธุ์นี้มี Proanthocyanidin ทำให้สีข้าวมีสีม่วงคล้ำ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิตามินซี อี และ เบตาแคโรทีน มีวิตามินอี วิตามินบี คอมเพล็กซ์ และแอนโทไซยานิน ที่ช่วยทำให้เส้นผมดำ นุ่มสลวย ไม่แตกปลาย ทำให้การไหลเวียนของเส้นเลือดฝอยดีขึ้น ช่วยบำรุงรากผมให้แข็งแรง กระตุ้นให้ผมมีสีเข้มขึ้นตามธรรมชาติ ชะลอการเกิดผมหงอกก่อนวัย (http://www.organicthailand.com/product.php?cat=20400&lang=th) ข้าวเจ้าหอมนิลนับเป็นข้าวที่มีโภชนาการสูง เหนียวนุ่ม เมล็ดยาว และมีกลิ่นหอม ข้าวเจ้าหอมนิลมีโปรตีนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 10-12.5 มีธาตุเหล็กแปรปรวนระหว่าง 2.25-3.25 มิลิกรัม/100 กรัม แคลเซียม 4.2 มิลลิกรัม/100 กรัมและธาตุสังกะสีประมาณ 2.9 มิลลิกรัม

ข้าวกล้องงอก (Germinated brown rice, GBR) หรือ กาบาร์ไรซ์ (Gamma-aminobutyric acid rice, GABA-rice) "GABA-rice" ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับ ความสนใจจากผู้ประกอบภาคเอกชนทั้งไทยและต่างประเทศ เป็นอย่างมาก เนื่องจาก GABA ถือเป็นกรดอะมิโนที่ผลิตจากกระบวนการ Decarboxylation ของ กรดกลูตามิก (Glutamic acid) กรดนี้จะมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ GABA ยังถือเป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้ง (Inhibitor) โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ซึ่งช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยกระตุ้น Anterior pituitary ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และเกิดสาร Lipotropic ซึ่งเป็นสารช่วยย่อยไขมัน (Ito & Ishikawa, 2004)

แม้ว่าข้าวกล้องต่างๆ จัดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่นิยมบริโภค แต่เนื่องจากในการเก็บรักษาข้าวกล้องมักประสบปัญหาการเกิดกลิ่นเหม็นหืนเนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ปริมาณมากกว่าข้าวขาวปกติ จึงทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นอีกทั้งค่า Glycemic index อยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน **ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดซ์เบด ความชื้นข้าวเปลือกก่อนการอบแห้งประมาณร้อยละ 25 มูลฐานเปียก โดยลดความชื้นลงเหลือประมาณร้อยละ 18-18.5 มูลฐานเปียก แล้วนำไปเก็บในที่อับอากาศประมาณ 120 นาที จากนั้นเป่าด้วยอากาศแวดล้อมจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 15.5 มูลฐานเปียก พบว่า สามารถทำให้ข้าวกล้องหลังผ่านการอบแห้งนั้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระลดต่ำลง จึงมีผลต่อการเก็บรักษาข้าวกล้องได้นานขึ้นโดยไม่เหม็นหืน อีกทั้งค่า Glycemic index ลดลงด้วย ดังนั้นจึงเป็นข้าวที่เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน** (ดลฤดี ใจสุทธิ์ และคณะ , 2550)

6. เทคนิคใหม่สำหรับการผลิตข้าวนึ่ง

ประเทศไทยเป็นแหล่งกสิกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่ง พืชเศรษฐกิจที่สำคัญได้แก่ ข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าว ผลผลิตข้าวนอกจากใช้สำหรับบริโภคภายในประเทศ ยังสามารถส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลกมาหลายปี ข้าวนึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากข้าวเปลือก โดยกระบวนการผลิตมี 3 ขั้นตอนหลัก 1. การแช่เพื่อทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30-35 มูลฐานเปียก โดยทั่วไปแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 60-80^{O}C 2. การนึ่งเพื่อทำเม็ดแป้งของข้าวที่แช่มาแล้วให้เป็นเจล 3. การอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่มีอยู่ในข้าวเปลือกนึ่งลงเหลือร้อยละ 14 มูลฐานเปียก ก่อนจะนำไปเก็บรักษาหรือขัดสีให้เป็นข้าวนึ่ง ผลจากกระบวนดังกล่าวข้างต้นทำให้ข้าวนึ่งที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขาว (Dimopoulos & Muller, 1972)

จากกระบวนการผลิตข้าวนึ่งดังกล่าวต้น ในขั้นตอนการแช่น้ำเป็นขั้นตอนสำคัญต่อการผลิตข้าวนึ่งเพราะการทำให้ความชื้นเริ่มต้นสูงพอต่อการเกิดเจลาติไนเซชันซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการแช่ ส่วนขั้นตอนของการนึ่งและการอบแห้งนั้นสามารถรวมเป็นขั้นตอนเดียวกัน จะสามารถลดต้นทุนรวมถึงระยะเวลาการผลิตที่ลดลง และลดการใช้พลังงานด้วย จากงานวิจัย Taweerattanapanish et al. (1999) พบว่า การอบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นสูงด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 140-150^{O}C ข้าวที่ได้จะมีลักษณะคล้ายข้าวนึ่ง ต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางแทนอากาศร้อนในการนึ่ง และอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิ-ไดซ์เบดสำหรับข้าวเปลือกที่ความชื้นสูงประมาณร้อยละ 30-31 มูลฐานเปียก (Taechapairoj et al., 2003; Taechapairoj et al., 2004; Soponronnarit et al., 2004) จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวพบว่า ข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยกระบวนการดังกล่าวมีลักษณะเป็นข้าวนึ่ง โดยข้าวสารที่ได้จากการขัดสีมีปริมาณการหักของข้าวลดลง นอกจากนี้สีของข้าวสารยังมีลักษณะสีเหลืองขึ้น และมีปริมาณจุดขุ่นขาวตรงใจกลางเมล็ดลดลง จากการศึกษาของสมคิด โฆษิตพันธวงศ์ และคณะ (2549) พบว่า การแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 90 ^{O}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะไม่พบจุดขุ่นขาวเลย

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น **ในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันโดยการประยุกต์ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งแทนอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 150^{O}C ซึ่งใช้ระยะเวลาลดความชื้นประมาณ 3-4 นาที พบว่า ข้าวเปลือกที่ได้หลังจากกระบวนการดังกล่าวมีลักษณะเป็นข้าวนึ่ง** ซึ่งเป็นข้อเด่นในการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ทำให้ลดขั้นตอนการผลิตโดยรวมขั้นตอนการนึ่งและขั้นตอนการอบแห้งเข้าด้วยกัน ช่วยลดเวลาในกระบวนการผลิตข้าวนึ่งลงหลายชั่วโมงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการผลิตแบบเดิมๆ

7. บทสรุป

จากการวิจัยและพัฒนาเทคนิคฟลูอิไดเซชันสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก ร่วมกับการเก็บข้าวเปลือกหลังการอบแห้งในที่อับอากาศ และตามด้วยการเป่าอากาศแวดล้อม ทำให้ได้กระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังนี้

1. ต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้นจากก่อนการอบแห้ง
2. ข้าวสุขภาพที่ย่อยได้ช้า (Low glycemic index) เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน
3. ข้าวกล้องที่สามารถเก็บรักษาได้นาน เนื่องจากกลิ่นเหม็นหืนลดลง
4. ข้าวเก่าประดิษฐ์ โดยวิธีการเร่งทำข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า
5. กระบวนการผลิตข้าวนึ่งแบบใหม่ที่ใช้เวลาประมาณ 5 นาที น้อยมากเมื่อเทียบกับกรรมวิธีแบบเดิม

คำขอบคุณ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยอย่างต่อเนื่องนานกว่าสิบปี

เอกสารอ้างอิง

ดลฤดี ใจสุทธิ์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, วารุณี วารัญญานนท์, พัชรี ตั้งตระกูล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2550, ผลของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดต่อ Glycemic Index และคุณภาพข้าวกล้องหอมมะลิ, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8*, 22-24 มกราคม 2550, ขอนแก่น

มัทนียา เชี่ยวเวช, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, พัชรี ตั้งตระกูล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2549, การเร่งความเก่าของข้าวเปลือกโดยเทคนิคในการอบแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการเทมเปอร์, *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 7*, 23-24 มกราคม 2549 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม, 482-490

ยุพร จรรยงค์วรกุล, 2539, ข้าวหอมกับคนญี่ปุ่น, *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 34, 4-6, 149-152

วินิต ชินสุวรรณ และ ภูสิทธิ์ วรรณชารี, 2545, การเร่งความเก่าข้าวเปลือกหอมมะลิโดยการอบในภาชนะปิด, *วิศวกรรมสาร ม.ข.*, 29, 1-2, 131-146

สมคิด โฆษิตพันธวงศ์, วารุณี เตีย, ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2549, อิทธิพลของเวลาของการแช่ ที่มีต่อการผลิตข้าวนึ่งโดยเทคนิคฟลูอิไดเซชันที่ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง,*การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2*, 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540, *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*, พิมพ์ครั้งที่ 7, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 338 หน้า

อนุชา ใจกล้า, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, วารุณี วารัญญานนท์ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2549, เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการรักษาคุณภาพข้าวเปลือกที่อบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน, *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2*, 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

Dimopoulos, J.S., and Muller, H.G., 1972. Effect of processing conditions on protein extraction and composition and on some other physicochemical characteristics of parboiled rice, *Cereal Chemistry*, 49: 54-62.

http://rx12.wsnhosting.com/herb/sativa.html , 24/03/2550.

http://www.organicthailand.com/product.php?cat=20400&lang=th, 24/03/2550

Ito, S & Ishikawa, Y., 2004. Marketing of value-added rice products in Japan: germinated brown rice and rice bread., *FAO Rice Conference*, 12-13 February 2004, Rome, Italy, 1-10.

Juliano, B.O. 1985. Rice: Chemistry and Technology, *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, MN, USA.

Poomsa-ad, N., Soponronnarit, S. Prachayawarakorn, S. and Terdyothin, A., 2005, Investigation on head-rice yield and operating time in the fluidised-bed drying process: Experiment and simulation, *Journal of Stored Products Research*, 41, 387-400.

Poomsa-ad, N., Soponronnarit, S. Prachayawarakorn, S. and Terdyothin, A., 2002, Effect of tempering on subsequent drying of paddy using fluidisation technique, *Drying Technology-An International Journal*, 20, 195-210.

Rordprapat, W., Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A. and Tia, W. 2002. Comparative of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam, *Proceedings of the International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering*, AIT, Bangkok, Thailand, 453-466.

Soponronnarit, S., Wongvirojtana, P., Nathakaranakule, A and Chinsakolthanakorn, S., 1995, Design charts for in-store paddy drying under hot and humid climates, *Agri. Engineering J.*, 4, 147-162.

Soponronnarit, S, Taechapairoj, C, Prachayawarakorn, S. 2004. New technique for producing parboiled rice, *The Journal of the Royal Institute of Thailand*, 29(1), 78-86.

Steffe, J.F. and R.P. Singh, 1980, Theoretical and practical aspects of rough rice tempering, *Trans. of the ASAE,* 23, 775-782.

Steffe, J.F., Singh, R.P and Bakshi, A.S., 1979, Influence of tempering time and cooling on rice milling yields and moisture removal, *Trans. of the ASAE*, 22, 1214-1218, 1224.

Taechapairoj, C., Dhuchakallaya, I., Soponronnarit, S., Wetchacama,S., and Prachayawarakorn, S., 2003. Superheated steam fluidised bed paddy drying, *Journal of food Engineering*, 58, 67-73.

Taechapairoj, C, Prachayawarakorn, S, Soponronnarit, S., 2004. Characteristics of rice dried in superheated steam fluidised bed, *Drying Technology-An International Journal*, 22(4), 719-743.

Taweerattanapanish, A., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., Kongseri, N., and Wongpiyachon, S., 1999. Effect of drying on rice yield using fluidization technique, *Drying Technology-An International Journal*, 17(1&2), 345-353.