

เอกสารเผยแพร่ สำนักประสานงาน
“งานวิจัยเชิงนโยบายเกษตรและเสริมสร้างเครือข่ายงานวิจัยเชิงนโยบาย”
สถาบันคลังสมองของชาติ ร่วมกับ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ข้าวนี้ของไทย:

จากการค้าสู่การสำรวจความรู้ในกระบวนการผลิต

โดย

น้ำฝน ลำดับวงศ์

วิระเชษฐ์ จิตตานิชย์

พัฒนทิพย์ ริมภาการณ

บรรณาธิการ

ปิยะทัศน์ พาพอนุรักษ์

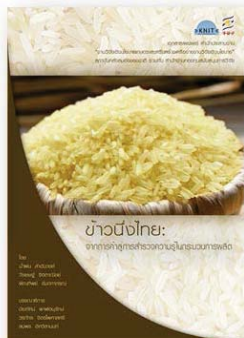
วรภัทร จิตรไพศาลศรี

สมพร อิศวิลานนท์

พิมพ์ครั้งที่ 1: พฤศจิกายน 2560

เอกสารวิชาการหมายเลข 11

จัดพิมพ์โดย: สถาบันคลังสมองของชาติ



อาคารอุดมศึกษา 2 ชั้น 19

เลขที่ 328 ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี
กรุงเทพฯ 10400

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ชั้น 14 อาคารเอส เอ็ม ทาวเวอร์

เลขที่ 979/17-21 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

ข้อมูลทางบรรณานุกรม

น้ำฝน ลำดับวงศ์, วีรเชษฐ์ จิตตานิชย์, พิณทิพย์ รัมภาภรณ์.

ข้าวนี้ไทย: จากการค้าสู่การสำรวจความรู้ในกระบวนการผลิต.-- กรุงเทพฯ :
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2560.

112 หน้า.

1. ข้าวนี้. I. ชื่อเรื่อง.

ISBN 978-616-417-044-5 หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (E-book, pdf)

เอกสารฉบับนี้ เป็นการสังเคราะห์จากงานวิจัย เรื่อง

“การสำรวจเอกสารเรื่อง ข้าวนี้: กระบวนการผลิต สมบัติเชิงหน้าที่ และปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวนี้”

ศึกษาโดย รศ.ดร.น้ำฝน ลำดับวงศ์ รศ.ดร.วีรเชษฐ์ จิตตานิชย์ และ ดร.พิณทิพย์ รัมภาภรณ์

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ภายใต้สัญญาเลขที่ RDG5820031

คำนิยม

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) มียุทธศาสตร์ในการบริหารจัดการทุนวิจัยและการบริหารองค์กรให้ตอบสนองต่อทิศทางการพัฒนาประเทศ ภายใต้ยุทธศาสตร์ “ประเทศไทย 4.0” โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (Growth and Competitiveness) สร้างความเสมอภาคและเท่าเทียมกันทางสังคม (Inclusive growth) สร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green growth) บนพื้นฐานของการเติบโตอย่างยั่งยืน (Sustainable growth)

ฝ่ายเกษตร สกว. มีพันธกิจในการสนับสนุนงานวิจัย เพื่อการยกระดับความสามารถในการแข่งขันของภาคเกษตรกรรมและคุณภาพชีวิตของเกษตรกรไทย โดยให้การสนับสนุนการสร้างองค์ความรู้เฉพาะที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ประโยชน์ พร้อมๆ กับให้ความสำคัญในการพัฒนาข้อความรู้ด้านวิชาการในงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อยอดทั้งในเชิงวิชาการและในเชิงพาณิชย์ รวมถึงเป็นข้อมูลประกอบการจัดทำข้อเสนอนโยบายของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับภาคเกษตรกรรม

สกว. ได้สนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษาเรื่อง “การสำรวจเอกสารเรื่อง ข้าวหนึ่ง: กระบวนการผลิตสมบัติเชิงหน้าที่ และปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง” ศึกษาโดย รศ.ดร.น้ำฝน ลำดับวงศ์ และคณะ เนื้อหาจากผลการศึกษาบางส่วนในโครงการวิจัยได้ถูกรวบรวมและสังเคราะห์ขึ้นเป็นเอกสารวิชาการ “ข้าวหนึ่งไทย: จากการค้าสู่การสำรวจความรู้ในกระบวนการผลิต” เป็นการสำรวจข้อความรู้ ทบทวนวรรณกรรม และวิเคราะห์ข้อความรู้ด้าน “ข้าวหนึ่ง” ซึ่งเป็นข้าวที่ประเทศไทยมีศักยภาพสูงในการส่งออกและแข่งขันในตลาดโลก โดยเอกสารฉบับนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นมาและความสำคัญของข้าวหนึ่งซึ่งเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญในภูมิภาคเอเชียใต้ การผลิตข้าวหนึ่งของไทยในอดีตและปัจจุบัน ตลอดจนการประมวลข้อความรู้จากงานวิจัยด้านกระบวนการผลิตอื่นๆ

การจัดทำสังเคราะห์ผลการศึกษาจากงานวิจัยขึ้นเป็นเอกสารวิชาการฉบับที่ 11 เล่มนี้ มีสำนักประสานงาน “งานวิจัยเชิงนโยบายเกษตรและเสริมสร้างเครือข่ายงานวิจัยเชิงนโยบาย” สถาบันคลังสมองของชาติ เป็นบรรณาธิการ ซึ่ง สกว. ขอแสดงความชื่นชมและขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สกว. หวังว่าเอกสารวิชาการฉบับนี้จะช่วยเป็นฐานความรู้ให้กับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมข้าวหนึ่งของไทยได้ใช้ในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานสินค้า ให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้อย่างยั่งยืน

ศาสตราจารย์นายแพทย์สุทธิพันธุ์ จิตพิมลมาศ

ผู้อำนวยการ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

คำนิยาม

สถาบันคลังสมองของชาติ ภายใต้มูลนิธิส่งเสริมทบวงมหาวิทยาลัยมีหน้าที่เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของภาครัฐในการแก้ปัญหาและพัฒนาประเทศ ริเริ่มแนวคิดทางวิชาการใหม่ๆ เสนอต่อภาครัฐ อันนำไปสู่การพัฒนาเชิงรุกของประเทศ และรวมถึงสร้างความเข้มแข็งและขีดความสามารถในการแข่งขันให้แก่ภาคเอกชน โดยยุทธศาสตร์และทิศทางการดำเนินงานของสถาบันฯ ในช่วงปี พ.ศ. 2559 – 2563 คือ 1) หนุนเสริมเพื่อสร้างความเข้มแข็งของมหาวิทยาลัย 2) ใช้ประโยชน์จากพลังของบุคลากรอุดมศึกษาเพื่อการพัฒนาประเทศและสังคม และ 3) วิจัยเชิงนโยบายเพื่อพัฒนาระบบอุดมศึกษาและการพัฒนาประเทศ

จากยุทธศาสตร์การวิจัยเชิงนโยบาย ทางสถาบันฯ มีความร่วมมือกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในการจัดตั้งสำนักประสานงาน “งานวิจัยเชิงนโยบายเกษตรและเสริมสร้างเครือข่ายงานวิจัยเชิงนโยบาย” โดยมี รศ.สมพร อิศวิลานนท์ เป็นผู้ประสานงาน วัตถุประสงค์ส่วนหนึ่ง คือ เพื่อพัฒนาความรู้งานวิจัยเชิงนโยบายเกษตรให้เอื้อประโยชน์ต่อการนำไปใช้ตอบโจทย์ข้อปัญหาในมิติต่างๆ พร้อมทั้งยกระดับศักยภาพของนักวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาให้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ตลอดจนถอดความรู้และเผยแพร่ความรู้จากงานวิจัยให้กับประชาคมกลุ่มต่างๆ

การจัดทำเอกสารวิชาการจากการสังเคราะห์ผลการศึกษาของโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สกว. ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักประสานงานฯ เป็นช่องทางหนึ่งในการเผยแพร่ผลการศึกษาและข้อมูลของงานวิจัยให้เกิดการใช้ประโยชน์ในวงกว้าง

สถาบันคลังสมองของชาติขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนการจัดพิมพ์และเผยแพร่ข้อความดังกล่าว ทางสถาบันฯ มีความยินดีและหวังเป็นอย่างยิ่งที่เอกสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษาจากสถาบันอุดมศึกษา ผู้ที่สนใจ รวมถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจากภาครัฐในการใช้เป็นข้อมูลประกอบการกำหนดนโยบายเกษตรของประเทศต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.พีรเดช ทองอำไพ

ผู้อำนวยการสถาบันคลังสมองของชาติ

คำนำผู้เขียน

ข้าวหนึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวที่สำคัญอย่างหนึ่งประเทศ ทั้งในเชิงปริมาณและมูลค่าการส่งออก ด้วยเหตุนี้ ความรู้ความเข้าใจชนิดและคุณภาพข้าวหนึ่งไทย กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับการกำหนดทิศทางการเตรียมวัตถุดิบ การกำหนดนโยบายการผลิต และการส่งเสริมการค้าข้าวหนึ่งของประเทศไทย ในการนี้นักวิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับการรวบรวม วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของ ข้าวหนึ่ง และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์สมพร อิศวิลานนท์ สถาบันคลังสมองของชาติ ที่เห็นความสำคัญและความเชื่อมโยงระหว่างการค้าและความรู้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งของประเทศ เป็นผู้ริเริ่มแนวความคิดดังกล่าวให้นักวิจัย รวมถึงให้ความเห็นและปรับแก้เนื้อหาให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และ ดร.ปิยะทัศน์ พาหอนุรักษ์ สถาบันคลังสมองของชาติ สำหรับการประสานงานที่มีประสิทธิภาพให้งานดังกล่าว สำเร็จเป็นอย่างดี

คณะนักวิจัย

บทบรรณาธิการ

ประเทศไทยมีการผลิต “ข้าวหนึ่ง” เป็นสินค้าส่งออกมานานนับทศวรรษ แต่ผลิตภัณฑ์ข้าวหนึ่งที่ประเทศไทยทำการผลิตและส่งออก จัดเป็นข้าวหนึ่งในกลุ่มคุณภาพปานกลาง เนื่องจากมักเป็นข้าวหนึ่งที่มีสีเหลืองเข้ม ปริมาณผลผลิตหลังการขัดสีต่ำ ทั้งที่จริงแล้วมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวหนึ่งที่สามารถควบคุมหรือคัดเลือก เพื่อผลิตข้าวหนึ่งให้มีคุณลักษณะตามที่ต้องการ เช่น การคัดเลือกพันธุ์ข้าว ปริมาณแอมิโลส ปริมาณโปรตีน อุณหภูมิและระยะเวลาการแช่ข้าว รวมไปถึงกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาปัจจัยดังกล่าวและมีรายงานไว้มากพอสมควร แต่ยังไม่มีการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับ “ข้าวหนึ่งของประเทศไทย” เช่น การเลือกพันธุ์ข้าวที่ให้เนื้อสัมผัสแข็งหรือนุ่มหลังผ่านกระบวนการนึ่ง การกำหนดเกณฑ์การเลือกชนิดข้าวตามปริมาณแอมิโลส รวมถึงผลจากกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณลักษณะข้าวอันได้แก่ สี ความใส คุณภาพเนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหนึ่ง

เอกสารเล่มนี้เป็นการสังเคราะห์เนื้อหาจากรายงานการศึกษาเรื่อง “การสำรวจเอกสารเรื่อง ข้าวหนึ่ง: กระบวนการผลิต สมบัติเชิงหน้าที่ และปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง” โดย รศ.ดร.น้ำฝน ลำดับวงศ์ และคณะ ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้สัญญาที่ RDG5820031 มีเป้าหมายเพื่อการสำรวจข้อความรู้และทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับข้าวหนึ่ง โดยจะให้ความสำคัญกับการผลิตข้าวหนึ่งของไทยในอดีตและปัจจุบัน เพื่อได้มาซึ่งฐานข้อมูลความรู้ที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมข้าวหนึ่งไทย สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาคุณภาพ รวมถึงศักยภาพในการแข่งขันในการส่งออกข้าวหนึ่งของประเทศ และสามารถนำไปใช้ในการผลิตข้าวหนึ่งให้ตรงกับความต้องการของตลาดเป้าหมายต่อไป

เอกสารฉบับนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก กล่าวคือ บทที่ 1 นำเสนอข้อมูล “ข้าวหนึ่งและตลาดการค้า” ได้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นมาและความสำคัญของข้าวหนึ่งซึ่งเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญในภูมิภาคเอเชียใต้ ตลาดส่งออกที่สำคัญ การค้า และมาตรฐานด้านคุณภาพ ในบทที่ 2 ได้เน้นความสำคัญเกี่ยวกับ “การผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทย” ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน พันธุ์ข้าวที่ใช้ กรรมวิธีการผลิต เครื่องจักรและกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม รวมถึงการคำนวณสมดุลมวลสารและพลังงาน และในบทสุดท้ายได้ “ประมวลข้อความรู้จากงานวิจัยด้านกระบวนการผลิต” ที่แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีและปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ และท้ายสุดได้วิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสีข้าวหนึ่งสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

สำนักประสานงาน “งานวิจัยเชิงนโยบายเกษตรและเสริมสร้างเครือข่ายงานวิจัยเชิงนโยบาย” เห็นว่างานวิจัยนี้ได้นำเสนอข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมข้าวหนึ่งของประเทศ ซึ่งสำนักประสานงานฯ ขอขอบคุณ รศ.ดร.น้ำฝน ลำดับวงศ์ และคณะ ที่ได้เป็นผู้จัดทำสังเคราะห์ข้อความรู้จากรายงานวิจัยขึ้นเป็นเอกสารวิชาการเล่มนี้ มา ณ โอกาสนี้

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทที่ 1	ข้าวหนึ่งและตลาดการค้า	1
	1.1 ข้าวหนึ่งสินค้าดั้งเดิมของชาวเอเชียใต้	1
	1.2 ตลาดการค้าข้าวหนึ่ง	2
	1.3 ตลาดส่งออกข้าวและข้าวหนึ่งของไทย	4
	1.4 การเคลื่อนไหวราคาข้าวหนึ่งส่งออกของไทย	7
	1.5 มาตรฐานข้าวหนึ่งไทย	8
	เอกสารอ้างอิง (1)	11
บทที่ 2	การผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทย	13
	2.1 การผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทย	13
	2.2 พันธุ์ข้าวเปลือกไทยที่ใช้ในการผลิตข้าวหนึ่ง	14
	2.3 กรรมวิธีการผลิตข้าวหนึ่ง	16
	2.4 เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งในระดับอุตสาหกรรม	19
	2.5 การคำนวณสมมูลมวลสารและสมมูลพลังงานของกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทย	31
	เอกสารอ้างอิง (2)	35
บทที่ 3	ประมวลข้อความรู้จากงานวิจัยด้านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง	39
	3.1 งานวิจัยด้านองค์ประกอบทางเคมีและปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง	39
	3.2 งานวิจัยด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ	62
	3.3 การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสีข้าวหนึ่งสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า และความ ร้อนร่วมในประเทศไทย	84
	3.4 ข้อสังเกตโดยสรุป	89
	เอกสารอ้างอิง (3)	91

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ปริมาณการนำเข้าข้าวหนึ่งตามภูมิภาคต่างๆ ในปี พ.ศ. 2556	3
ตารางที่ 1.2	การส่งออกข้าวหนึ่งของผู้ส่งออกที่สำคัญ 4 ประเทศในตลาดการค้าข้าวหนึ่งโลกในปี พ.ศ. 2550 - 2558	3
ตารางที่ 1.3	ปริมาณการส่งออกข้าวหนึ่ง และการส่งออกข้าวรวมทั้งหมดของไทย พ.ศ. 2550 - 2558	6
ตารางที่ 1.4	ปริมาณ และมูลค่าการส่งออกข้าวหนึ่งไปในภูมิภาคต่างๆ ของไทยพ.ศ. 2553 - 2558	6
ตารางที่ 1.5	ราคาส่งออกข้าวหนึ่งของไทย พ.ศ. 2550 - 2558	8
ตารางที่ 1.6	มาตรฐานข้าวหนึ่งของไทยปี พ.ศ. 2540	10
ตารางที่ 2.1	ตัวอย่างพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทย	14
ตารางที่ 3.1	ค่าคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยวิธี Texture Profile Analysis ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องและข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ	52
ตารางที่ 3.2	การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	53
ตารางที่ 3.3	ค่าปริมาณร้อยละต้นข้าวของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องและข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	58
ตารางที่ 3.4	ข้อมูลกระบวนการแช่ของข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่างๆ	63
ตารางที่ 3.5	ข้อมูลกระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่างๆ	64
ตารางที่ 3.6	ข้อมูลกระบวนการอบแห้งของข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่างๆ	65
ตารางที่ 3.7	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวกล้องนึ่ง ข้าวสารนึ่งและข้าวสารทางการค้า	67
ตารางที่ 3.8	การสูญเสียวิตามินไทอะมินในระหว่างการแช่ การนึ่งด้วยไอน้ำและการขัดสีของข้าวเปลือก	68
ตารางที่ 3.9	การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี (วิตามินอี และวิตามินบี 2) ของข้าวหนึ่งสายพันธุ์ต่างๆ	69
ตารางที่ 3.10	องค์ประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้อง ข้าวกล้องนึ่ง ข้าวสารนึ่งและข้าวสารทางการค้า	72
ตารางที่ 3.11	ผลของการขัดสีและกระบวนการทำข้าวหนึ่งต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวแดงและข้าวดำ	73

ตารางที่ 3.12	ปริมาณกลูโคสในเลือด และการตอบสนองของอินซูลินในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 หลังการบริโภคอาหารที่ทดสอบ	79
ตารางที่ 3.13	ปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชในข้าวดิบและข้าวึ่งพันธุ์ Calrose, Doongara และ Waxy (กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)	79
ตารางที่ 3.14	ปริมาณโทโคเฟอร์รอล และโทโคไทรอินอลของแป้งข้าวกล้อง	80
ตารางที่ 3.15	ปริมาณอริซานอลของข้าวบาสมати ข้าวจายา และข้าวึ่ง	80
ตารางที่ 3.16	ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์ระบบกังหันไอน้ำ และเชื้อเพลิงแกลบภายในโรงสีทั้งหมด	87
ตารางภาคผนวก		97

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1	ปริมาณการส่งออกข้าวึ่งของ 4 ประเทศผู้ส่งออกสำคัญปี พ.ศ. 2550 – 2558	4
ภาพที่ 1.2	ปริมาณการส่งออกข้าวรวมทุกชนิดของไทยไปในภูมิภาคต่างๆ ของโลกปี พ.ศ. 2552 – 2558	4
ภาพที่ 1.3	การส่งออกข้าวของไทยตามชนิดของข้าว ปี พ.ศ. 2556 – 2558	5
ภาพที่ 1.4	การเคลื่อนไหวราคาส่งออกข้าวึ่ง 100 % ของไทยในช่วงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2548 – มกราคม พ.ศ. 2559	8
ภาพที่ 2.1	กรรมวิธีการผลิตข้าวึ่ง	18
ภาพที่ 2.2	เครื่องสูดตัวอย่างข้าว	19
ภาพที่ 2.3	เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก	19
ภาพที่ 2.4	ถังสำหรับแช่ข้าวในโรงงานขนาดเล็ก	20
ภาพที่ 2.5	ถังสำหรับแช่ข้าวในโรงงานขนาดใหญ่	20
ภาพที่ 2.6	เครื่องนึ่งข้าว	21
ภาพที่ 2.7	เครื่องอบแห้งแบบบรรจุตัวอย่างในกระสอบ	22
ภาพที่ 2.8	เครื่องอบแห้งแบบกระบะ	22
ภาพที่ 2.9	เครื่องอบแห้งแบบถังหมุนเวียน	23
ภาพที่ 2.10	เครื่องอบแห้งแบบคอลัมน์ชนิดเมล็ดพืชไม่ไหลคลุกเคล้า	24

ภาพที่ 2.11	เครื่องอบแห้งแบบคอลัมน์ชนิดเมล็ดพืชมีการคลุกเคล้า	24
ภาพที่ 2.12	เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า	26
ภาพที่ 2.13	เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	27
ภาพที่ 2.14	เครื่องอบแห้งแบบโรตารี	27
ภาพที่ 2.15	เครื่องกะเทาะเปลือกแบบหินโม	28
ภาพที่ 2.16	เครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกกลิ้งยางหรือสายพานหมุน	29
ภาพที่ 2.17	เครื่องขัดขาวแนวตั้งแบบชุดผิวเมล็ดข้าว	30
ภาพที่ 2.18	เครื่องขัดขาวแนวนอน	30
ภาพที่ 2.19	เครื่องคัดขนาดข้าว	31
ภาพที่ 2.20	ตัวอย่างสมดุลมวลสารของโรงงานสีข้าวหนึ่งแห่งหนึ่ง	32
ภาพที่ 2.21	ตัวอย่างสมดุลพลังงานของโรงงานสีข้าวหนึ่งแห่งหนึ่ง	33
ภาพที่ 3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าความขาวของการแช่ข้าวเปลือกที่ผ่าน การแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส	42
ภาพที่ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความขาวของข้าวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกกับ ระยะเวลาการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่ อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง	44
ภาพที่ 3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความขาวของข้าวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกกับ ระยะเวลาการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่ อุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่างๆ	45
ภาพที่ 3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของการแช่ข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่ อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส	51
ภาพที่ 3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และค่าของความเป็นท้องไขของการแช่ ข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส	55
ภาพที่ 3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละความเป็นท้องไขกับระยะเวลาในการอบแห้ง ด้วย เทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ ระยะเวลาต่างๆ	56

ภาพที่ 3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละความเป็นท้องไข่ (White belly) และระยะเวลาในการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่อุณหภูมิน้ำแช่ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาแช่ 3 ชั่วโมง	57
ภาพที่ 3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และร้อยละต้นข้าว ของการแช่ข้าวเปลือกที่ผ่านการ แช่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ	58
ภาพที่ 3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และร้อยละต้นข้าวของข้าวเปลือกกับ ระยะเวลาการทำให้แห้ง ด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่ อุณหภูมิเริ่มต้น 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง	60
ภาพที่ 3.10	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างกระบวนการทำข้าวหนึ่งและผลกระทบ ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	66
ภาพที่ 3.11	ผลของสายพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุหลักในข้าวหนึ่ง	70
ภาพที่ 3.12	ผลของสายพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนในข้าวหนึ่ง	70
ภาพที่ 3.13	ผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่อปริมาณธาตุสังกะสีของข้าวหนึ่งสายพันธุ์ต่างๆ	71
ภาพที่ 3.14	ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	74
ภาพที่ 3.15	การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือดหลังการบริโภคอาหาร 4 ประเภท	76
ภาพที่ 3.16	ค่าดัชนีน้ำตาลของตัวอย่างที่ทดสอบ	76
ภาพที่ 3.17	ปริมาณกลูโคสในพลาสมา (A) และการตอบสนองของอินซูลินในซีรัม (B) ของผู้ป่วย โรคเบาหวาน ชนิดที่ 2 เมื่อบริโภคอาหาร 4 ประเภท	78
ภาพที่ 3.18	แอลฟา-ทอโคไทรอินอล, แกมมา - ทอโคไทรอินอล, แอลฟา - ทอโคเฟอรอล, แกมมา - ทอโคเฟอรอล และวิตามินอีทั้งหมดในข้าวกล้องและข้าวกล้องหนึ่ง	81
ภาพที่ 3.19	ปริมาณแกมมา - ออริซานอลในข้าวกล้องและข้าวกล้องหนึ่ง เริ่มต้นหลังการเก็บรักษานาน 6 เดือน และหลังการหุงต้มเมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน	81
ภาพที่ 3.20	ผลของการขัดสีและกระบวนการทำข้าวหนึ่งต่อปริมาณฟีนอลิกอิสระในข้าวแดงและ ข้าวดำ	82
ภาพที่ 3.21	เปอร์เซ็นต์การใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการสีข้าวหนึ่งของโรงสีที่ 1	84
ภาพที่ 3.22	เปอร์เซ็นต์การใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการสีข้าวหนึ่งของโรงสีที่ 2	85
ภาพที่ 3.23	เปอร์เซ็นต์การใช้ปริมาณพลังงานความร้อนในกระบวนการแช่ นึ่ง และอบแห้ง ข้าวหนึ่งของโรงสีที่ 1 และ 2	85

บทที่ 1

ข้าวหนึ่งและตลาดการค้า¹

ในบทนี้จะนำเสนอถึงกำเนิดของข้าวหนึ่ง ตลาดการค้าข้าวหนึ่งของโลก และผู้ส่งออกรายสำคัญ ตลอดจนข้อมูลการส่งออกข้าวหนึ่งของไทย การเคลื่อนไหวของราคา และรวมถึงมาตรฐานสินค้าข้าวหนึ่ง

1.1 ข้าวหนึ่งสินค้าดั้งเดิมของชาวเอเชียใต้

ข้าวหนึ่งหรือข้าวพาร์บอยส์ (Parboiled rice) เป็นข้าวสารที่ใช้ในการบริโภค โดยผ่านกระบวนการนำเอาข้าวเปลือกไปแช่น้ำแล้วผ่านการนึ่งด้วยความร้อนแล้วนำมาตากให้แห้งก่อนจะสีเอาเปลือกออก เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวสาร ดังนั้น การแปรรูปข้าวเปลือกให้เป็นข้าวหนึ่งจึงมีกระบวนการประกอบด้วยสามขั้นตอน ได้แก่ การแช่ข้าวเปลือก การนำข้าวเปลือกที่แช่น้ำมานึ่ง และการอบแห้ง ก่อนที่จะนำไปสีให้เป็นข้าวสาร ข้าวหนึ่งมีแหล่งกำเนิดในอินเดียและแพร่ขยายไปในเอเชียใต้ ผู้คนในประเทศดังกล่าวได้รู้จักการทำข้าวหนึ่ง เพื่อเก็บไว้บริโภคในครัวเรือนมานานนับพันปีโดยกระบวนการผลิตดั้งเดิม ก่อนที่ข้าวหนึ่งจะพัฒนาขึ้นเป็นอุตสาหกรรมและแพร่กระจายไปในตลาดการค้าทั้งในเอเชียใต้ ตะวันออกกลาง ยุโรปและแอฟริกา เป็นต้น

ข้าวหนึ่งเป็นวิถีชีวิตและภูมิปัญญาดั้งเดิมของครัวเรือนในเอเชียใต้ที่ต้องการถนอมสารอาหารที่ติดอยู่กับเปลือกในของเมล็ดข้าวโดยสร้างกระบวนการให้สารอาหารไปเคลือบอยู่กับเมล็ดข้าวแทน โดยไม่ถูกการขัดสีออกจากกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร โดยเฉพาะสารอาหารไทอะมิน (Thiamine) ที่เป็นองค์ประกอบของวิตามินบี 1 ไนอะซิน (Niacin) รวมถึงธาตุโพแทสเซียม (Potassium) แมกนีเซียม (Magnesium) ซึ่งมีอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว นอกจากนี้การที่เมล็ดข้าวถูกความร้อนยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของข้าว ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความแข็งแรงไม่หักเปราะง่ายและมีความวาวของเมล็ด เมื่อนำข้าวหนึ่งหรือ ข้าวพาร์บอยส์ไปหุง จะได้ข้าวสวยที่คงรูปของเมล็ดข้าว และมีความเหนียวน้อยกว่ารวมถึงการไม่เกาะตัวของเมล็ดข้าวที่หุงสุก (Bhattacharya and Ali, 2015; Anne, 2014) ข้าวหนึ่งเป็นที่นิยมของประชากรในประเทศอินเดียและหลายประเทศในเอเชียใต้ ได้แก่ บังคลาเทศ ศรีลังกา ปากีสถาน เป็นต้น

การแพร่กระจายของภูมิปัญญาและวัฒนธรรมการบริโภคข้าวหนึ่งจากอินเดียและเอเชียใต้ ไปสู่ภูมิภาคส่วนอื่นๆ ของโลก เกิดขึ้นในราวคริสต์ศตวรรษที่ 19 และ 20 เนื่องจากเกิดการระบาดของโรคเหน็บชา (Beriberi) ในหมู่ประชากรชาวอินโดนีเซีย อันเป็นผลจากการขาดวิตามินบี 1 หรือ ขาดไทอะมิน ในกลุ่มคนที่

¹ เนื้อหาในบทนี้จัดเตรียมขึ้นโดย รศ.สมพร อิศวิลานนท์ ดร.ปิยะทัศน์ พาพอนุรักษ์ และวรภัทร จิตรไพศาลศรี สถาบันคลังสมองของชาติ

ขอบริโภคข้าวสารขัดขาวที่ได้จากการสีด้วยเครื่องจักรกล จนทำให้วิตามินที่ติดอยู่ระหว่างเมล็ดข้าวกับเปลือกข้าวถูกขัดถูออกไปด้วย ส่วนกลุ่มคนที่ไม่ได้บริโภคข้าวสารขัดขาวจะไม่ปรากฏโรคดังกล่าว จึงเกิดการค้นพบว่า หากร่างกายมนุษย์ขาดวิตามินบี 1 จะทำให้เกิดโรคเหน็บชา และ วิตามินบี 1 มีมากในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว ซึ่งต่อมาได้นำไปสู่การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหนึ่งในระบบอุตสาหกรรมพร้อมๆ กับการขยายตัวของการค้าข้าว นี่ไปในวันออกกลาง ยุโรป อเมริกา และในแอฟริกาตามมา

1.2 ตลาดการค้าข้าวหนึ่ง

ในภูมิภาคเอเชีย ข้าวเป็นพืชอาหารหลักของประชากร ประมาณร้อยละ 85 ของการบริโภคข้าวของโลกนั้น เป็นการบริโภคข้าวของประชากรในเอเชีย (จำนวน 482 ล้านตัน ข้าวสารในปี 2558) ทั้งนี้ประชากรในเอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะนิยมบริโภคข้าวสารขัดขาวมากกว่าการบริโภคข้าวหนึ่ง ส่วนประชากรในเอเชียใต้จะนิยมบริโภคข้าวหนึ่งกันเป็นส่วนใหญ่

ข้อมูลจาก Global Trade Atlas บ่งชี้ว่าปริมาณการค้าข้าวหนึ่งของโลกในปี พ.ศ. 2558 มีประมาณ 6.14 ล้านตัน หรือ คิดเป็นร้อยละ 14.68 ของปริมาณการค้าข้าวโลก ผู้นำเข้าข้าวหนึ่งที่สำคัญจะอยู่ในภูมิภาคแอฟริกาและตะวันออกกลาง ในภูมิภาคแอฟริกาประเทศนำเข้าข้าวหนึ่งที่สำคัญประกอบด้วย เบนิน แอฟริกาใต้ แคมeroon ไนจีเรีย ไชวอริโคสต์ ไนจีเรีย และกินี เป็นต้น

เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลการนำเข้ารายภูมิภาค ในที่นี้จะนำเสนอข้อมูลการนำเข้าในปี พ.ศ. 2556 ซึ่ง เรียงชัย ต้นสุชาติ และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาไว้ พบว่าภูมิภาคแอฟริกามีปริมาณนำเข้าข้าวหนึ่งจำนวน 4.60 ล้านตัน หรือ ร้อยละ 75.77 ของตลาดการค้าข้าวหนึ่ง ส่วนในภูมิภาคตะวันออกกลางจะมีสัดส่วนทางการตลาดข้าวหนึ่งรองลงมา โดยมีการนำเข้าประมาณ 0.71 ล้านตัน หรือ ร้อยละ 11.70 ของปริมาณข้าวหนึ่งในตลาด ส่วนในภูมิภาคเอเชียมีปริมาณนำเข้ารวมประมาณ 0.39 ล้านตัน หรือ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 6.36 ของตลาดนำเข้า สำหรับสัดส่วนของของการนำเข้าข้าวหนึ่งในยุโรปและอเมริกามีการนำเข้าข้าวหนึ่งไม่มากนักคิดเป็นร้อยละ 3.35 และ 2.07 ของตลาดนำเข้าทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 1.1)

อย่างไรก็ตามทั้งในภูมิภาคแอฟริกาและตะวันออกกลาง นอกจากจะนำเข้าข้าวหนึ่งแล้วยังนำเข้าข้าวสารเจ้า ข้าวหอม และข้าวบาสมาดิ ด้วยเช่นกัน เพราะในภูมิภาคดังกล่าวมีการผลิตข้าวหนึ่ง มีอุปทานผลผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการบริโภคภายในภูมิภาค จึงต้องนำเข้าเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะขาดแคลนข้าวที่เป็นอาหารพื้นฐานภายในภูมิภาค

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการนำเข้าข้าวหนึ่งตามภูมิภาคต่างๆ ในปี พ.ศ. 2556

รายการ	แอฟริกา	ตะวันออก กลาง	เอเชีย	ยุโรป	อเมริกา	อื่นๆ	รวม
ปี พ.ศ. 2556 (หน่วย: พันตัน)							
จำนวน	4,597.86	707.75	385.78	202.98	125.69	47.92	6,067.98
ร้อยละ	75.77	11.66	6.36	3.35	2.07	0.79	100.00

ที่มา: Global Trade Atlas (2556) อ้างโดย เรียงชัย ต้นสุชาติ และคณะ (2559)

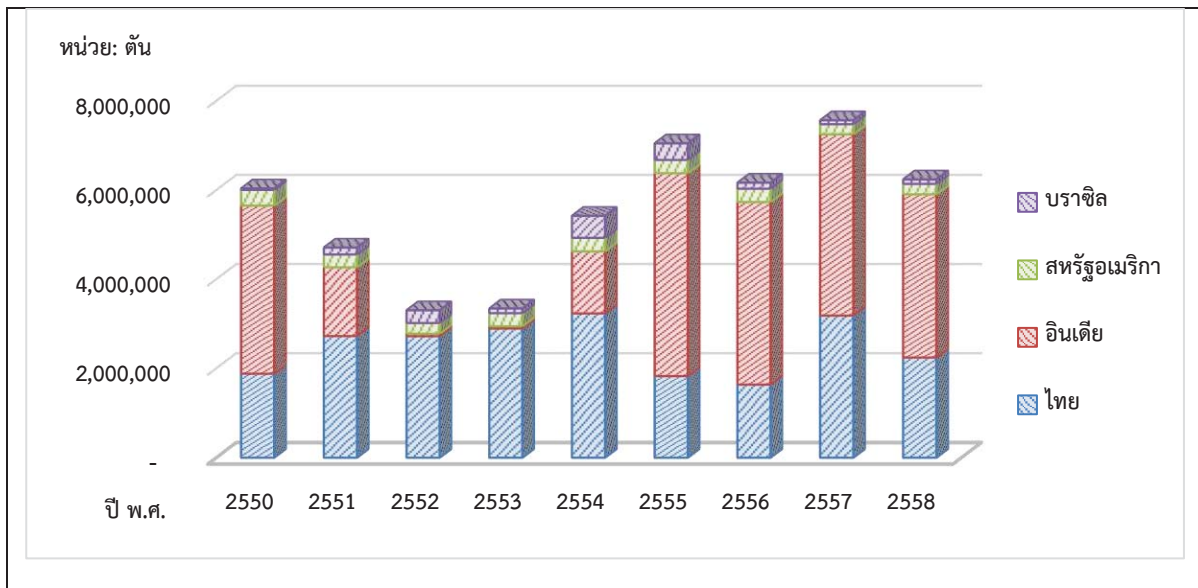
ในด้านของประเทศผู้ส่งออกข้าวหนึ่งมีประเทศผู้ส่งออกสำคัญ 4 ประเทศ ได้แก่ อินเดีย ไทย สหรัฐอเมริกา และบราซิล ทำให้ข้าวหนึ่งเป็นตลาดที่มีผู้ขายน้อยราย (Oligopoly) เดิมทีตลาดข้าวหนึ่งมีอินเดียเป็นผู้ถือครองตลาดรายใหญ่ การที่อินเดียมีนโยบายจำกัดการส่งออกที่ไม่ใช่ข้าวบาสมัติ นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 - 2554 ทำให้ไทยก้าวขึ้นมาเป็นผู้ถือครองตลาดรายใหญ่ในช่วงเวลาดังกล่าว

ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2554 - 2556 เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงนโยบายข้าวภายในประเทศของไทยโดยรัฐบาลได้มีนโยบายยกระดับราคาข้าว ภายใต้โครงการรับจำนำราคาสูงกว่าระดับราคาตลาดเกือบร้อยละ 50 ได้ส่งผลกระทบต่อ การส่งออกข้าวหนึ่งของไทย มีผลให้สัดส่วนการถือครองตลาดข้าวหนึ่งของไทยลดลง และเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกันที่อินเดียได้ยกเลิกนโยบายจำกัดการส่งออกข้าว ส่งผลให้อินเดียได้หวนคืนมาเป็นผู้ส่งออกข้าวหนึ่งรายใหญ่อีกครั้งหนึ่งในปี พ.ศ. 2557 และ 2558 สำหรับในปี 2558 การส่งออกข้าวหนึ่งของอินเดีย มีสัดส่วนร้อยละ 58.70 ส่วนไทยมีสัดส่วนการส่งออกเพียงร้อยละ 35.93 (ตารางที่ 1.2 และ ภาพที่ 1.1)

ตารางที่ 1.2 การส่งออกข้าวหนึ่งของผู้ส่งออกที่สำคัญ 4 ประเทศในตลาดการค้าข้าวหนึ่งโลกในปี พ.ศ. 2550 - 2558

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558
หน่วย: ร้อยละ									
ไทย	31.13	57.84	82.43	86.61	59.60	25.90	26.55	42.07	35.93
อินเดีย	62.50	32.79	1.69	1.48	25.71	64.71	66.43	53.78	58.70
สหรัฐอเมริกา	5.82	6.07	7.28	8.79	5.59	4.23	4.85	2.99	3.78
บราซิล	0.55	3.30	8.60	3.12	9.10	5.26	2.17	1.16	1.59
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
รวมสี่ประเทศ (พันตัน)	6,033.88	4,706.60	3,299.27	3,338.84	5,418.32	7,044.31	6,162.26	7,563.05	6,235.68

ที่มา: Global Trade Atlas (2559)

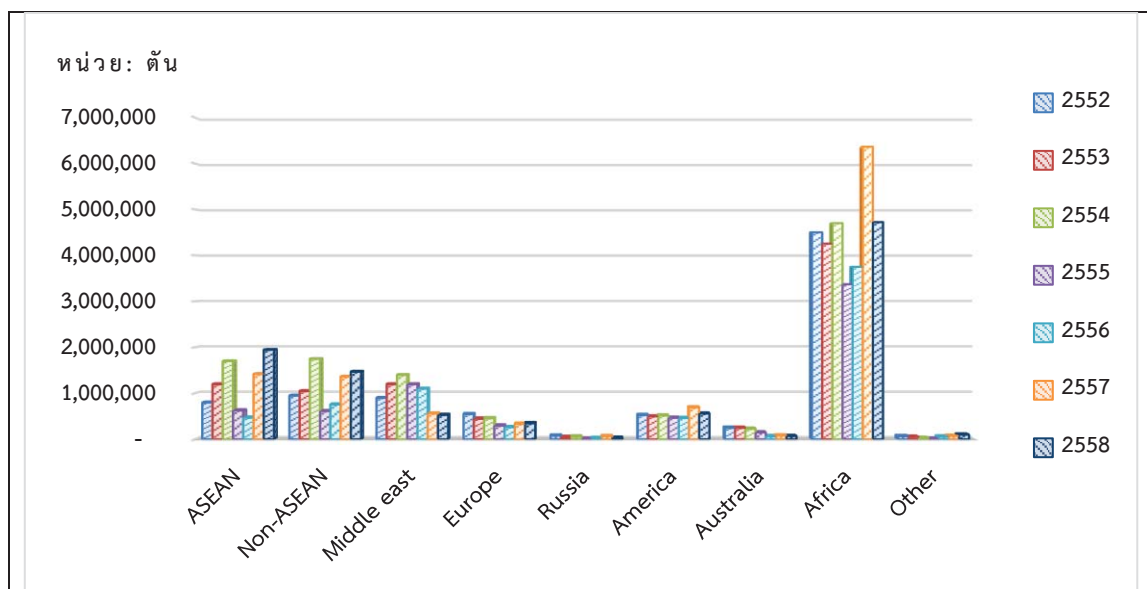


ภาพที่ 1.1 ปริมาณการส่งออกข้าวหนึ่งของ 4 ประเทศผู้ส่งออกสำคัญปี พ.ศ. 2550 – 2558

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

1.3 ตลาดส่งออกข้าวและข้าวหนึ่งของไทย

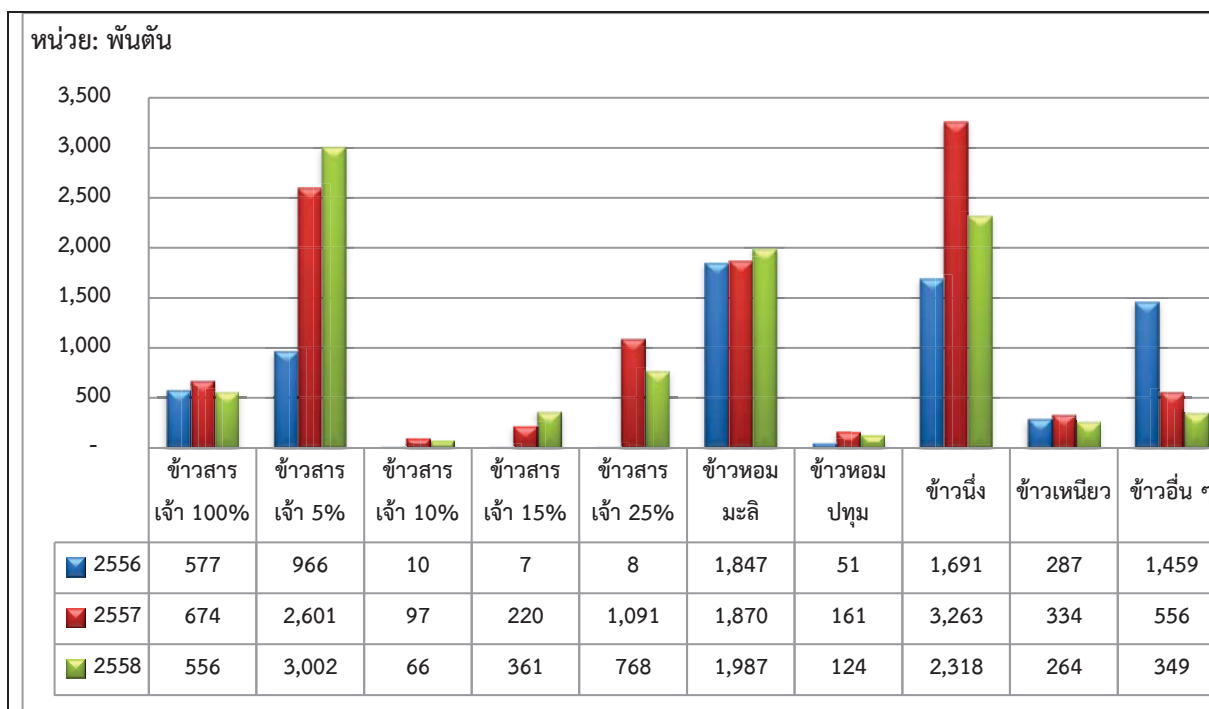
ข้าวเป็นสินค้าเกษตรของไทยที่มีตลาดกระจายไปทั่วโลก ในภาพรวมโดยไม่แยกชนิดของข้าวแล้วมีการส่งออกข้าวของไทยไปในตลาดภูมิภาคแอฟริกามากที่สุดกว่าครึ่งศตวรรษที่ผ่านมา โดยในปี พ.ศ. 2557 การส่งออกข้าวของไทยไปในภูมิภาคแอฟริกาสูงสุดจำนวน 6.36 ล้านตัน หรือ ร้อยละ 57.98 ของปริมาณการส่งออกข้าวทั้งหมดในปีนั้น (ภาพที่ 1.2)



ภาพที่ 1.2 ปริมาณการส่งออกข้าวรวมทุกชนิดของไทยไปในภูมิภาคต่างๆ ของโลกปี พ.ศ. 2552 – 2558

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

โดยทั่วไปข้าวส่งออกของไทยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน ได้แก่ ข้าวสารเจ้าข้าวเกร็ดต่างๆ ข้าวหอม ข้าวเหนียว ข้าวหนึ่ง และอื่นๆ ในที่นี้ ข้าวสามกลุ่มใหญ่ที่ส่งออก คือ ข้าวหอม ข้าวสารเจ้า และข้าวหนึ่ง ทั้งนี้ในกลุ่มของข้าวสารเจ้าจะมีการส่งออกข้าวสารเจ้า 5 % มากกว่าข้าวสารเจ้าชนิดอื่นๆ (ภาพที่ 1.3)



ภาพที่ 1.3 การส่งออกข้าวของไทยตามชนิดของข้าว ปี พ.ศ. 2556 – 2558

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

การส่งข้าวออกของไทย ในปี พ.ศ. 2558 มีจำนวน 9.80 ล้านตันข้าวสาร ในจำนวนนี้เป็นการส่งออกข้าวหนึ่งเพียงร้อยละ 23.66 ส่วนใหญ่เป็นการส่งออกข้าวสารเจ้าถึงร้อยละ 48.52 และ ข้าวหอมร้อยละ 21.56 ส่วนการส่งออกข้าวเหนียวและข้าวอื่นๆ มีเพียงร้อยละ 2.69 และ 3.56 ตามลำดับโดยมีมูลค่าการส่งออกรวม 155,912 ล้านบาท ในจำนวนนี้เป็นการส่งออกข้าวหนึ่ง 30,203 ล้านบาท หรือ คิดเป็นร้อยละ 19.37 ของมูลค่าส่งออกข้าวรวมทั้งหมด

สำหรับปริมาณการส่งออกข้าวหนึ่งของไทยในช่วงเวลาที่ผ่านมาพบว่า มีความแปรปรวนทั้งปริมาณและมูลค่าในแต่ละปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายการส่งออกของผู้ส่งออกรายใหญ่ในที่นี่ คือ อินเดีย และยังขึ้นอยู่กับระดับราคาข้าวหนึ่งของประเทศคู่แข่งกัน ภาวะวิกฤตข้าวแพงที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2551 อินเดียที่เป็นผู้ส่งออกข้าวหนึ่งรายใหญ่ได้มีนโยบายห้ามส่งออกข้าวที่ไม่ใช่ข้าวบัณฑิตต่อเนื่องมาจนถึงช่วงปลายปี พ.ศ. 2554 การจำกัดการส่งออกข้าวของอินเดียซึ่งรวมถึงข้าวหนึ่งด้วยนั้น ได้เป็นโอกาสของไทยในการส่งออกข้าวหนึ่งไปแทนที่ตลาดนำข้าวของอินเดียในภูมิภาคแอฟริกา (ตารางที่ 1.3)

ตารางที่ 1.3 ปริมาณการส่งออกข้าวนี้ และการส่งออกข้าวรวมทั้งหมดของไทย พ.ศ. 2550 - 2558

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558
ปริมาณ (ล้านตัน)									
ข้าวนี้	1.88	2.75	2.88	3.17	3.43	2.18	1.65	3.26	2.32
ข้าวรวม	9.56	10.01	8.59	9.05	10.67	6.95	6.61	10.97	9.80
ร้อยละ	19.67	27.47	33.53	35.03	32.15	31.37	24.96	29.72	23.67
มูลค่า(ล้านบาท)									
ข้าวนี้	21,391	56,557	52,015	45,027	50,414	32,787	26,202	44,687	30,203
ข้าวรวม	123,700	200,892	171,719	168,634	192,956	147,040	133,839	174,851	155,912
ร้อยละ	17.29	28.15	30.29	26.70	26.13	22.30	19.58	25.56	19.37

ที่มา: สมาคมผู้ส่งออกข้าว (2559)

ตลาดการค้าข้าวนี้ของไทยส่วนใหญ่อยู่ในทวีปแอฟริกาเป็นสำคัญ ทั้งนี้จากปริมาณการส่งออกข้าวนี้เฉลี่ย 6 ปี จาก พ.ศ. 2553 - 58 จำนวน 2.67 ล้านตัน พบว่าการส่งออกไปยังตลาดแอฟริกาเฉลี่ย 2.15 ล้านตัน หรือ ร้อยละ 80.54 ของการส่งออกข้าวนี้ทั้งหมด มีการส่งออกไปยังตลาดตะวันออกกลางรองลงมา หรือ ร้อยละ 10.25 ส่วนตลาดข้าวนี้ของไทยในภูมิภาคยุโรป เอเชีย อเมริกา และโอเชียเนีย พบว่าการนำเข้าข้าวนี้ หรือ ข้าวพาร์บอยส์จากไทยจำนวนน้อย โดยส่งไปในเอเชียร้อยละ 5.20 ยุโรปร้อยละ 3.83 อเมริการ้อยละ 0.08 และโอเชียเนียร้อยละ 0.09 (ตารางที่ 1.4)

ตารางที่ 1.4 ปริมาณ และมูลค่าการส่งออกข้าวนี้ไปในภูมิภาคต่างๆ ของไทย พ.ศ. 2553 - 2558

ปี	เอเชีย	ตะวันออกกลาง	ยุโรป	แอฟริกา	อเมริกา	โอเชียเนีย	รวม
ปริมาณการส่งออก (ตัน)							
2553	141,098	354,070	118,919	2,550,801	2,539	2,304	3,169,731
2554	687,501	302,555	146,770	2,290,573	506	2,865	3,430,770
2555	487	214,780	42,159	1,916,345	381	2,762	2,176,914
2556	423	228,686	58,121	1,401,409	482	2,376	1,691,497
2557	2,332	252,904	116,815	2,883,957	4,059	2,452	3,262,529
2558	2,358	291,481	132,626	1,884,197	4,458	2,489	2,317,609
เฉลี่ย 53-58	139,033	274,079	102,568	2,154,547	2,072	2542	2,674,841
ร้อยละ	5.20	10.25	3.83	80.54	0.08	0.09	100.00

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

อย่างไรก็ตาม ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2554 อินเดียได้มีนโยบายกลับมาส่งออกข้าวตามปกติอีกครั้งหนึ่ง ส่งผลให้อินเดียได้เข้ามามีส่วนแบ่งตลาดข้าวนี้ในภูมิภาคแอฟริกา และตะวันออกกลางมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อปริมาณการส่งออกข้าวนี้ของไทย โดยเฉพาะมีปริมาณการส่งออกลดลง นอกจากนี้การส่งออกข้าวสารเจ้า และข้าวนี้ของไทยยังได้รับผลกระทบจากนโยบายการรับจำนำข้าวในระดับราคาสูงของรัฐบาลที่เริ่มโครงการ

ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2554 เรื่อยมาจนถึงต้นปี พ.ศ. 2557 ทำให้ต้นทุนการทำข้าวหนึ่งปรับตัวสูงขึ้นตามราคาข้าวเปลือก และส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันด้านราคาของข้าวหนึ่งไทยลดลง การส่งออกข้าวหนึ่งของไทยในปี 2555 และ 2556 ได้มีปริมาณลดลงอย่างมาก สถานการณ์การส่งออกข้าวหนึ่งเริ่มปรับตัวสู่สภาพที่ดีขึ้นในปี 2557 เมื่อได้มีการยกเลิกโครงการรับจำนำข้าวระดับราคาสูง ส่งผลให้ราคาข้าวหนึ่งไทยในตลาดส่งออกลดลงมาอยู่ในระดับที่แข่งขันได้ ส่วนในปี 2558 การส่งออกข้าวหนึ่งของไทยได้ปรับตัวลดลงต่อเนื่องจากปีก่อนหน้านั้น เพราะได้รับผลกระทบจากการระบายในสต็อกข้าวของอินเดียพร้อมๆ กับผลกระทบจากเศรษฐกิจโลกที่ชะลอตัวลง

ประเทศในภูมิภาคแอฟริกาที่นำเข้าข้าวหนึ่งจากไทยมาก สามลำดับแรกในปี พ.ศ. 2558 คือ ไนจีเรีย (643.96 พันตัน) แอฟริกาใต้ (539.08 พันตัน) และเบนิน (509.47 พันตัน) ส่วนในตะวันออกกลางประเทศที่นำเข้าข้าวหนึ่งจากไทยมากเป็นลำดับหนึ่ง คือ เยเมน (203.94 พันตัน) รองลงมา คือ สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ (24.96 พันตัน) และซาอุดีอาระเบีย (16.83 พันตัน) ตามลำดับ สำหรับในสหภาพยุโรปประเทศที่นำเข้ามากในลำดับแรก คือ เบลเยียม (25.97 พันตัน) รองลงมา คือ สเปน (24.12 พันตัน) และสหราชอาณาจักร (23.27 พันตัน) ตามลำดับ ส่วนในภูมิภาคอื่นๆ เช่น อเมริกาเหนือมีสหรัฐอเมริกานำเข้าสูงสุด (1.46 พันตัน) ในภูมิภาคอเมริกาใต้มีประเทศชิลีนำเข้าสูงสุดจำนวน 1.63 พันตัน ในภูมิภาคโอเชียเนียมีออสเตรเลียนำเข้าสูงสุดจำนวน 1.96 พันตัน ในภูมิภาคเอเชียมีการนำเข้าจำนวนเล็กน้อยมาก

1.4 การเคลื่อนไหวราคาข้าวหนึ่งส่งออกของไทย

การเคลื่อนไหวของราคาข้าวหนึ่งในตลาดส่งออกขึ้นอยู่กับอุปสงค์และอุปทาน ของสินค้านั้นๆ ในตลาดและขณะเดียวกันยังขึ้นอยู่กับนโยบายของประเทศคู่แข่งในตลาด ทั้งนี้เพราะข้าวหนึ่งเป็นตลาดที่มีผู้ขายน้อยราย การเกิดวิกฤตข้าวแพงในปี 2551 ทำให้ราคาข้าวหนึ่งของไทยเพิ่มขึ้นจากปี 2550 กว่าหนึ่งเท่าตัว ทั้งนี้เพราะในปีดังกล่าวอินเดียซึ่งเป็นผู้ส่งออกข้าวหนึ่งรายใหญ่ได้จำกัดการส่งออกข้าวหนึ่ง ทำให้ราคาข้าวหนึ่งในตลาดส่งออกปรับตัวสูงขึ้น แต่หลังจากเมื่อตลาดมีข้อมูลมากขึ้นว่าไม่ได้เกิดภาวะวิกฤตอย่างที่คาดการณ์กัน ระดับราคาข้าวหนึ่งก็ได้ปรับตัวลดลง

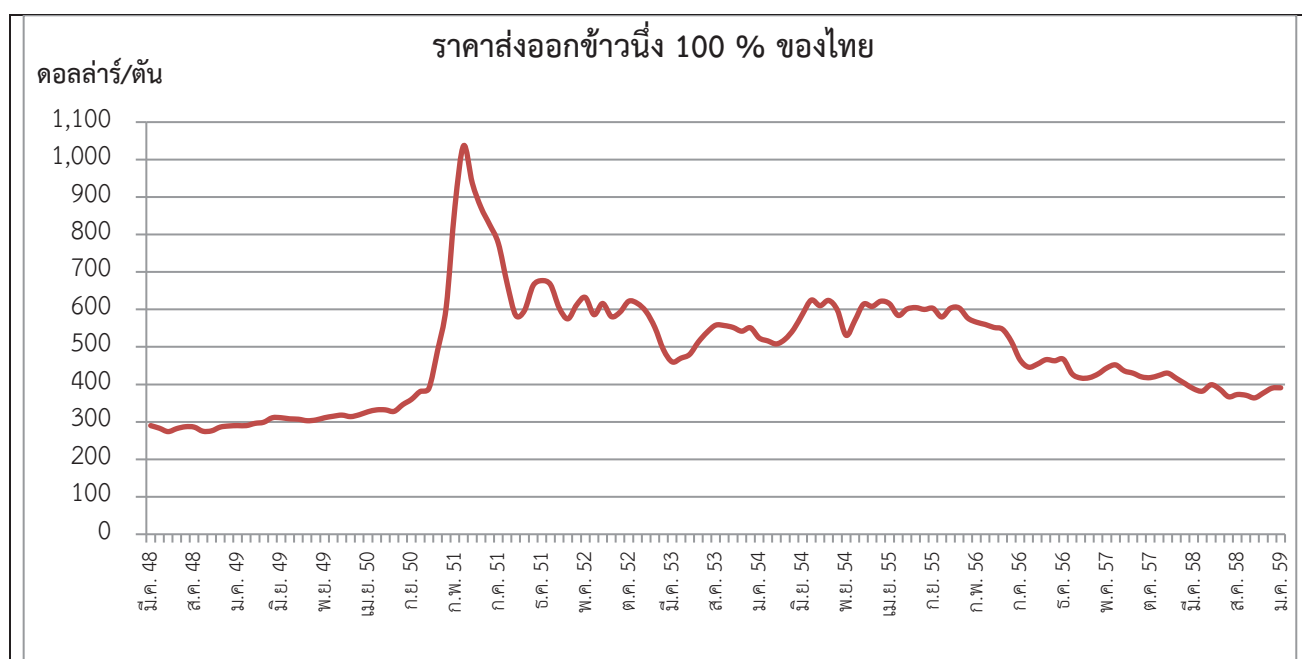
ราคาข้าวหนึ่งในตลาดส่งออกของไทยได้ปรับตัวสูงขึ้นอีกครั้งในปี 2555 เมื่อรัฐบาลไทยได้ใช้นโยบายรับจำนำข้าวในระดับราคาสูงกว่าราคาตลาดเกือบร้อยละ 50 ทำให้ข้าวไปอยู่ในมือของรัฐ และระดับราคาส่งออกได้ปรับสูงขึ้นเนื่องจากเอกชนต้องแข่งกับรัฐในการซื้อข้าวเปลือกเพื่อการส่งออก แต่หลังจากที่รัฐบาลไทยเก็บสต็อกข้าวไว้จำนวนมาก ได้เป็นแรงกดดันให้ราคาข้าวหนึ่งในตลาดของไทยลดต่ำลงตามข้าวสารด้วยเช่นกัน โดยในปี 2558 ระดับราคาได้ปรับตัวลดลงเหลืออยู่ที่ US\$ 392 ต่อดัน (ตารางที่ 1.5)

ตารางที่ 1.5 ราคาส่งออกข้าวหนึ่ง 100% ของไทย พ.ศ. 2550 - 2558

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558
ราคาส่งออกข้าวหนึ่ง 100% (US\$ ต่อดัน)									
ไทย	332	721	629	532	563	594	530	435	392

ที่มา: FAO (2559)

สำหรับการเคลื่อนไหวของราคาส่งออกข้าวหนึ่ง 100% ของไทยเป็นรายเดือนในช่วงระหว่าง มีนาคม พ.ศ. 2548 จนถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2559 ได้แสดงไว้ใน (ภาพที่ 1.4)



ภาพที่ 1.4 การเคลื่อนไหวราคาส่งออกข้าวหนึ่ง 100 % ของไทยในช่วงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2548 – มกราคม พ.ศ. 2559

ที่มา: FAO (2559)

1.5 มาตรฐานข้าวหนึ่งไทย

ในการค้าระหว่างประเทศ มาตรฐานของสินค้ามีความจำเป็นที่ต้องให้ความสำคัญ เพราะจะเป็นเครื่องบ่งบอกคุณภาพของสินค้าที่จะทำการตกลงซื้อขายและส่งมอบกัน อีกทั้ง ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดราคาของสินค้าที่จะซื้อและขาย กระทรวงพาณิชย์ได้มีประกาศกำหนดมาตรฐานสินค้าข้าวหนึ่งมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ซึ่งในการกำหนดมาตรฐานข้าวหนึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 คุณลักษณะด้วยกัน กล่าวคือ

- (1) ชนิดของข้าวหนึ่งซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวหนึ่ง 100% ข้าวหนึ่ง 5% ข้าวหนึ่ง 10% ข้าวหนึ่ง 15% และข้าวหนึ่ง 25%

- (2) เมล็ดข้าว ซึ่งจะประกอบด้วยความยาวของเมล็ดและรูปร่างของเมล็ด โดยในส่วนของความยาวและรูปร่างของเมล็ด ได้แก่ เมล็ดยาวชั้น 1 ต้องมากกว่า 7.0 มม. เมล็ดยาวชั้น 2 อยู่ระหว่าง 6.6 - 7.0 มม. เมล็ดยาวชั้น 3 อยู่ระหว่าง 6.2 - 6.6 มม. และเมล็ดสั้นความยาวของเมล็ดน้อยกว่า 6.2 มม.
- (3) ส่วนผสม ซึ่งจะประกอบด้วยข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และ ข้าวหักและปลายข้าว ในอัตราส่วนต่างๆ กันไป
- (4) ข้าว และสิ่งที่มีปนได้ เช่น เมล็ดข้าวแดง เมล็ดข้าวสีดำ ข้าวท้องไข่ ข้าวเหนียว ข้าวเมล็ดเสีย และวัสดุอื่น เป็นต้น
- (5) ระดับการสี ซึ่งจะมียกระดับการสีที่ต่างกัน 3 ลักษณะคือ สีดีพิเศษ สีดี และสีดีปานกลาง หรือ สีธรรมดา

ทั้งนี้ ตารางที่ 1.6 ได้นำเสนอข้อสรุปมาตรฐานข้าวหนึ่งไว้ สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับมาตรฐานของข้าวหนึ่งแต่ละชนิด ผู้ที่สนใจศึกษาได้จากประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่องมาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2540 หมวดที่ 7 ลงนามโดย นายณรงค์ชัย อัครเศรณี รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพาณิชย์เมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2540 อนึ่ง ข้อความของคำประกาศติดตามศึกษาได้จาก ราชกิจจานุเบกษาเล่ม 114 ตอนที่ 31ง วันที่ 17 เมษายน 2540

ในบทต่อไปจะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับ ด้านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งของไทย ซึ่งมีองค์ประกอบของพันธุ์ข้าวเปลือกที่ใช้ในการผลิต กรรมวิธีการผลิต รวมถึงลักษณะของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต และข้อมูลเกี่ยวกับสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของกระบวนการผลิต ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง (1)

- เรียงชัย ต้นสุชาติ, อารี วิบูลย์พงศ์ และ วัสนัย วรธนัจฉริยา. 2559. การเพิ่มศักยภาพทางการตลาดและการขยายตลาดของข้าวพาร์บอยล์. เอกสารวิจัยนำเสนอต่อศูนย์ประสานงานโครงการบริหารจัดการงานวิจัยเรื่องข้าว. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร
- สมาคมผู้ส่งออกข้าว. 2558. ปริมาณการส่งออกข้าวหนึ่ง และการส่งออกข้าวรวม พ.ศ. 2550 – 2558. (Online). <http://www.thairiceexporters.or.th/>
- สำนักงานมาตรฐานสินค้า. 2559. มาตรฐานข้าวหนึ่งของไทยปี พ.ศ. 2540. (Online). <http://ocs.dft.go.th/>, 26 สิงหาคม 2559.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. ปริมาณ และมูลค่าการส่งออกข้าวหนึ่งไปในภูมิภาคต่างๆ พ.ศ. 2553 – 2558. ความร่วมมือของกรมศุลกากร
- Bhattacharya, Kshirod. R. and Ali, Syed Zakinddir. 2015. **An introduction to rice-grain technology**. Woodhead publishing India Pvt. Ltd
- FAO. 2559. ราคาส่งออกข้าวหนึ่ง 100% ของไทย พ.ศ. 2548 – 2559. (Online). <http://www.fao.org/>, 26 สิงหาคม 2559
- Global Trade Atlas. 2559. การส่งออกข้าวหนึ่งของผู้ส่งออกที่สำคัญ 4 ประเทศในตลาดการค้าข้าวหนึ่งโลก ในปี พ.ศ. 2550 – 2558. (Online). <https://www.worldtradestatistics.com/annual/>, 26 สิงหาคม 2559
- Medodie Anne 2014. **Parboiled Rice Nutrition**. (Online). <http://www.livestrong.com/article/272216-parboiled-rice-nutrition/>, 26 August 2016

บทที่ 2

การผลิตข้าวในในประเทศไทย

อุตสาหกรรมการผลิตข้าวของประเทศไทยได้พัฒนาขยายตัวขึ้นมาก ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา ด้านหนึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวของตลาดข้าว และอีกด้านหนึ่งเป็นผลจากการขยายตัวของผลผลิตข้าวเปลือกที่เป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับการผลิตข้าว เนื้อหาในส่วนนี้จะนำเสนอข้อมูลจากการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าว พันธุ์ข้าวที่นิยมใช้ กรรมวิธีการผลิต เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต รวมทั้งข้อมูลการคำนวณสมดุลมวลสาร และสมดุลพลังงานของกระบวนการผลิตข้าว

2.1 การผลิตข้าวในประเทศไทย

โรงสีข้าวในประเทศไทยนั้นเกิดขึ้นในช่วงประมาณครึ่งศตวรรษที่ผ่านมา ไม่มีการบันทึกที่แน่นอนว่าใครเป็นผู้ก่อตั้งโรงสีข้าวรายแรกของไทย แต่มีข้อมูลสืบค้นได้ว่าในระยะแรกของการทำข้าวเกิดขึ้นภายหลังของการปฏิวัติเขียวที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ในช่วงหลังจากปีพ.ศ. 2512 เป็นต้นมา ทั้งนี้เพราะการเผยแพร่ข้าวลูกผสมพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง ซึ่งได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข1 และ กข3 .ในขณะนั้น และพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงพันธุ์อื่นๆ ในช่วงต่อมา มาให้เกษตรกรได้ใช้เพาะปลูก ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของผลผลิต และการเพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าวในพื้นที่ชลประทาน เนื่องจากข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงสามารถปลูกได้หลายครั้งในรอบปี มีผลให้อุปทานผลผลิตเพิ่มขึ้นมาก

ผู้บุกเบิกในอุตสาหกรรมการผลิตข้าวรายแรกๆ ได้แก่ บริษัทไรซ์แลนด์ อินเตอร์เทรด ที่นำเข้าเครื่องจักรมาจากสหรัฐอเมริกาและผลิตข้าว หรือ ข้าวพาร์บอยส์ในระดับพรีเมียม² เพราะเห็นว่าการขยายตัวของผลผลิตข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงในพื้นที่ชลประทานมีมากขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการทำนาปรัง ซึ่งจะไปเกี่ยวเกี่ยวในช่วงเวลาคาบเกี่ยวกับฤดูฝนทำให้ข้าวมีความชื้นสูง ต่อมาได้มีผู้ประกอบการรายอื่นๆ ที่เห็นศักยภาพของตลาดข้าวที่มีการขยายตัวจากผู้บริโภคในเอเชียใต้ และตะวันออกกลางไปสู่ภูมิภาคแอฟริกา ได้ทำให้โรงสีจำนวนไม่น้อยได้ผันธุรกิจโรงสีข้าวที่ทำอยู่มาทำอุตสาหกรรมข้าวหนึ่งพร้อมๆ กับการทำธุรกิจส่งออก ในปัจจุบันมีโรงสีที่ผลิตข้าวประมาณ 40 กว่าราย (ตารางภาคผนวก)

² <http://info.gotomanager.com/news/details.aspx>

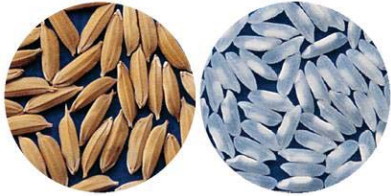
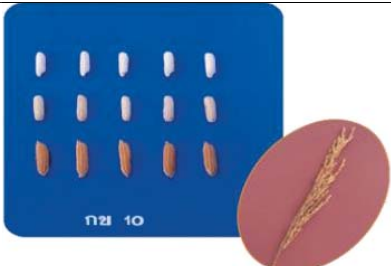
2.2. พันธุ์ข้าวเปลือกไทยที่ใช้ในการผลิตข้าวหนึ่ง

ในประเทศไทยมีการใช้ข้าวหลายพันธุ์ในการผลิตข้าวหนึ่ง ซึ่งเกณฑ์สากลอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการแบ่งประเภทข้าว ได้แก่ การแบ่งพันธุ์ข้าวตามระดับแอมิโลส โดยแบ่งได้เป็น 5 ระดับ คือ ข้าวเหนียว แอมิโลส (ร้อยละ 0 - 2), แอมิโลสต่ำมาก (ร้อยละ 5 - 10), แอมิโลสต่ำ (ร้อยละ 10 - 20), แอมิโลสปานกลาง (ร้อยละ 20 - 25), และแอมิโลสสูง (ร้อยละ 25-33) (Juliano, 1998) จากการสำรวจเอกสารพบว่า ข้าวที่นำมาเป็นวัตถุดิบของข้าวหนึ่ง พบได้ทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่มีระดับแอมิโลสต่างกัน โดยข้าวเปลือกที่นิยมนำมาผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทย ได้แก่ ข้าวเหนียว (สันป่าตอง 1 และ กข10) ข้าวแอมิโลสต่ำ (ปทุมธานี 1 และ กข15) ข้าวแอมิโลสสูง (กข19 กข49 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552) นอกจากนี้ยังมีการใช้ข้าวเหนียว กข6 (Thammapat et al., 2016) ข้าวแอมิโลสต่ำ ข้าวดอกมะลิ 105 เป็นวัตถุดิบในการผลิตข้าวหนึ่งในระดับห้องปฏิบัติการ (Parnsakhorn and Noomhorm, 2008; Jinorose et al., 2014) และยังมีการใช้ข้าวแอมิโลสต่ำ พิษณุโลก 1 ในระดับห้องปฏิบัติการ แต่กล่าวไว้ว่าเป็นพันธุ์ข้าวที่นิยมสำหรับผลิตข้าวหนึ่งสำหรับตลาดส่งออก (Prom-u-thai et al., 2010) ตัวอย่างพันธุ์ข้าวไทยที่ใช้ในการผลิตข้าวหนึ่งแสดงไว้ใน (ตารางที่ 2.1)

มีการให้เหตุผลไว้ว่าการคัดเลือกพันธุ์ข้าวมาผลิตเป็นข้าวหนึ่ง อาจเลือกมาจากพันธุ์ข้าวที่ให้ปริมาณผลผลิตต่อไร่สูง และมีอัตราส่วนของเมล็ดหักต่ำ เช่น ข้าวแอมิโลสต่ำ ปทุมธานี 1 และ กข15 และข้าวแอมิโลสสูง กข49 หรือผู้ผลิตต้องการใช้กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ลดปริมาณความเป็นท้องไข (chalkiness) (ซึ่งถือเป็นตำหนิของข้าว) ในข้าวหลายพันธุ์ (Bhattacharya 1976) จุดเด่นของผลิตภัณฑ์ข้าวหนึ่งอีกประการหนึ่งคือ เฟอร์เซ็นต์การแตกหักระหว่างการขัดสีข้าวหนึ่งลดลงเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านการหนึ่ง และสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับข้าวหนึ่งได้จากกระบวนการผลิต

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทย

สายพันธุ์ข้าว	คุณลักษณะที่สำคัญ	ภาพตัวอย่าง
1. สายพันธุ์ข้าวที่นิยมผลิตข้าวหนึ่ง		
ปทุมธานี 1	- พันธุ์ข้าวเจ้าอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 104 - 126 วัน - เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.6 x 1.7 มม. - ปริมาณแอมิโลส 15 - 19 เปอร์เซ็นต์ - คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอมอ่อน - เหมาะกับเขตชลประทานในภาคกลาง	
กข15	- พันธุ์ข้าวเจ้าอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 10 พฤศจิกายน - เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.5 x 1.7 มม. - ปริมาณแอมิโลส 14 - 17 เปอร์เซ็นต์ - คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอม - เหมาะจะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	

สายพันธุ์ข้าว	คุณลักษณะที่สำคัญ	ภาพตัวอย่าง
กข49	- พันธุ์ข้าวเจ้าอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 102 - 107 วัน - ปริมาณแอมิโลส 26.89 เปอร์เซ็นต์ - เป็นสายพันธุ์ข้าวหนึ่งที่ดีที่สุดในโลก - เหมาะกับเขตชลประทานในภาคเหนือตอนล่างและภาคกลาง	
2. สายพันธุ์ข้าวที่สามารถผลิตข้าวหนึ่ง		
กข19	- พันธุ์ข้าวเจ้าอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 102 - 107 วัน - เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.5 x 7.4 x 1.9 มม. - ปริมาณแอมิโลส 26 - 30 เปอร์เซ็นต์ - ผลผลิตสูงแต่มีท้องไม่มาก - คุณภาพข้าวสุก ร่วน แฉง - เหมาะกับฤดูนาปีภาคกลาง	
ชัยนาท 1	- พันธุ์ข้าวเจ้าอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 121 - 130 วัน - เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.7 x 1.7 มม. - ปริมาณแอมิโลส 26 - 27 เปอร์เซ็นต์ - คุณภาพข้าวสุก ร่วน แฉง - เหมาะกับทุกภาคในเขตชลประทาน	
สุพรรณบุรี 1	- พันธุ์ข้าวเจ้าอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน - เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.2 x 7.3 x 1.8 มม. - ปริมาณแอมิโลส 29 เปอร์เซ็นต์ - คุณภาพข้าวสุก ร่วน แฉง - เหมาะกับทุกภาคในเขตชลประทาน	
สันป่าตอง 1	- พันธุ์ข้าวเจ้าอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 130 - 135 วัน - เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.2 x 7.7 x 1.8 มม. - ปริมาณแอมิโลส 29 เปอร์เซ็นต์ - คุณภาพข้าวสุก เหนียวนุ่ม - เหมาะกับนาชลประทานภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	
กข10	- พันธุ์ข้าวเหนียวอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 130 วัน - เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.3 x 7.6 x 1.8 มม. - คุณภาพข้าวสุก ร่วน เหนียวนุ่ม - เหมาะกับภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2552) และองค์ความรู้เรื่องข้าว (2549)

2.3 กรรมวิธีการผลิตข้าวเหนียว

กรรมวิธีการผลิตข้าวเหนียวนั้นมีกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ กระบวนการแช่ข้าว กระบวนการนึ่งข้าว และกระบวนการอบแห้ง ในแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดต่างกันไป เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการหลัก ระดับความดันที่ใช้ในการนึ่งข้าว และเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ โดยวัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นข้าวเปลือก แต่มีรายงานประปรายในการใช้ข้าวกล้องเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้หลักการของแต่ละกระบวนการย่อยไว้ ได้แก่

2.3.1 กระบวนการแช่ (Soaking) ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการนำข้าวเปลือก หรือ ข้าวกล้อง มาทำการแช่น้ำ อุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดค่าหนึ่ง เพื่อให้ข้าวมีระดับความชื้นประมาณ 24 – 30 % (Oli et al., 2014) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการเพิ่มปริมาณความชื้นให้กับเมล็ดข้าวเปลือกให้มีระดับเพียงพอ ที่จะไม่ทำให้เปลือกนอกปริแตก ซึ่งในทางอุตสาหกรรมไทย จะนิยมแช่ข้าวเปลือกให้มีระดับความชื้นเพิ่มขึ้นประมาณ 30 % มาตรฐานเปียก กระบวนการแช่ในอดีตจะนิยมใช้น้ำที่ระดับอุณหภูมิห้อง แต่เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลานานในการแช่ข้าว จึงเป็นผลให้อาจเกิดการหมักของข้าวเปลือก ส่งผลต่อกลิ่น และรสชาติของข้าวเหนียว ปัจจุบันจึงได้มีการปรับปรุงกระบวนการแช่ โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิประมาณ 60 - 70 องศาเซลเซียส โดยที่เมล็ดข้าวเปลือกไม่ปริแตก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552) อุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เม็ดสตาร์ชสามารถพองตัวและเกิดเจลลาติไนเซชันได้ เพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวเกิดการอมน้ำ และพองตัวมากเกินไปจนทำให้เปลือกแข็งหุ้มเมล็ดข้าวปริแตกก่อนในขั้นตอนที่สอง (อรอนงค์, 2556) นอกจากนี้กระบวนการแช่ยังช่วยให้สารอาหารต่างๆ ที่ละลายน้ำได้ เช่น วิตามินและเกลือแร่ สามารถแพร่เข้าสู่เมล็ดข้าวเปลือก และยังคงอยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกได้ถึงแม้จะผ่านกระบวนการขัดสี

2.3.2 กระบวนการนึ่ง (Steaming หรือ Cooking) เป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์หลักในการทำให้สตาร์ช (Starch) เกิดการเจลลาติไนเซชัน (Gelatinization)³ อย่างสมบูรณ์ และนับเป็นกระบวนการเพิ่มปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหลังจากการสี โดยอาศัยการควบแน่นของไอน้ำทำให้ความชื้นในข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น และความชื้นจากไอน้ำทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลลาติไนเซชัน สตาร์ชบางส่วนเกิดการหลอมละลาย และทำหน้าที่ในการเชื่อมร้อยตัวของผิวเมล็ดข้าว ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวเกาะตัวกันแน่นขึ้น อีกทั้งความร้อนจากไอน้ำยังช่วยหยุดการงอกของข้าวเปลือก และทำลายสปอร์ของเชื้อรา ไข่แมลง มอด ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานยิ่งขึ้น โดยปกติการนึ่งจะใช้อุณหภูมิไอน้ำประมาณ 100 - 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลานึ่งประมาณ 15 - 30 นาที และแหล่งความร้อนนิยมใช้ในรูปแบบของไอน้ำอัดตัว⁴ ทั้งนี้สภาวะการนึ่งและกระบวนการนึ่งที่

³ การเจลลาติไนเซชัน (Gelatinization) คือ ปรากฏการณ์ของน้ำแป้ง เมื่อได้รับความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏ เม็ดแป้งพองตัวและมีความหนืดสูงขึ้น (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2560ก)

⁴ ไอน้ำอัดตัว คือ ไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อยู่ในสถานะแก๊สทั้งหมด และพร้อมจะควบแน่นได้ (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2560ข)

ต่างกัน เป็นผลให้ข้าวหนึ่งมีระดับความสุกแตกต่างกัน แบ่งตามระดับเจลาทีไนเซชันของสตาร์ชในใจกลางเมล็ด เช่น ข้าวหนึ่งสมบูรณ์ (Fully parboiled rice) เป็นข้าวหนึ่งที่สตาร์ชในใจกลางเมล็ดเกิดการเจลาทีไนซ์แล้ว และข้าวหนึ่งบางส่วน (Partially parboiled rice) เป็นข้าวหนึ่งที่สตาร์ชเฉพาะบริเวณผิวเมล็ดข้าวเกิดเจลาทีไนซ์ แต่สตาร์ชบริเวณใจกลางเมล็ดยังไม่เกิดการเจลาทีไนซ์ โดยยังเห็นเป็นบริเวณสีขาวขุ่นอยู่ (อรอนงค์, 2556; Oli et al., 2014) นอกจากนี้กระบวนการนี้ ยังเป็นขั้นตอนสำคัญที่สามารถควบคุมความชื้นของสีข้าวหนึ่งให้ระดับตามที่ต้องการได้อีกด้วย

2.3.3 กระบวนการอบแห้ง (Drying) เป็นกระบวนการเพื่อลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการหนึ่งให้ระดับที่เหมาะสมแก่การขัดสี และปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา ก่อนที่จะนำไปขัดสีให้เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวหนึ่ง และช่วยในการป้องกันไม่ให้ข้าวหนึ่งเกิดกลิ่นเหม็น โดยนำข้าวที่สุกแล้ว มาผ่านกระบวนการอบแห้ง และทำการลดระดับความชื้นให้ได้ค่าตามที่กำหนด จากนั้นจึงทำการขัดสี (Milling) (Oli et al., 2014) โดยข้าวหนึ่งที่ผ่านการขัดสีแล้ว จะมีปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (Head Yield Rice, HYR) สูงกว่าข้าวสารดิบ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสารดิบจากข้าวที่ปลูกในฤดูฝน ข้าวหนึ่งจะมีเนื้อสัมผัสร่วน ไม่เหนียว และ มีสีเหลืองอ่อนไปจนถึงเหลืองเข้ม รวมถึงมีกลิ่นรสเฉพาะตัว ทั้งนี้อุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมทำการอบแห้งจนกระทั่งปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเหลือประมาณ 14 - 16 % (น้ำหนักเปียก) (สาณัฐ, 2545) และกระบวนการอบแห้งยังสามารถมีการแบ่งออกเป็นระยะ และมีระยะพักระหว่างการอบแห้งแต่ละครั้ง เนื่องจากหากทำการอบแห้งแบบต่อเนื่อง เมล็ดข้าวจะเกิดการแตกร้าวได้ง่าย เพราะความแตกต่างของปริมาณความชื้นระหว่างผิวกับใจกลางของเมล็ดข้าวเปลือกที่สูงเกินไป ข้อด้อยอีกประการหนึ่งในการใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงเกินไปอย่างต่อเนื่อง คือส่งผลให้ข้าวหนึ่งมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น (Elbert et al., 2001) โดยพบว่าการอบแห้งอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิต่ำ (30 - 40 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์ข้าวหนึ่งจะมีค่าความขาวมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (Ondier, 2008) ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาให้มีการอบแห้งเป็นแบบสองระยะ และอาจมีขั้นตอนการปรับสภาพของเมล็ดข้าวภายหลังผ่านกระบวนการอบแห้งเพิ่มขึ้นมา เพื่อให้การกระจายความชื้นและอุณหภูมิในข้าวมีความสม่ำเสมอ ซึ่งสภาวะในการปรับสภาพ ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้เย็นและมีการระบายความร้อนและความชื้นอย่างสม่ำเสมอ จนข้าวมีระดับความชื้นประมาณ 12 - 14 % แล้วจึงนำข้าวไปทำการขัดสีต่อไป (อรอนงค์, 2556) ซึ่งวิธีดังกล่าวยังช่วยลดโอกาสการเกิดกลิ่นเหม็นของข้าวหนึ่งอีกด้วย (สมคิด, 2549) สำหรับกระบวนการหลักในการผลิตข้าวหนึ่งได้แสดงไว้ใน (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 กรรมวิธีการผลิตข้าวนึ่ง

ที่มา: Satake europe LTD (ม.ป.ป), Binmaster engineering (ม.ป.ป), Induss the rice engineers (2004), CBECL (ม.ป.ป) และ Rice land foods Ltd (2011)

2.4 เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งในระดับอุตสาหกรรม

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการผลิตข้าวหนึ่ง ประกอบด้วยกระบวนการหลัก ได้แก่ การแช่ข้าว การนึ่งข้าว และการอบแห้ง แต่มีรายละเอียดในกระบวนการหลัก รวมถึงเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตแตกต่างกันไป สำหรับการผลิตข้าวหนึ่งในระดับอุตสาหกรรมของประเทศไทย ที่ได้มีการรายงานไว้โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2552) โดยพบว่ามีการใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งดังต่อไปนี้

2.4.1 เครื่องสูมตัวอย่างข้าว ในอดีตเครื่องสูมตัวอย่างข้าวจะใช้ท่อเหล็กกลวงปลายแหลมแทงเข้าไปในกระสอบข้าว เพื่อชักตัวอย่างข้าวเปลือกมาตรวจสอบคุณภาพ แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องจักรที่สามารถสูมเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกจากรถบรรทุก (ภาพที่ 2.2) โดยใช้ระบบลมดูดเพื่อใช้เก็บตัวอย่างประมาณ 6 - 12 จุดต่อคัน ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถเก็บตัวอย่างและสิ่งที่ปะปนมาได้ตลอดความหนาของชั้นข้าวเปลือก มีความแข็งแรงทนทานและสามารถติดตั้งอยู่ได้ทั้งภายในและนอกอาคาร แต่ก็มีข้อเสีย คือ ราคาสูง และต้องใช้ช่างที่มีทักษะความรู้ในการบำรุงรักษา หลังจากที่ทำกรสูมตัวอย่างข้าวเปลือกก็จะนำไปตรวจสอบหาปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้อุปกรณ์ดังตัวอย่างใน ภาพที่ 2.3 เนื่องจากปริมาณความชื้นจะเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดราคาของข้าวเปลือก ซึ่งข้อดีของเครื่องวัดความชื้น คือ สามารถพกพาได้สะดวกและบอกปริมาณความชื้นได้อย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากเป็นวิธีวัดปริมาณความชื้นทางอ้อม โดยวัดจากความต้านทานไฟฟ้าของเมล็ดพืช ดังนั้นจึงยังคงมีข้อเสีย คือ สามารถวัดค่าปริมาณความชื้นได้เพียงในช่วง 7 - 23 เปอร์เซ็นต์ ถ้าปริมาณความชื้นสูง หรือ ต่ำกว่านี้จะให้ค่าปริมาณความชื้นที่คลาดเคลื่อน



ภาพที่ 2.2 เครื่องสูมตัวอย่างข้าว

ที่มา: Desco (2006)

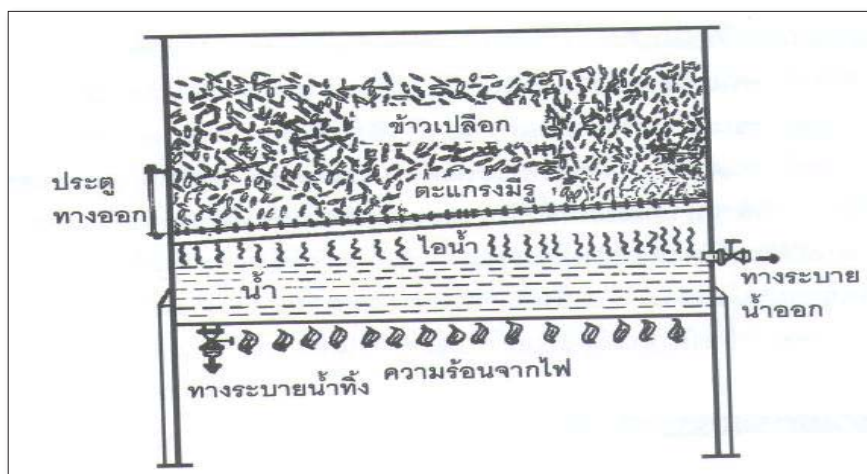


ภาพที่ 2.3 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก

ที่มา: Dickey John Kett (2005)

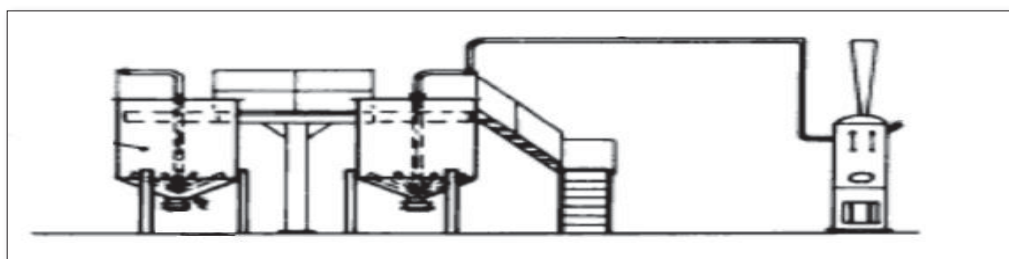
2.4.2 ถังสำหรับแช่ข้าว การแช่ข้าวเปลือกในระดับโรงงานขนาดเล็ก จะทำโดยใส่ข้าวเปลือกลงในถังเหล็กที่มีพื้นเจาะรูและลาดเอียงลงไปตามหนึ่งของถัง ซึ่งมีประตูเปิดให้ข้าวเปลือกออกมาได้ (ภาพที่ 2.4) หลังจากนั้นจึงทำการใส่น้ำและนำไปทำการต้มระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้ น้ำมีอุณหภูมิสูงถึงค่าที่กำหนด แล้วจึงระบายน้ำออกทางท่ออีกด้านหนึ่งของถังเหล็กจนระดับน้ำต่ำกว่าพื้นลาดเอียงที่ใส่ข้าวเปลือก ต่อจากนั้นจึงต้ม

น้ำอีกครั้งให้เดือดเป็นไอน้ำระเหยผ่านรูของพื้นลาดเอียงเข้าไปในเมล็ดเปลือก เพื่อนึ่งข้าวเปลือกจนกระทั่งเม็ดสตาร์ชในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนซ์ ในขณะที่การแช่ข้าวเปลือกในระดับโรงงานขนาดใหญ่ (ภาพที่ 2.5) ถังแช่ข้าวส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นถังทรงสูงซึ่งจะมีขนาดแตกต่างกันไปตามอัตราการผลิตของโรงงาน โดยการใส่ข้าวเปลือกจะใส่ทางด้านบนของตัวถังและนำข้าวเปลือกออกทางด้านล่าง ในส่วนของน้ำร้อนที่ใช้ในการแช่ข้าวจะมีการหมุนเวียนเพื่อลดการเกิดกลิ่นเหม็น และควบคุมให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด โดยแหล่งความร้อนของน้ำที่ใช้ในการแช่จะได้มาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำของโรงสีที่ใช้เครื่องจักรไอน้ำในการสีข้าว หรือในกรณีที่โรงสีใช้แบบเตาต้มน้ำก็จะใช้กลายเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำสำหรับแช่ข้าว และนอกจากนี้โรงงานที่มีการผลิตข้าวหนึ่งยังแบ่งลักษณะการนึ่งออกเป็น 2 แบบ คือ (1) การนึ่งแบบเป็นวงวนจะนิยมใช้ถังแช่และถังนึ่งในถังใบเดียวกัน โดยหลังจากที่ทำการแช่ข้าวก็จะปล่อยน้ำทิ้งแล้วจึงปล่อยให้ไอน้ำเข้าไปในถังเดียวกันเพื่อทำการนึ่งข้าว (2) การนึ่งแบบต่อเนื่องจะใช้ถังนึ่งและถังแช่แยกกัน โดยข้าวที่ออกจากถังแช่จะนำมาเข้าถังนึ่งทางด้านบนและปล่อยออกทางด้านล่างของถัง โดยในระหว่างที่ข้าวผ่านถังจะปล่อยไอน้ำเข้าไปในถังเพื่อทำการนึ่งข้าว (สาณิสฐ, 2545)



ภาพที่ 2.4 ถังสำหรับแช่ข้าวในโรงงานขนาดเล็ก

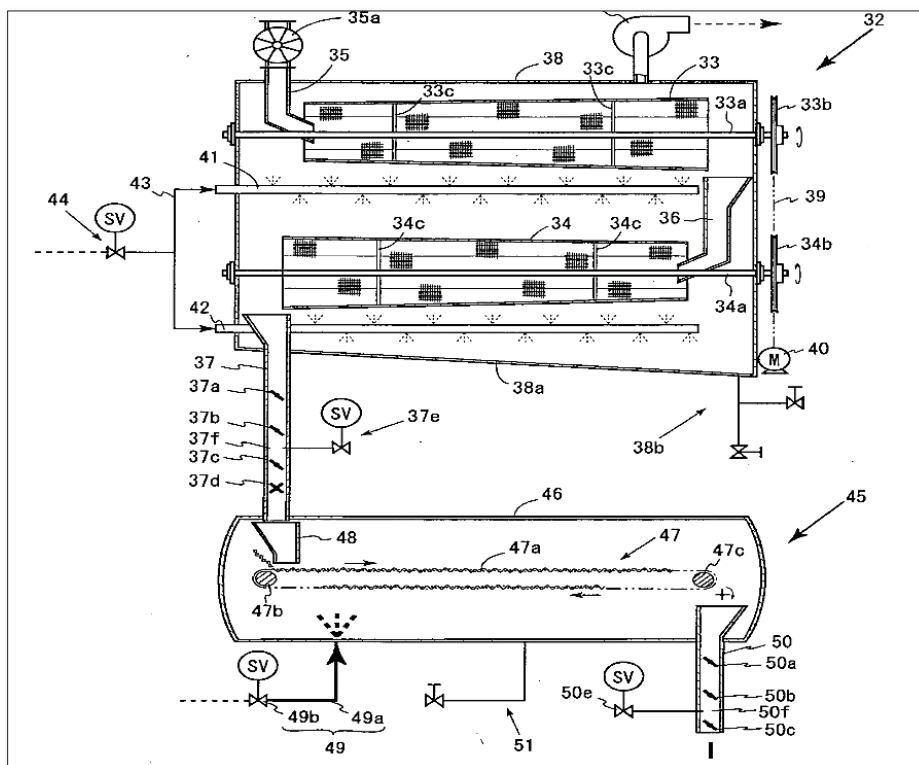
ที่มา: อรอนงค์ (2556)



ภาพที่ 2.5 ถังสำหรับแช่ข้าวในโรงงานขนาดใหญ่

ที่มา: Gariboldi (1984)

2.4.3 เครื่องนึ่งข้าว ประกอบไปด้วยหม้อไอน้ำซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำและจ่ายไปยังข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการแช่มาแล้ว เพื่อทำการนึ่งและทำให้ข้าวเปลือกสุก (ภาพที่ 2.6) โดยหม้อไอน้ำที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง คือ หม้อไอน้ำที่ใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ โดยเกลบที่ได้มาจากผลพลอยได้จากการสีข้าว (สาธิตู, 2545) ซึ่งมีข้อดีคือ ช่วยลดต้นทุนในการผลิต ทำความสะอาดง่ายเพราะโครงสร้างและระบบการทำงานไม่ซับซ้อน ราคาถูก แต่มีข้อเสีย คือ วัสดุที่นำมาใช้ทำหม้อไอน้ำทำมาจากวัสดุเหล็กหนา จึงทำให้ให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการติดเตานาน และต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ในการติดตั้ง



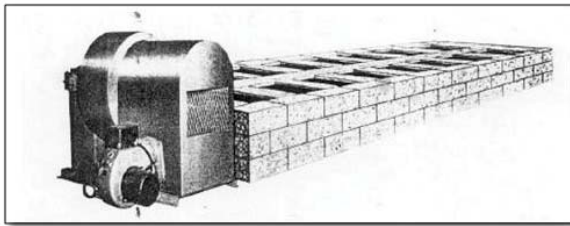
ภาพที่ 2.6 เครื่องนึ่งข้าว

ที่มา: Fukumori et al., (2008)

2.4.4 เครื่องอบแห้งที่ใช้ทำแห้งข้าวหนึ่ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท คือ แบบบรรจุตัวอย่างในกระสอบ แบบกระบะ แบบถังหมุนเวียน แบบคอลัมน์ แบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า แบบฟลูอิดไดซ์เบด และแบบโรตารี

2.4.4.1 เครื่องอบแห้งแบบบรรจุตัวอย่างในกระสอบ (ภาพที่ 2.7) ส่วนใหญ่นิยมใช้ลดปริมาณความชื้นกับเมล็ดข้าวเปลือกต่างๆ โดยห้องอบแห้งจะถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นช่องว่างหลายๆ ช่อง แล้วจึงให้ลมร้อนซึ่งโดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส เป่าผ่านช่องระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกในกระสอบจนกระทั่งปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกลดลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบบรรจุตัวอย่างในกระสอบ คือ สามารถวางกระสอบเมล็ดข้าวเปลือกได้หลายกระสอบ และ

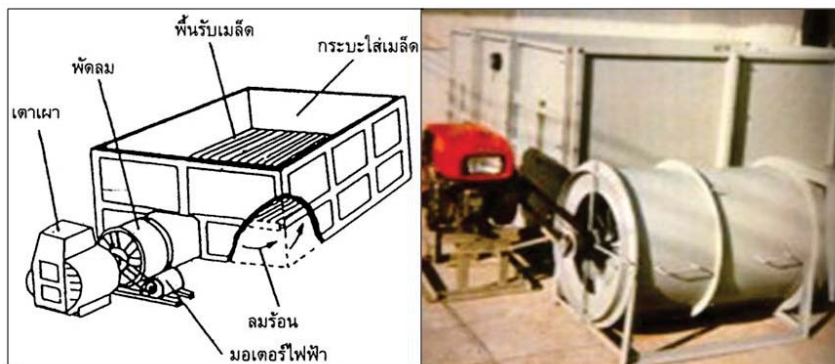
สามารถนำกระสอบที่บรรจุข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งแล้วมาอบแห้งได้เลย โดยไม่ต้องมีการเทข้าวเปลือกออกจากกระสอบและบรรจุข้าวเปลือกลงกระสอบอีก หลังจากทำแห้ง เครื่องอบแห้งแบบนี้จึงเหมาะกับการผลิตข้าวหนึ่ง ในอัตราการผลิตน้อย แต่เนื่องจากอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้มักจะไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส อีกทั้งลมร้อนจะต้อง ทะลุผ่านกระสอบก่อนที่จะไปสัมผัสกับเมล็ดข้าว จึงมีข้อเสีย คือ ต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้ง ทำให้มี อัตราการผลิตน้อยไม่เหมาะกับการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม



ภาพที่ 2.7 เครื่องอบแห้งแบบบรรจุตัวอย่างในกระสอบ

ที่มา: องค์ความรู้เรื่องข้าว (2549) และ DSK Agro (2010)

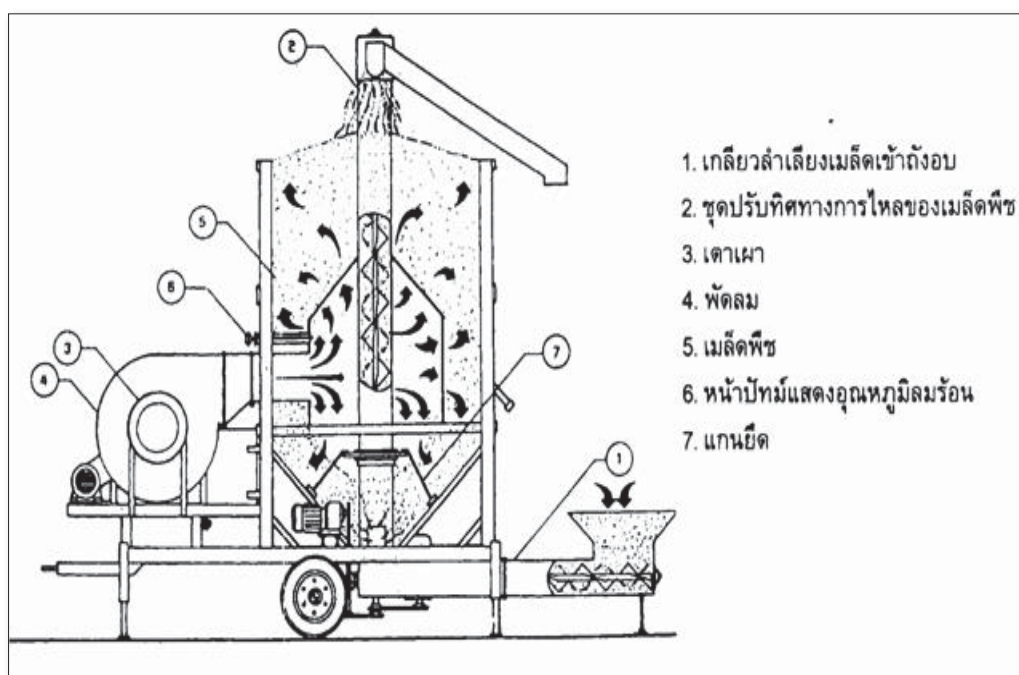
2.4.4.2 เครื่องอบแห้งแบบกระเบ (ภาพที่ 2.8) ประกอบด้วยกระเบเมล็ดพืชที่บรรจุอยู่บน ตะแกรง ในส่วนของทางด้านล่างตะแกรงจะติดตั้งพัดลมและชุดเตา ซึ่งทำหน้าที่ให้อุ่นลมให้มีอุณหภูมิสูง ประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วจึงให้ลมพัดผ่านชั้นเมล็ดพืชที่อยู่หนึ่งกับที่จากด้านล่างสู่ด้านบน ข้อดี คือ ทำให้ ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชลดลงเร็วกว่าเครื่องอบแห้งแบบบรรจุตัวอย่างในกระสอบ เนื่องจากอากาศ สามารถสัมผัสกับเมล็ดข้าวได้โดยตรงไม่ต้องทะลุผ่านกระสอบ โดยมีความสามารถในการลดความชื้นได้ ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์/ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นเมล็ดข้าว ความเร็วลมที่ใช้และอุณหภูมิของลม ร้อน แต่ข้อเสีย คือ การไหลของอากาศในลักษณะขั้บอากาศจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของกระเบดังกล่าว ทำให้เมล็ดพืชได้รับความร้อนและแห้งไม่สม่ำเสมอ (ทวีชัย, 2545) จึงอาจต้องมีการพลิกกลับชั้นเมล็ดข้าว ด้านบนและด้านล่าง



ภาพที่ 2.8 เครื่องอบแห้งแบบกระเบ

ที่มา: องค์ความรู้เรื่องข้าว (2549) และ DSK Agro (2010)

2.4.4.3 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุนเวียน (ภาพที่ 2.9) ประกอบไปด้วยถังบรรจุเมล็ดพืชซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกแนวตั้ง โดยในบริเวณส่วนกลางของถังจะมีท่อลมซึ่งทำด้วยตะแกรงมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกซ้อนอยู่ภายใน การเคลื่อนที่ของลมร้อนจะถูกเป่าให้ผ่านเมล็ดตามแนวรัศมีแล้วจึงไหลผ่านรูตะแกรงออกสู่ภายนอก โดยเมล็ดพืชที่อยู่ด้านล่างจะถูกลำเลียงขึ้นไปด้านบนใหม่จนกระทั่งปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา สำหรับเครื่องอบประเภทนี้ได้มีการสร้างจำหน่ายเมื่อประมาณสิบปีมาแล้ว ซึ่งข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนเวียน คือมีชุดปรับทิศทางทางไหลที่สามารถเคลื่อนย้ายข้าวเปลือกที่แห้งแล้วไปยังถังเก็บข้าวเปลือกได้อย่างรวดเร็ว แต่เครื่องอบแห้งแบบนี้ก็ยังคงไม่ได้รับความนิยมเพราะมีข้อเสียเรื่องปัญหาฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายและการสึกหรอของระบบลำเลียง



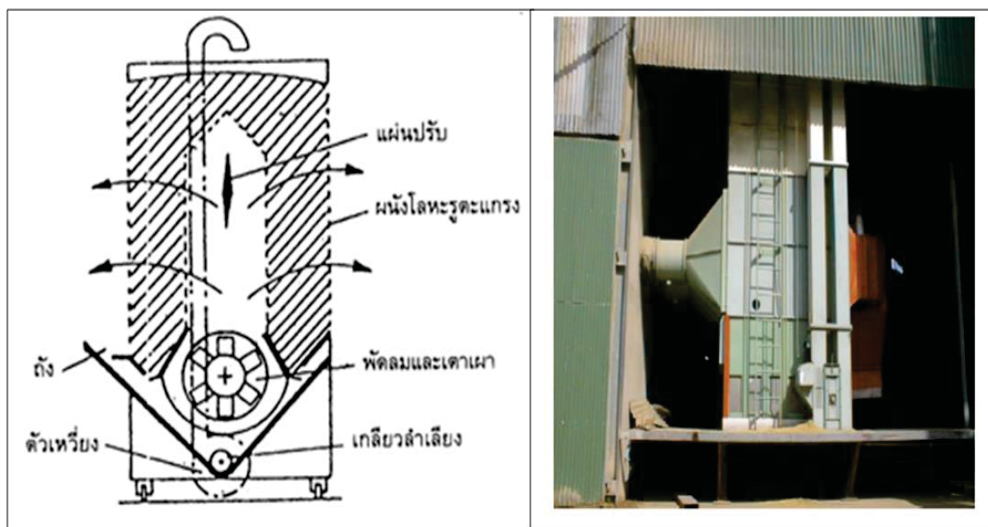
ภาพที่ 2.9 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุนเวียน

ที่มา: องค์ความรู้เรื่องข้าว (2549)

2.4.4.4 เครื่องอบแห้งแบบคอลัมน์ ประกอบด้วยถังบรรจุเมล็ดพืชมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้งมีความสูงมากกว่า 3 เมตร โดยจะต่อเข้ากับท่อลมร้อนทางด้านข้างซึ่งมีเตาลมร้อนและพัดลมเป็นส่วนประกอบ และบริเวณทางด้านล่างของถังบรรจุเมล็ดพืชจะมีชุดควบคุมการไหลของเมล็ดพืช ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

2.4.4.4.1 ชนิดเมล็ดพืชไม่ไหลคลุกเคล้า (ภาพที่ 2.10) ประกอบด้วยช่องบรรจุเมล็ดพืชที่บริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน เป็นตะแกรงเพื่อให้ลมไหลผ่านได้ โดยช่องบรรจุเมล็ดพืชอย่างน้อยจะต้องมี 2 ช่อง และบริเวณตรงส่วนกลางจะเป็นห้องลมร้อนซึ่งจะพัดผ่านเมล็ดพืชออกแนวข้างทั้ง 2 ช่อง โดยเครื่องอบแห้งแบบนี้มีข้อเสีย คือ เมล็ดพืชที่อยู่ติดกับบริเวณห้องลมร้อนจะแห้งเร็วกว่าทางด้านลมออก ใช้ปริมาณลม

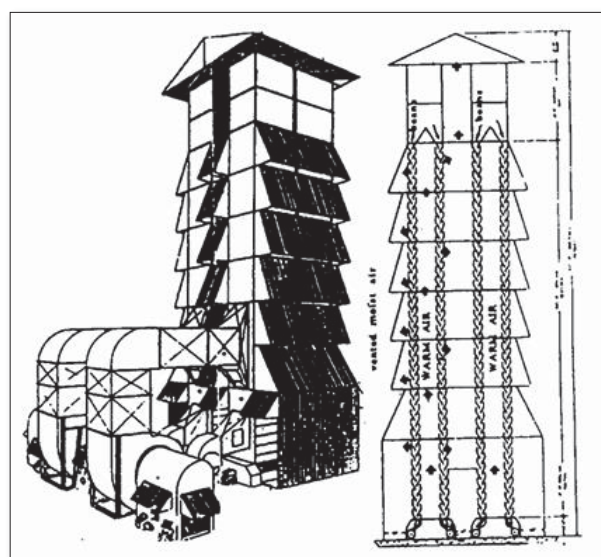
ที่สูง คือ 112 - 262 ลูกบาศก์เมตร/นาที่/ตันเมล็ดพืช แต่อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งชนิดนี้ยังมีข้อดี คือ ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย และสามารถเคลื่อนย้ายเครื่องอบแห้งได้อย่างสะดวก (Hellevang, 2013)



ภาพที่ 2.10 เครื่องอบแห้งแบบคอลัมน์ชนิดเมล็ดพืชไม่ไหลคลุกเคล้า

ที่มา: องค์ความรู้เรื่องข้าว (2549) และ กรมวิชาการเกษตร (2558)

2.4.4.4.2. ชนิดเมล็ดพืชมีการคลุกเคล้า เครื่องลดความชื้นแบบนี้ต่างจากแบบชนิดเมล็ดพืชไม่ไหลคลุกเคล้า คือ แทนที่ระหว่างห้องลมร้อนกับช่องบรรจุเมล็ดพืชจะเป็นตะแกรง แต่จะเป็นแบบแผ่นทึบที่ทำให้เมล็ดพืชไหลสลับไปมา ซึ่งในระหว่างแผ่นนี้จะมีช่องว่างให้ลมสามารถไหลผ่านได้ จึงเป็นข้อดี ที่ทำให้เมล็ดพืชที่ไหลจากด้านบนสู่ด้านล่างจะมีโอกาสสัมผัสลมร้อนเท่าๆ กัน (ภาพที่ 2.11)

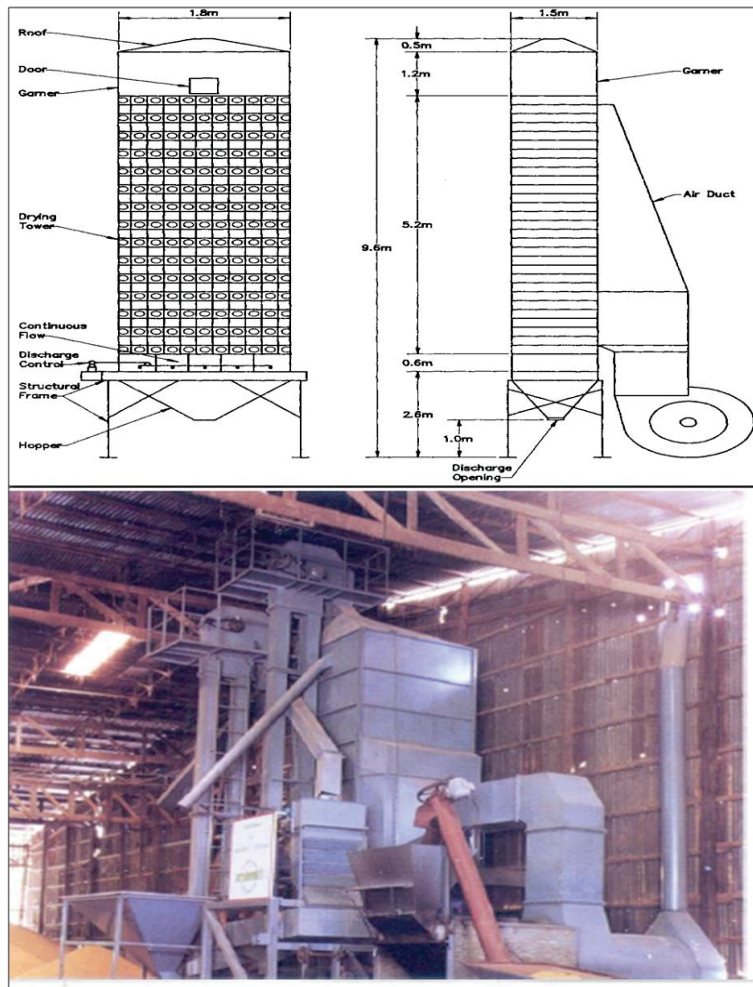


ภาพที่ 2.11 เครื่องอบแห้งแบบคอลัมน์ชนิดเมล็ดพืชมีการคลุกเคล้า

ที่มา: องค์ความรู้เรื่องข้าว (2549)

เครื่องลดความชื้นแบบคอลัมน์ทั้ง 2 แบบนี้ สามารถใช้งานได้ 2 ลักษณะ คือ แบบแรกใช้แบบเป็น ครั้ง โดยในขั้นแรกจะบรรจุเมล็ดพีชจนเต็มถึงจากนั้นจึงเปิดพัดลมและเตาอุ่นลมร้อน ในขณะเดียวกันก็ หมุนเวียนเมล็ดพีชส่วนที่อยู่ด้านล่างขึ้นไปสู่ด้านบนของถังบรรจุเมล็ดพีชหลายๆ ครั้งจนกว่าเมล็ดพีชจะได้ ปริมาณความชื้นตามที่ต้องการจึงขนถ่ายเมล็ดพีชออกจากถังเก็บ ในส่วนของการใช้งานลักษณะที่สอง คือแบบ ไหลต่อเนื่องเมล็ดพีชที่มีความชื้นสูงจะผ่านเข้าสู่ถังอบจากด้านบนลงล่างเพียงเที่ยวเดียวความชื้นจะลดลงใน ระดับหนึ่ง จากนั้นนำไปเก็บในถังพักไว้ระยะหนึ่งเพื่อปรับสภาพความชื้นภายในเมล็ดพีชเองอย่างน้อย 4 ชั่วโมง แต่โดยทั่วไปใช้ 4-24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำกลับมาผ่านเครื่องอบใหม่ ทำในลักษณะนี้จนกว่าเมล็ดพีชจะแห้ง

2.4.4.5 เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า ซึ่งทั่วไปเรียกว่า แบบแอลเอสยู (ภาพที่ 2.12) ประกอบไปด้วยถังบรรจุเมล็ดพีชซึ่งมีลักษณะเป็นแบบถังทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง โดยเมล็ดพีชจะเคลื่อนที่ จากด้านบนลงล่าง และภายในถังอบแห้งจะประกอบไปด้วยท่อลมเป็นชั้นๆ ซึ่งท่อลมแต่ละชั้นจะเป็นท่อลมร้อน เข้าสลับกับท่อลมร้อนออก โดยท่อลมร้อนเข้านี้จะพัดผ่านเมล็ดพีชในถังอบ และไหลออกทางท่อลมออกที่อยู่ชั้น ด้านบนและด้านล่าง ท่อลมแต่ละท่อจะมีลักษณะเป็นรางคว่ำ ด้านบนแหลม ด้านล่างเปิดว่างในแนวนานกับ พื้นยาวตลอดถัง ที่ปลายรางด้านหนึ่งจะเจาะช่องต่อเข้ากับห้องรวบรวมลม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะปิดท่อลม แต่ละชั้นจะมีช่องที่เจาะเข้ากับห้องรวบรวมลมสลับกัน โดยชั้นหนึ่งจะต่อเข้าทางด้านห้องลมร้อนเข้า และอีก ชั้นหนึ่งจะต่อเข้ากับห้องลมออก เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะทำให้เมล็ดพีชไหลกลับไปกลับมา และมีโอกาส สัมผัสกับลมร้อนเข้าและลมร้อนที่เป่าออกสลับกัน เท่ากันตลอดทั้งถังบรรจุเมล็ดพีช ใช้ปริมาณลมในอัตรา 44 - 97 ลูกบาศก์เมตร/นาที่/ตันเมล็ดพีช โดยบางครั้งอาจสูงถึง 112 - 180 ลูกบาศก์เมตร/นาที่/ตันเมล็ดพีช และ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้จะได้สูงกว่าแบบคอลัมน์คือ 66 องศาเซลเซียส เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้าชนิด นี้เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพในการทำแห้งสูงเมล็ดพีชที่ผ่านกระบวนการ อบแห้งจะมีความสม่ำเสมอ และสามารถอบแห้งเมล็ดพีชได้หลากหลาย แต่ก็มีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน และการอบแห้งค่อนข้างสูง (Chakraverty and Singh, 2014)

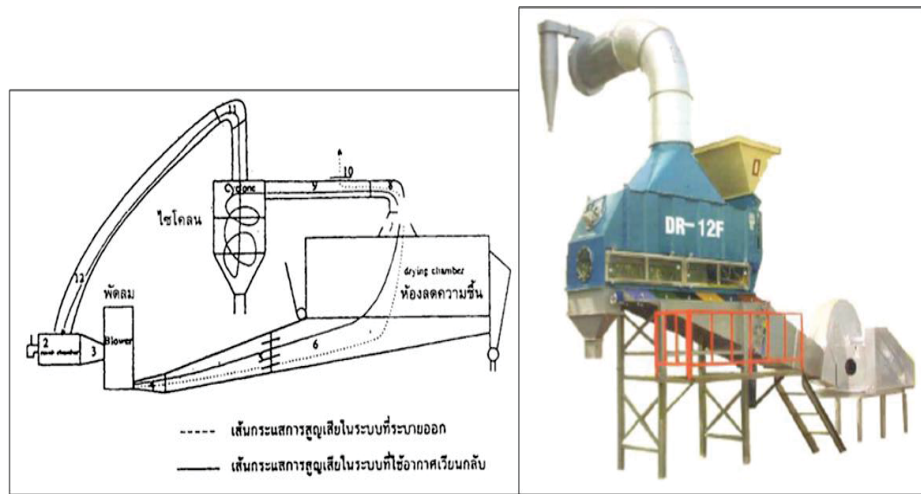


ภาพที่ 2.12 เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า

ที่มา: DSK Agro (2010) และ FAO Corporate Document Repository (ม.ป.ป) (1994)

2.4.4.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (ภาพที่ 2.13) เป็นเครื่องอบแห้งที่โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้ มีการพัฒนาและสร้างเครื่องออกมาจำหน่ายภายในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก โดยลักษณะของห้องอบแห้งจะเป็นห้องปิดมีตะแกรงอยู่ด้านล่างและบริเวณที่ปลายทั้ง 2 ด้าน จะมีอุปกรณ์สำหรับป้อนเมล็ดพืชเข้าและออกจากห้องอบแห้ง ในส่วนของลมร้อนจะเป่าผ่านชั้นเมล็ดพืชที่อยู่บนตะแกรง ซึ่งมีความหนาไม่เกิน 10 เซนติเมตร นิยมใช้ความเร็วลมประมาณ 1.9 เมตร/วินาที และอุณหภูมิลมร้อนที่มากกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยช่วงระยะเวลาที่เมล็ดพืชสัมผัสลมร้อนจะสั้น โดยอาจใช้ระยะเวลาประมาณ 3 - 5 นาที เหมาะสำหรับการใช้ลดความชื้นเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ลงมาที่ระดับความชื้นปานกลาง (18 - 19 เปอร์เซ็นต์) และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ลมร้อนจึงมักจะมีการนำเอาลมร้อนที่ผ่านเมล็ดพืชแล้วกลับมาทำให้ร้อนใหม่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลืออีก 20 เปอร์เซ็นต์จะปล่อยทิ้งไป ข้อดีของเครื่องอบแห้งประเภทนี้ คือ เมล็ดพืชที่ไหลผ่านเพียงเที่ยวเดียวก็จะสามารถลดปริมาณความชื้นลง 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีอัตราการทำให้แห้งสูง เหมาะกับตลาดกลางที่มีปริมาณข้าวเปลือกความชื้นสูงเข้ามาในปริมาณมาก ข้อเสียเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานมาก โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการอบแห้งเมล็ดพืชจากระดับความชื้นปานกลาง

(ต่ำกว่า 18 - 19 เปอร์เซ็นต์) ลงมายังระดับความชื้นต่ำ (ไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์) และมีค่าความดันลดลงสูง โดยเฉพาะกรณีที่มีเมล็ดพืชมีความชื้นสูง ซึ่งส่งผลให้ต้องใช้ความเร็วลมที่สูงมาก (Mujumdar, 2007)



ภาพที่ 2.13 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ที่มา: DSK Agro (2010)

2.4.4.7 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี เป็นเครื่องที่นิยมใช้ในการลดปริมาณความชื้นของข้าวหนึ่ง โดยลักษณะตัวเครื่องจะเป็นรูปถังทรงกระบอกแนวนอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 - 2 เมตร ความยาว 15 - 30 เมตร หมุนเอียงถึง 2 - 4 องศาจากแนวนอน ถึงหมุนด้วยความเร็วรอบ 4 - 8 รอบต่อนาที (ภาพที่ 2.14) โดยทั่วไปเมล็ดพืชจะอยู่ในถังประมาณ 10 - 20 นาที อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้อยู่ในช่วง 121 - 288 องศาเซลเซียส ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี คือ อัตราการทำแห้งของเมล็ดพืชสูงและมีความสม่ำเสมอ ข้อเสีย คือ การออกแบบค่อนข้างยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายสูงและสิ้นเปลืองพลังงานมาก (Chakraverty and Singh, 2014)

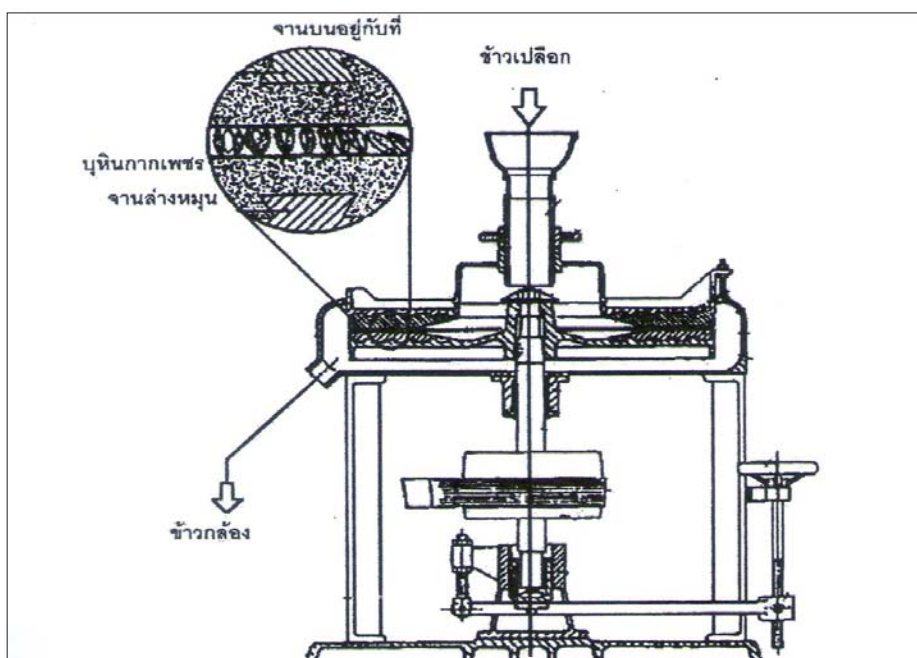


ภาพที่ 2.14 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2558)

2.4.5 เครื่องกะเทาะเปลือก โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบหินโม้ และ แบบลูกกลิ้งยาง หรือ สายพานหมุน

2.4.5.1 เครื่องกะเทาะเปลือกแบบหินโม้ (ภาพที่ 2.15) จะมีระบบการทำงาน คือ ข้าวเปลือกจะไหลผ่านระหว่างแผ่นจานทั้งสอง ซึ่งระยะห่างระหว่างจานทั้งสองสามารถปรับตั้งได้ ที่ผิวของจานบนจะเคลือบด้วยวัสดุที่มีลักษณะหยาบ เช่น หินกากเพชร จานที่อยู่ด้านบนจะถูกยึดอยู่กับที่ ในขณะที่จานที่อยู่ด้านล่างจะหมุนกับจานบนและสามารถหมุนได้ โดยอาศัยการถ่ายทอดกำลังจากเพลลาที่หมุน ข้าวเปลือกจะถูกป้อนเข้าที่ตรงกลางของจานด้านบนที่เป็นช่องป้อน เมล็ดที่ร่วงผ่านสู่จานล่าง จะถูกตั้งขึ้นด้วยแรงหมุน และเคลื่อนออกจากจุดศูนย์กลางด้วยแรงเหวี่ยง ผ่านส่วนของหินขัด ส่วนยอดของเมล็ดจะสัมผัสกับจานด้านบน ซึ่งจะกดเปลือกให้หลุดจากเมล็ดข้าวได้ ถ้าระยะห่างระหว่างจานบนและจานล่างมากเกินไปความยาวของเมล็ดจะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและไม่ก่อให้เกิดการกะเทาะ ข้อดีของเครื่องกะเทาะเปลือกแบบหินโม้ คือ สามารถกะเทาะเปลือกได้ปริมาณครั้งละมากๆ ต้นทุนต่ำ และเมล็ดข้าวเปลือกมีการแตกหักน้อย ในขณะที่ข้อเสีย คือ เศษผิวของจานที่เคลือบด้วยหินกากเพชรจะปะปนลงไปกับข้าวที่ผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือกออกมาแล้ว

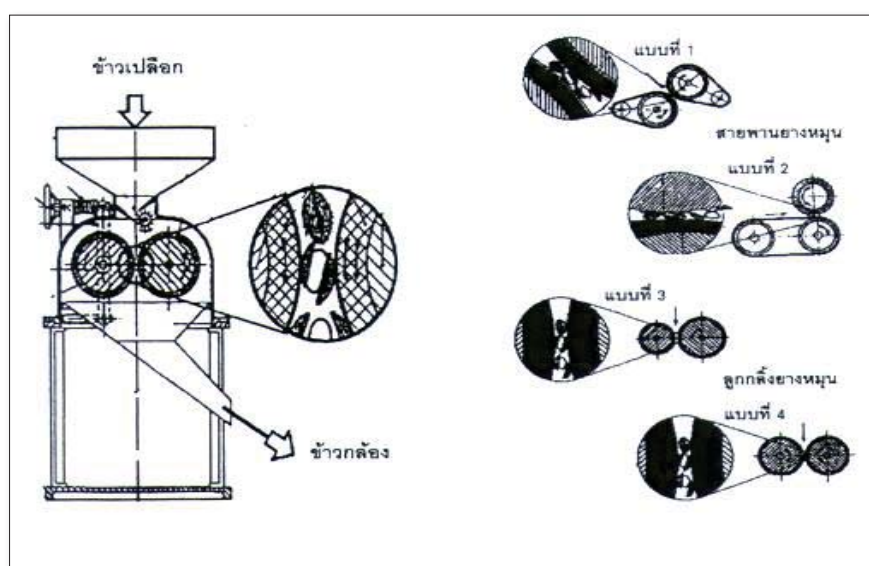


ภาพที่ 2.15 เครื่องกะเทาะเปลือกแบบหินโม้

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

2.4.5.2 เครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกกลิ้งยาง หรือ สายพานหมุน ประกอบด้วยลูกยางกะเทาะ 2 ลูก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน (ภาพที่ 2.16) หมุนในทิศทางที่ตรงข้ามกัน และออกแบบให้ความเร็วในการหมุนแตกต่างกัน โดยลูกยางกะเทาะซึ่งมีความเร็วรอบสูงกว่าจะยึดติดกับตลับลูกปืน (Bearing) ที่อยู่กับที่ ในขณะที่ลูกยางอีกลูกหนึ่งที่หมุนด้วยความเร็วรอบที่ต่ำกว่าจะยึดติดกับตลับลูกปืน (Bearing) ที่

สามารถเลื่อนเข้าและออกได้ ในระยะห่างระหว่างลูกยางทั้งสองสามารถปรับตั้งได้ ในโรงสีข้าวส่วนใหญ่จะกำหนดให้ลูกยางลูกที่มีความเร็วในแนวสัมผัสสูงมีค่าอยู่ระหว่าง 15 – 17.5 เมตรต่อวินาที ในขณะที่ลูกยางที่มีความเร็วรอบต่ำกว่าจะมีความเร็วในแนวสัมผัสอยู่ระหว่าง 12.5 – 15 เมตรต่อวินาที ถ้าเพิ่มความเร็วสัมผัสให้มากขึ้น จะทำให้อัตราการกะเทาะสูงขึ้น แต่อาจทำให้ผิวสัมผัสหน้ายางสึกหรอเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนในระหว่างการทำงาน ทำให้การตั้งระยะห่างระหว่างลูกยางทั้งสองเกิดการผิดพลาดได้ โดยทั่วไปค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วสัมผัสของลูกยางทั้งสอง ไม่ควรเกิน 2.5 เมตรต่อวินาที เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือกลดลง ความแข็งของลูกยาง จะขึ้นกับอุณหภูมิของลูกยางขณะทำงาน ยิ่งอุณหภูมิขณะทำงานมีค่าสูง จะทำให้ยางอ่อนนุ่มลง ข้อดีของเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกกลิ้งยาง หรือ สายพานหมุน คือ มีการออกแบบระบบที่มีลมระบายความร้อนให้กับลูกยาง จะทำให้อัตราการสึกหรอลดลง การกะเทาะเปลือกโดยใช้ลูกยาง ง่ายต่อการบำรุงรักษา เพราะเครื่องมีขนาดเล็ก ให้อัตราการกะเทาะสูง และมีประสิทธิภาพในการกะเทาะสูง เมล็ดเสียหายน้อย ในขณะที่ข้อเสียของเครื่องกะเทาะชนิดนี้ คือ ลูกยางมีอัตราการสึกหรอสูง โดยเฉพาะเมื่อทำงานในฤดูร้อน อีกทั้งราคาของลูกยางสูง โดยประสิทธิภาพในการกะเทาะของเครื่องชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความเร็วรอบของลูกยางทั้งสอง ระยะห่างระหว่างลูกยาง ความแข็งของผิวสัมผัสหน้ายาง รวมทั้งความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก

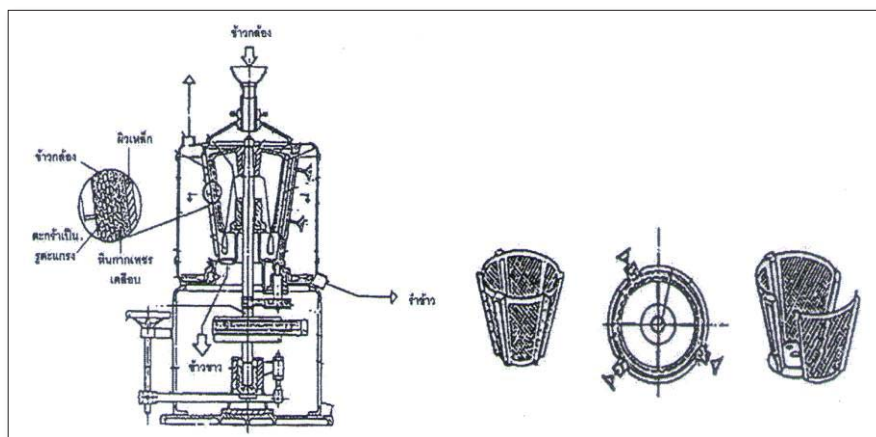


ภาพที่ 2.16 เครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกกลิ้งยางหรือสายพานหมุน

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

2.4.6 เครื่องขัดขาว เป็นเครื่องที่ใช้ในการขัดชั้นรำ (Rice bran) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มเมล็ด ออกจากข้าวกล้อง ให้เหลือเฉพาะส่วนของเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) และขัดมัน เพื่อให้ผิวเรียบเป็นเงาสะอาด โดยเครื่องขัดข้าวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

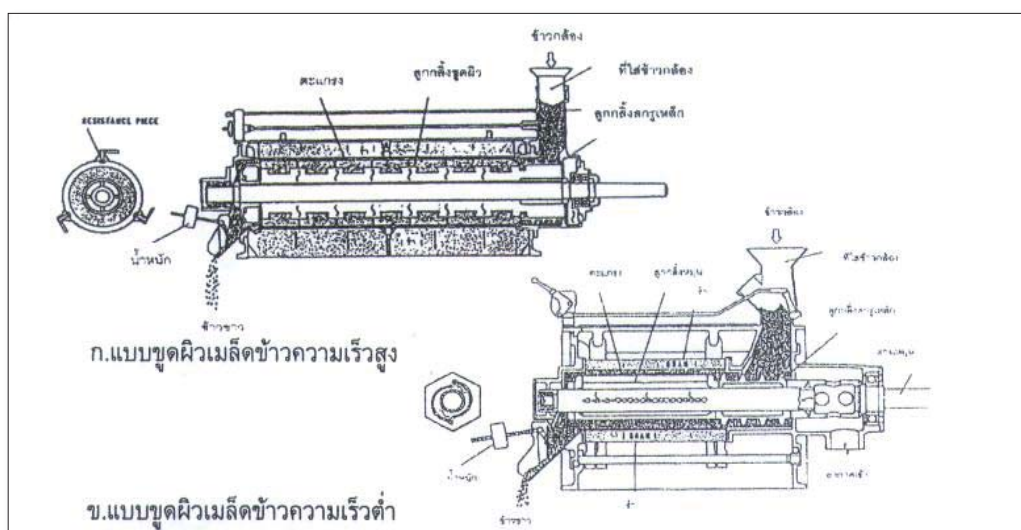
2.4.6.1 เครื่องขัดขาวแนวตั้งแบบชุดผิวเมล็ดข้าว โดยเครื่องจะมีลักษณะคล้ายกรวยซึ่งทำหน้าที่เป็นตะกร้าที่มีรูตะแกรงครอบคลุมไม่เหล็กเคลือบผิวด้วยหินกาบเพชรซึ่งมีลักษณะหมุนได้ จึงทำให้เกิดการชุดผิวของเมล็ดข้าวกับผิวตะแกรง และผิวหินกาบเพชรที่เคลือบลูกไม่เหล็กไว้ ทำให้ชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวกลิ้งหลุดผ่านตะแกรงเป็นรำข้าว ส่วนข้าวขาวจะแยกออกมาอีกทางหนึ่ง (ภาพที่ 2.17)



ภาพที่ 2.17 เครื่องขัดขาวแนวตั้งแบบชุดผิวเมล็ดข้าว

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

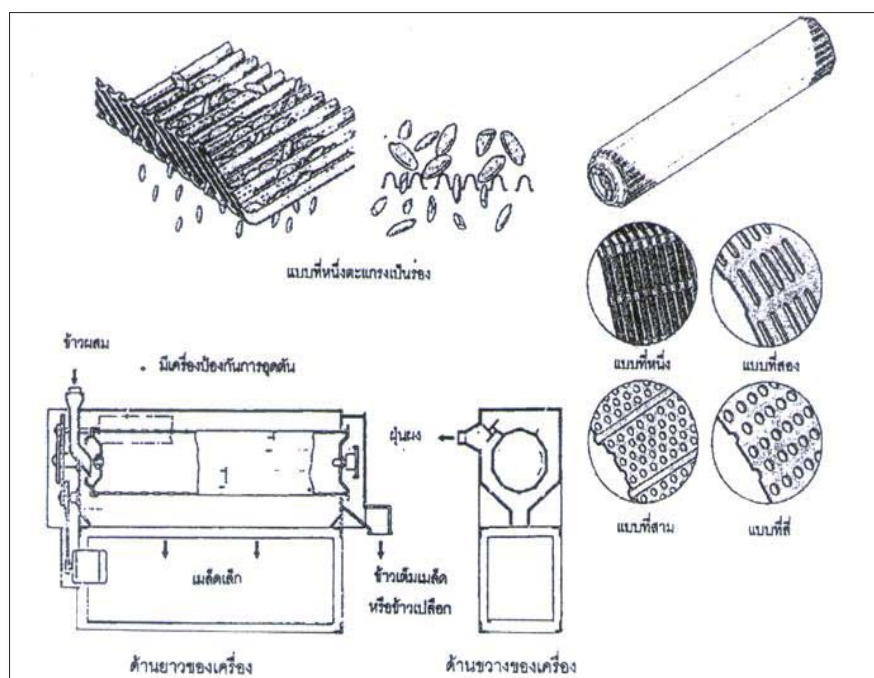
2.4.6.2 เครื่องขัดขาวแนวนอน ได้ถูกพัฒนาให้มีการขัดขาวร่วมกันทั้งแบบใช้ความเร็วสูงและใช้ความเร็วต่ำในการชุดผิวเมล็ดข้าว และชุดผิวเมล็ดข้าวเป็นลำดับ โดยข้อดีของเครื่องขัดขาวแนวนอน คือ ข้าวกล้องจะผ่านเครื่องชุดผิวเมล็ดข้าวด้วยความเร็วสูงก่อนแล้วจึงผ่านเข้าเครื่องชุดผิวเมล็ดข้าวด้วยการเสียดสีของเมล็ดข้าวกลิ้งกันเองด้วยความเร็วต่ำ จึงทำให้ผิวข้าวมีความเรียบ สวย อีกทั้งยังทำให้ปริมาณข้าวหักลดลง (ภาพที่ 2.18)



ภาพที่ 2.18 เครื่องขัดขาวแนวนอน

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

2.4.7 เครื่องคัดขนาดข้าว ทำหน้าที่ในการคัดแยกข้าวสารที่เป็นต้นข้าว (Head rice) ออกจากปลายข้าว (Broken rice) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.19 มีหลายแบบ เช่น แบบตะแกรง แบบทรงกระบอกหมุน ซึ่งการคัดแยกทำได้ยาก ถ้าขนาดของข้าวเมล็ดเต็ม และข้าวหักมีขนาดใกล้เคียงกัน สำหรับเครื่องคัดแยกแบบทรงกระบอกหมุน ความเร็วรอบที่ใช้ในการคัดแยก อยู่ในช่วงระหว่าง 30 – 40 รอบต่อนาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมอยู่ระหว่าง 2 – 8 มิลลิเมตร เมื่อป้อนส่วนผสมระหว่างต้นข้าว และปลายข้าวเข้าสู่เครื่องคัดขนาดแบบทรงกระบอก ปลายข้าวที่มีขนาดเล็กจะตกลงไปในหลุม ในขณะที่ข้าวเมล็ดเต็ม ไม่สามารถลงหลุมได้ จะเคลื่อนที่อยู่ภายในทรงกระบอก แล้วไหลไปตามความเอียงของทรงกระบอก ไปตามทางออกของข้าวเมล็ดเต็ม ส่วนข้าวที่มีขนาดสั้น จะอยู่ในหลุมเพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆ เมื่อถึงระดับตำแหน่งหนึ่ง ปลายข้าวจะหลุดออกจากหลุม ไปสู่ถาดรองรับข้าวเมล็ดสั้น ข้อดี คือ มีความยืดหยุ่นสูงสามารถเปลี่ยนตะแกรงได้หลายรูปแบบตามรูปร่าง ขนาดของพันธุ์ข้าว และมีความแข็งแรงทนทาน



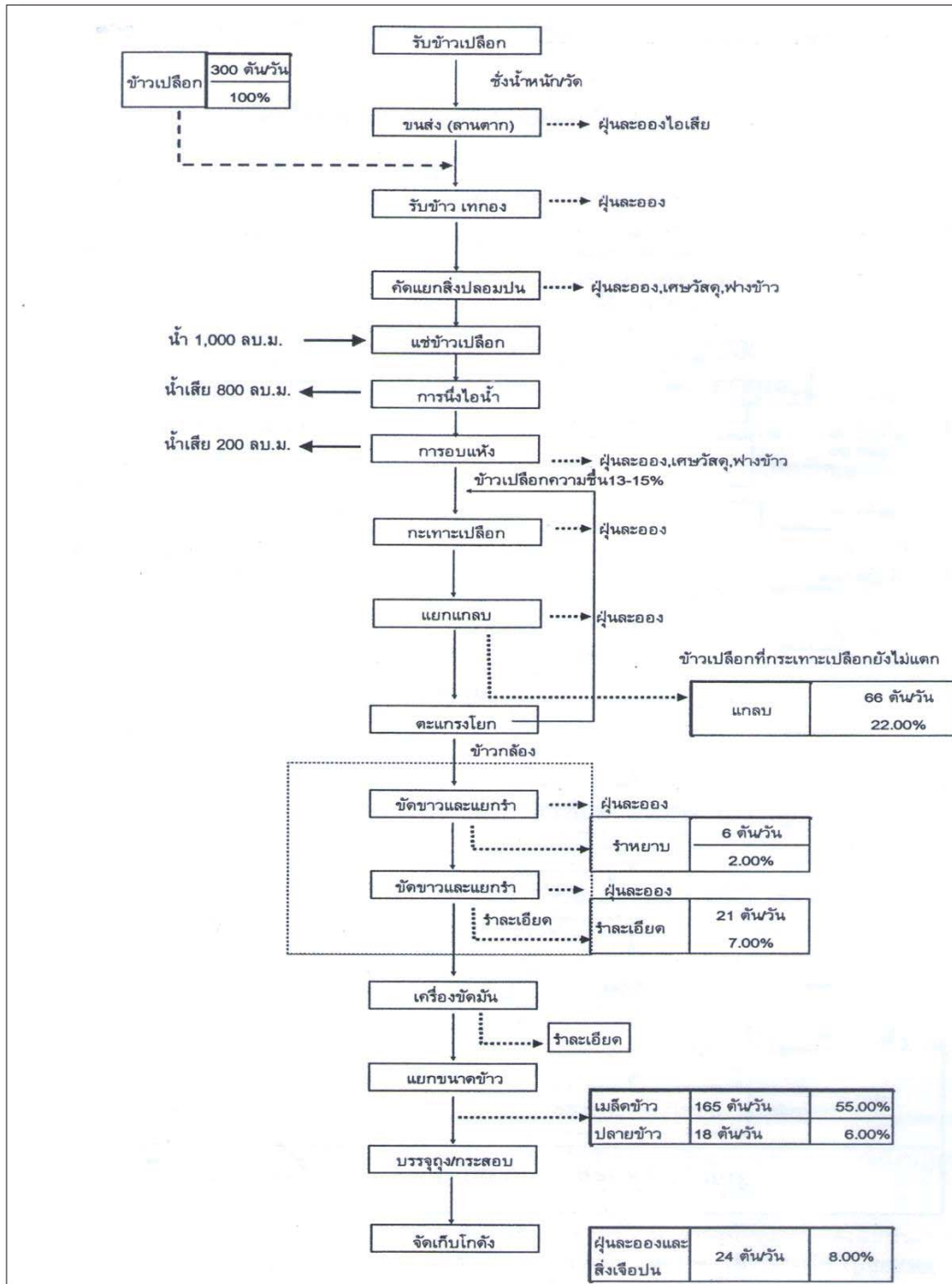
ภาพที่ 2.19 เครื่องคัดขนาดข้าว

ที่มา: อรอนงค์ (2550)

2.5 การคำนวณสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทย

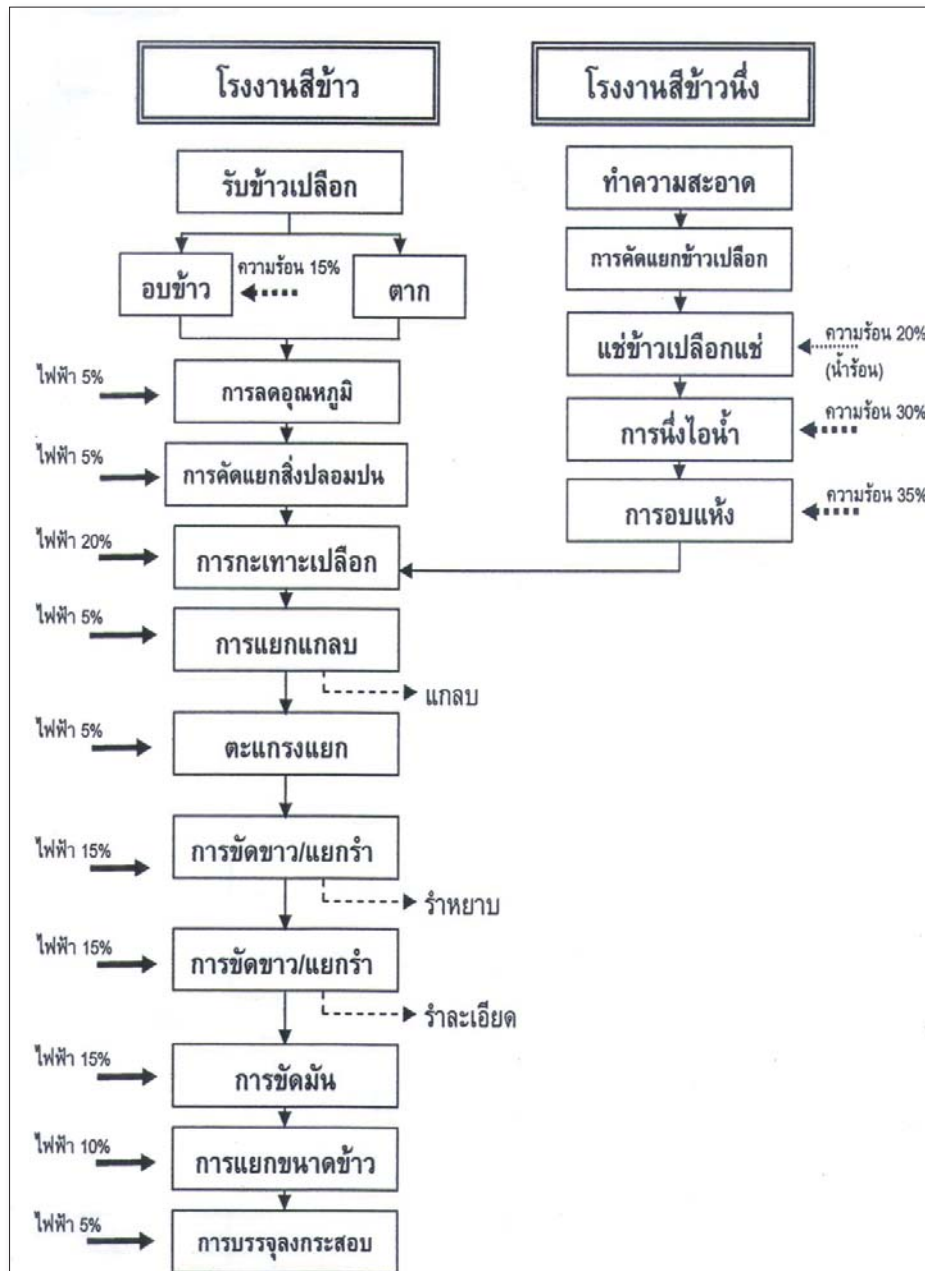
กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2552) ได้จัดทำการศึกษาโรงงานสีข้าวหนึ่งแห่งหนึ่งในประเทศไทย พบว่า ข้าวเปลือก 300 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการหนึ่งและนำมาสีจะได้ข้าวหนึ่ง 165 ตัน (55 เปอร์เซ็นต์) แกลบ 66 ตัน (22 เปอร์เซ็นต์) ปลายข้าว 18 ตัน (6 เปอร์เซ็นต์) รำหยาบและรำละเอียด 27 ตัน (9 เปอร์เซ็นต์) และฝุ่นละอองกับสิ่งปลอมปน 24 ตัน (8 เปอร์เซ็นต์) โดยตัวอย่างสมดุลมวลสารแสดงดัง (ภาพที่ 2.20) และสมดุลพลังงานแสดงดัง (ภาพที่ 2.21) ซึ่งข้อมูลสมดุลมวลสารดังกล่าวทำให้ทราบว่า ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง จะมี

การใช้น้ำในปริมาณเท่าใด มีการสูญเสียของมวลสารเกิดขึ้นที่ขั้นตอนใดบ้าง ในปริมาณเท่าใด และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณเท่าใด ส่วนข้อมูลสมดุลพลังงานแสดงให้เห็นว่า ในโรงงานสีข้าวหนึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนคิดเป็นสัดส่วนเท่าใดในแต่ละขั้นตอนการผลิต



ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างสมดุลมวลสารของโรงงานสีข้าวหนึ่งแห่งหนึ่ง

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2552)



ภาพที่ 2.21 ตัวอย่างสมดุลพลังงานของโรงงานสีข้าวหนึ่งแห่งหนึ่ง

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2552)

โดยสรุปในบทนี้ เป็นการนำเสนอเรื่องกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตข้าวหนึ่ง ว่า มีขั้นตอนกระบวนการผลิตหลักเป็น 3 ขั้นตอน และมีเครื่องมือหลายประเภทที่สามารถทำการผลิตข้าวหนึ่งในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งแต่ละขั้นตอนของกระบวนการดังกล่าวรวมถึงสถานะที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่กำหนด หรือ ควบคุมได้จากเครื่องมือการผลิต ล้วนส่งผลต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง ทั้งนี้การกำหนดคุณภาพของข้าวหนึ่งสามารถจำแนกได้เป็น คุณภาพด้านสี ลักษณะปรากฏ เปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังจากการขัดสี เนื้อสัมผัส คุณภาพการหุงต้ม คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากสถานะที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งแล้ว วิธีการหุงต้มข้าวหนึ่ง องค์ประกอบทางเคมี พันธุ์ข้าว และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว ล้วนมีผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่งทั้งสิ้น อีกทั้งอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่งค่อนข้างซับซ้อนและแยกออกจากกันยาก

ในบทต่อไปจะได้นำเสนอข้อประมวลความรู้จากงานวิจัยด้านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง เพื่อเป็นฐานข้อความรู้ในการพัฒนางานวิจัยอันเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งต่อไป

เอกสารอ้างอิง (2)

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2552. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมสีข้าวหนึ่ง. สำนักพิมพ์ ดี เอ็ม พรินติ้ง จำกัด. กรุงเทพมหานคร.
- กรมวิชาการเกษตร. 2558. เครื่องลดความชื้นเมล็ดพืชที่ผลิตในประเทศ. (Online). www.doa.go.th/aeri/download/km5712-7.pdf, 5 กันยายน 2558.
- ทวีชัย นิมาแสง. 2545. การปรับปรุงเครื่องลดความชื้นแบบกระบะ. Agricultural Science Journal. 33: 6 (Suppl.): 184-189.
- ผู้จัดการ360. 2559. ผู้บุกเบิกในอุตสาหกรรมการผลิตข้าวหนึ่งรายแรก. (Online). <http://info.gotomanager.com/news/details.aspx>, 5 มกราคม 2559
- สมคิด โฆษิตพันธุ์. 2549. อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิของการแช่ที่มีผลต่อการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดเซชันที่ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สาณัฐ อรรถศาสตร์. 2545. ศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในโรงสีข้าวหนึ่งในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2560ก. Gelatinization / การเจลาติไนซ์. (Online). www.foodnetworksolution.com, 10 กุมภาพันธ์ 2560.
- ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2560ข. Saturated steam / ไอน้ำอิ่มตัว. (Online). www.foodnetworksolution.com, 10 กุมภาพันธ์ 2560.
- องค์ความรู้เรื่องข้าว. 2549. เครื่องจักรกลการเกษตร: เครื่องมือเก็บรักษาข้าว. (Online). www.brrd.in.th/rkb/, 5 กันยายน 2558.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- อรอนงค์ นัยกุล. 2556. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- Binmaster Engineering. (ม.ป.ป). 2004. เครื่องแช่ข้าว. (Online). www.binmasterr.com/soaking.php, 31 สิงหาคม 2558.
- CBECL. (ม.ป.ป). 2011. Complete Auto Rice Milling Plant and Machines. (Online). www.cbecl.info/2012/09/auto-rice-mill-machines.html, 1 กันยายน 2558.

- Chakraverty, A. and R. P. Singh. 2014. **Grain Dryer: Rotary Dryer**. Postharvest Technology and Food Process Engineering. CRC press taylor & francis. USA.
- Desco.International 2006. **เครื่องสูมตัวอย่างข้าว**. (Online). www.descoengineering.net/, 3 กันยายน 2558.
- Dickey John Kett. 2005. **เครื่องวัดปริมาณความชื้น**. (Online). www.merlinlazer.com, 3 กันยายน 2558
- DSK Agro. 2010. **เครื่องลดความชื้นเมล็ดพืชแบบต่างๆ ที่มีใช้ภายในประเทศ: เครื่องจักรที่ใช้ในการอบแห้ง**. (Online). www.shop.dsk-agro.com/?p=143, 5 กันยายน 2558.
- Elbert, G., P. Marcela and C. Suarez. 2001. **Effect of Drying Condition on Head Rice Yield and Browning Index of Parboiled Rice**. Journal of Food Engineering. 47: 37-41. Engineering. 9: 17-22.
- FAO Corporate Document Repository. (ม.ป.ป). 1994. **Grain Storage Techniques-Evolution and Trends in Developing Countries**. (Online). www.fao.org/docrep/t1838e/T1838E0w.htm, 8 ธันวาคม 2558.
- Fukumori, T., S. Kanemoto, K. Wakabayashi, K. Watanabe, J. Ishibashi and S. Ochiai. 2008. **Method of producing parboiled rice and parboiled rice produced by the method**. USA. Patent No. US 20080220145 A1.
- Gariboldi, F. 1984. **Rice Parboiling**. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- Hellevang, K.J. 2013. **Grain drying**. Extension Agricultural Engineer. North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA
- Induss the rice engineers. 2004. **Continuous Pre Steamer and Cooker**. (Online). www.indussgroup.net/technology.html, 5 กันยายน 2558
- Jinorose, M., Prachayawarakorn, S. and Soponronnarit, S. 2014. **A novel image-analysis based approach to evaluate some physicochemical and cooking properties of rice kernels**. Journal of food engineering. 124: 184-190.
- Juliano, B, O. 1998. **Varietal impact on rice quality**. Cereal Foods World 43: 214-222.
- Mujumdar, A. S. 2007. **Handbook of industrial drying**. CRC Press Taylor & Francis. USA.

- Oli. P., R. Ward, B. Adhikari and P.R Torley. 2014. **Parboiled rice: Understanding From a Materials Science Approach**. Journal of Food Engineering. 124: 173–183
- Ondier. G. O. 2008. **Low Temperature Low Relative Humidity Drying of Rough Rice**. Thesis of Master of Science in Food Science. University of Arkansas. USA. Paddy Parboiling Unit. Journal of Agricultural Engineering. 22: 93-97.
- Parnsakhorn, S. and Noomhorm, A. 2008. **Changes in physicochemical properties of parboiled brown rice during heat treatment**. Agricultural Engineering International CIGR Journal 10: FP 08-009.
- Prom-u-thai, C., B. Rerkasem, I. Cakmak and L. Huang. 2010. **Zinc Fortification of Whole Rice Grain through Parboiling Process**. Food Chemistry. 120: 858–863.
- Rice land foods Ltd. 2011. **Parboiled rice**. (Online). www.riceland.co.th/engparboiled.html/, 2 กันยายน 2558.
- Satake Europe LTD. (ม.ป.ป). **SFI Milling Separator**. (Online). www.satake.com.au/separation, 5 กันยายน 2558.
- Thammapat, P., Meeso, N. and Siriamornpun, S. 2015. **Effects of NaCl and soaking temperature on the phenolic compounds, α -tocopherol, γ -oryzanol and fatty acids of glutinous rice**. Food Chemistry 175: 218-224.

ประมวลข้อความรู้จากงานวิจัย ด้านกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง

ในส่วนนี้ เป็นการเรียบเรียงข้อมูลความรู้จากงานวิจัยอันเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง โดยพิจารณาถึงลักษณะของปัจจัยทั้งภายในและภายนอกที่มีผลต่อคุณภาพ ตลอดจนปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อสีและลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและคุณภาพการหุงต้ม เปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังการขัดสี และคุณค่าทางโภชนาการ โดยปัจจัยภายใน คือ องค์ประกอบทางเคมีและพันธุศาสตร์ และปัจจัยภายนอก คือ สภาพแวดล้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง

3.1 งานวิจัยด้านองค์ประกอบทางเคมีและปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่ส่งผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง เกิดขึ้นได้จากเม็ดสีในเปลือกข้าวและรำข้าว น้ำตาลรีดิวิซ์และกรดอะมิโนอิสระ ไขมัน โปรตีน สตาร์ช วิตามินและแร่ธาตุในเมล็ดข้าว (Endosperm) โดยการเปลี่ยนแปลงทั้งทางชนิดและปริมาณขององค์ประกอบดังกล่าว หรือ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขององค์ประกอบเหล่านี้ ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตข้าวหนึ่ง สามารถส่งผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่ง ทั้งในด้านสี ลักษณะปรากฏ เปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังการขัดสี เนื้อสัมผัส คุณภาพการหุงต้ม คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับของผู้บริโภค ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 ปัจจัยภายใน ปัจจัยภายนอก และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อสีของข้าวหนึ่ง

เมล็ดข้าวหนึ่ง โดยปกติแล้วเป็นสีเหลืองอ่อนไปจนเหลืองเข้มอำพัน ต่างจากสีของข้าวหุงสุกปกติ โดยปัจจัยภายในข้าวที่ส่งผลต่อสีของข้าวหนึ่ง หรือ องค์ประกอบทางเคมีของข้าว ได้แก่ เม็ดสี (Pigment) ที่อยู่ในส่วนเปลือก (Husk) และ รำข้าว (Aleurone layer, Pericarp, Seed coat) รวมถึงน้ำตาลรีดิวิซ์และกรดอะมิโนอิสระในเมล็ดข้าว และปัจจัยภายนอกหรือสภาพแวดล้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาการแช่ข้าว ระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำ อุณหภูมิและความดันในการนึ่ง อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ตลอดจนวิธีการอบแห้งล้วนมีอิทธิพลต่อสีเหลืองของข้าวหนึ่งทั้งสิ้น โดยกลุ่มปัจจัยทั้งหมด ยังสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กัน และส่งผลให้สีของข้าวหนึ่งมีความเหลืองแตกต่างกันได้อีกด้วย (Lamberts et al., 2006b) นักวิจัยได้ตั้งสมมติฐานสาเหตุของสีเหลืองในข้าวหนึ่ง ดังต่อไปนี้

(1) การแพร่ของเม็ดสี (Pigment) มีการตั้งสมมติฐานว่าเม็ดสีชนิดสีแดง และสีเหลือง ในส่วนเปลือกของข้าวกล้อง (Aleurone layer, Pericarp, Seed coat) มี β - carotene, Lutein, Lycopene, Zeaxanthin ซึ่งเป็นเม็ดสีเหลือง ส้ม แดง เป็นองค์ประกอบทางเคมีอยู่ และเม็ดสีดังกล่าวสามารถแพร่ออกมาละลายอยู่ในน้ำที่แช่ข้าว และแพร่เข้าสู่เอนโดสเปิร์มระหว่างการนึ่งด้วยไอน้ำ (Steaming process) นอกจากนี้ยังมีรายงานด้วยว่าแร่ธาตุ และวิตามินจากรำข้าวจำนวนหนึ่ง สามารถแพร่เข้าสู่เอนโดสเปิร์มระหว่างการนึ่ง นอกจากนี้ยังมีการแพร่ของไขมัน (Lipids) ที่อยู่ในชั้นลิกซ์เข้าไของเอนโดสเปิร์มออกมาที่ผิวของเมล็ดข้าวด้วย (Lamberts et al., 2006a; Lamberts et al., 2006b)

ทั้งนี้กระบวนการแพร่ของเม็ดสีเกิดขึ้นได้พร้อมกับการแพร่ของน้ำ และสารประกอบอื่นของเมล็ดข้าว เช่น สารอาหาร (Micro nutrient) โดยการแพร่ดังกล่าว เป็นการแพร่ที่เกิดระหว่างเมล็ดข้าวและเปลือกเยื่อหุ้มข้าว เป็นการแพร่แบบสองทิศทาง คือ แบบแพร่เข้าและแพร่ออกนอกเมล็ดข้าว กระบวนการแพร่ที่เกิดขึ้นได้ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ในขั้นตอนการแช่ข้าวและการอบแห้ง เกิดขึ้นอีกครั้ง ในช่วงการนำข้าวหนึ่งไปหุงสุกอีกครั้งของผู้บริโภค และยังพบว่าขนาดความกว้าง ยาว ของเมล็ดข้าว ซึ่งต่างกันไปตามพันธุ์ข้าว มีผลต่อมวลการแพร่อีกด้วย เนื่องจากอัตราการแพร่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวของเมล็ดข้าว (Patil et al., 1982; Oli et al., 2014)

(2) ปริมาณสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) โดยสารสีน้ำตาลดังกล่าวเกิดขึ้น เนื่องจากในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และกรดอะมิโนอิสระ (α -Amino nitrogen) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด รวมถึงการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ Furosine ซึ่งเป็นดัชนีของการเกิดปฏิกิริยา Maillard เพิ่มสูงขึ้น ในสภาวะนึ่งข้าวที่รุนแรง ทั้งนี้ปฏิกิริยาเมลลาร์ด สามารถเกิดขึ้นได้ในทั้งข้าวกล้องหนึ่ง (Brown rice) และข้าวหนึ่ง (Milled rice)

(3) ปริมาณสารสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (Enzymatic browning) ปฏิกิริยานี้ เป็นปฏิกิริยา Oxidation โดยกลุ่มเอนไซม์ Oxido - reductase เช่น Polyphenol oxidase (PPO) ต่อสารประกอบกลุ่มฟีนอล เอนไซม์ดังกล่าวมีปริมาณอยู่มากในรำข้าว และลดลงในเอนโดสเปิร์มของข้าวกล้อง ทั้งนี้การเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ ปกติแล้วเกิดขึ้นในระหว่างการแช่ข้าว อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่า Enzymatic browning มีอิทธิพลต่อการเกิดสีน้ำตาลในข้าวหนึ่งน้อยกว่า การแพร่ของเม็ดสีเข้าสู่เอนโดสเปิร์มและการเกิด Maillard reaction (Lambert, 2006b; Lambert, 2008)

(4) เปลือกข้าวเปลือก (Husk opening) ในบางกรณี เปลือกข้าวเผยออกเล็กน้อย ในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว โดยเฉพาะกระบวนการแช่ข้าวที่ระดับอุณหภูมิการแช่สูง (≥ 70 องศาเซลเซียส) เป็นผลให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซึมเม็ดสีที่เดิมละลายออกมาอยู่ในน้ำได้ (Bhattacharya, 2011)

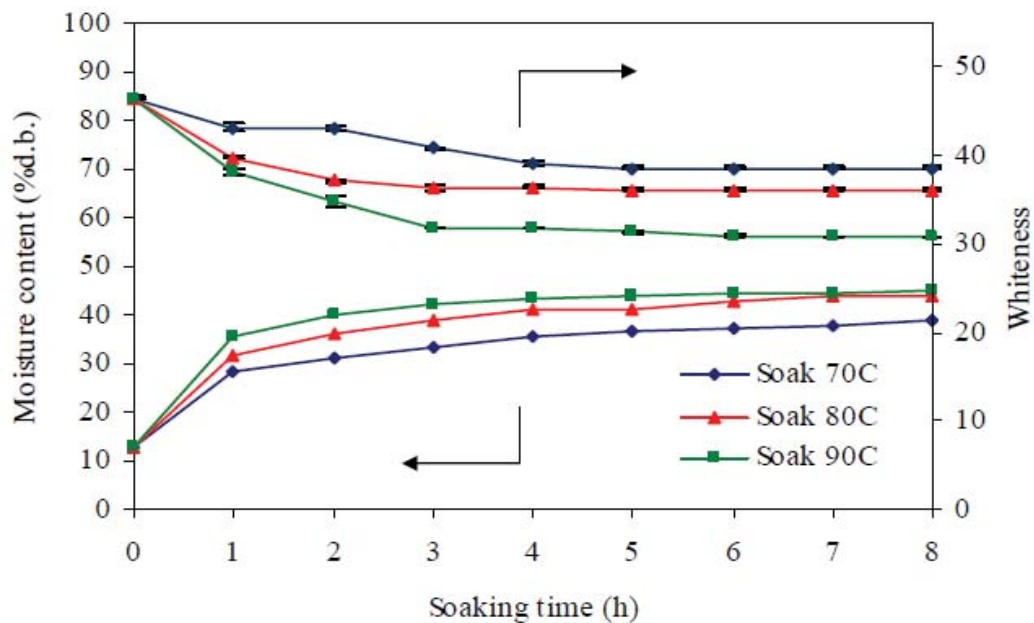
(5) การเกิดน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนอิสระระหว่างกระบวนการแช่ โดยเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ในข้าว มีรายงานว่า การแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิห้อง หรือ ที่ระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สีของข้าวนึ่งเข้มข้นน้อยกว่าการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 50 - 70 องศาเซลเซียส และข้าวนึ่งจะมีสีเข้มมากที่สุด หากทำการแช่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Bhattacharya, 2011)

จากการสำรวจเอกสารพบว่า มีรายงานถึงอิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมี พันธุ์ข้าว สภาพที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองกลุ่ม ที่ส่งผลต่อสีของข้าวนึ่งดังต่อไปนี้

3.1.1.1 อิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวนึ่ง Alary et al., (1976) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมิโลส และความเป็นสีเหลืองของข้าวนึ่ง โดยคณะผู้วิจัยได้ใช้ข้าวทั้งหมด 49 พันธุ์ ที่มีระดับแอมิโลส 21 - 29 % ทำการนึ่ง และสีข้าวในสถานะเดียวกัน ผลปรากฏว่าระดับแอมิโลส และสีเหลืองของข้าวนึ่งมีความสัมพันธ์แบบพาราโบลา โดยสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับแอมิโลสเพิ่มขึ้นจนถึง 27 % จากนั้นสีเหลืองจะลดลงเล็กน้อยที่ระดับแอมิโลส 28 - 29 % โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ~ 0.37 ($0.01 < p < 0.05$) อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยได้อธิบายไว้ด้วยว่า สีเหลืองที่ต่างกันของตัวอย่างข้าว อาจมีผลมาจากความแตกต่างกันของเมล็ดสีของข้าวที่แพร่ออกจากไร่และเปลือกเท่านั้น

3.1.1.2 อิทธิพลของกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง จากการรวบรวมข้อมูลพบว่า สภาพการแช่ข้าว สภาพการนึ่งข้าว และการอบแห้ง ล้วนมีผลต่อสีของข้าวนึ่ง ตัวอย่างเช่น กระบวนการแช่ข้าวที่อุณหภูมิห้อง ที่ต้องใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าว เป็นผลให้ข้าวนึ่งมีสีคล้ำเมื่อทำการขัดสีและการหุงต้ม รวมถึงให้กลิ่นไม่พึงประสงค์อีกด้วย โดยมีการคาดคะเนว่าสีและกลิ่นที่เกิดขึ้นน่าจะมาจากกระบวนการหมัก (Mishra et al., 1985; Greig, 1977) สำหรับอุณหภูมิการแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส พบว่าสีของข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งมีสีเข้มมากขึ้น (น้ำฝน และอรอนงค์, 2546) เนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยา Maillard reaction โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากข้าวที่แช่น้ำที่อุณหภูมิสูง ผ่านกระบวนการนึ่งและอบแห้งแล้ว สีเหลืองของตัวอย่างจะมีความเข้มขึ้นอีก (Gariboldi, 1985)

สมคิด (2549) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อค่าความขาวของข้าว โดยใช้ข้าวเปลือกสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มาทำการแช่ และทำให้สุกโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยใช้อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 150 - 170 องศาเซลเซียส นักวิจัยทำการทดลองแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส และพบว่าในช่วงแรกของการแช่ ค่าความขาวของข้าวสารมี ค่าลดลงตามอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความขาวของกรณีอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก 90 องศาเซลเซียส จะมีค่าเท่ากับ 39 (ภาพที่ 3.1) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าความขาวของข้าวเปลือกที่แช่ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยให้เหตุผลว่าข้าวเปลือกดูดซับความชื้นเข้าไปภายในเมล็ดข้าว ทำให้น้ำที่แทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว ละลายสีของรำให้มาเกาะยึดติดกับเมล็ดข้าว และการละลายของสีรวมถึงการยึดติดกับเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการแช่ข้าวสูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความขาวลดต่ำลง



ภาพที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าความขาวของการแช่ข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

Ali & Bhattacharya (1980) รายงานว่าขั้นตอนการแช่ข้าวมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ในน้ำตาลและกรดอะมิโน ส่งผลให้เพิ่มสารตั้งต้นที่นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยา Maillard ขึ้นได้ ขณะที่ระยะเวลาการนึ่งที่นานขึ้นจะเพิ่มความชื้นและความเหลืองของข้าวหนึ่งอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรง ข้าวเปลือกพันธุ์ IR 20 ซึ่งเป็นข้าวแอมิโลสสูง (27 – 29 %) และมีอุณหภูมิการเจลาทีไนซ์ปานกลาง (Intermediate temperature) เมื่อนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำในช่วงความดันสมบูรณ์ 101 - 304 kPa ในระยะเวลามากที่สุด 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ระดับความดันต่ำและใช้เวลานึ่งน้อย ข้าวหนึ่งมีสีเหลืองต่ำที่สุด และยังพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำ สีที่คล้ำและเหลืองของข้าวหนึ่ง เป็นแบบเส้นตรง (Bhattacharya, 1996) งานวิจัยนำข้าวเปลือกไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ ภายใต้ความดันระหว่าง 101 – 304 กิโลปาสกาล เป็นระยะเวลา 0 - 60 นาที พบว่าความเหลืองของข้าวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และระดับความดันที่ใช้ในกระบวนการนี้ (Bhattacharya and Rao, 1966) นอกจากนี้มีการศึกษาเรื่องสีของข้าวหนึ่ง และวิธีการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้ ข้าวเปลือกเมล็ดยาว Don Juan ที่มีปริมาณ แอมิโลส 20 % มาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเทน้ำส่วนเกินทิ้งไป และนำข้าวไปนึ่งโดยใช้หม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ความดัน 198.5 kPa เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้สตาร์ชเกิดเจลาทีไนเซชัน จากนั้นนำข้าวมาทำการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนชนิดหนึ่ง ทำการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน และมีระยะพักข้าว (Tempering) ระหว่างการอบแห้งแต่ละขั้น ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีทั้งหมด 5 ระดับ และอยู่ในช่วง 25 - 95 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 5 m/s ระยะพักข้าว 1.30 - 4.7 ชั่วโมง ซึ่งควบคุมให้อุณหภูมิในช่วงการพักข้าว เท่ากับอุณหภูมิอบแห้งที่ใช้ในขั้นแรก และความชื้นของข้าวของช่วงการพักข้าว และก่อน

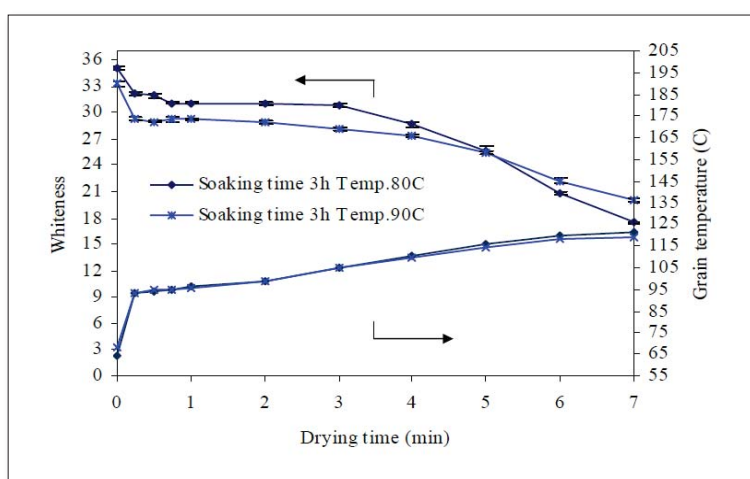
นำไปทำการอบแห้งในชั้นที่สองให้มีค่าเท่ากัน และอยู่ระหว่าง 16.0 - 21.5 % ผลปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (Head rice yield) ในการทดลองนี้อยู่ระหว่าง 68 - 74 % และพบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวหนึ่งลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูง แต่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการพักข้าวมากขึ้น แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการพักข้าวและการอบแห้งข้าวต้องต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส ไมเช่นนั้นเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวจะลดลงเช่นกัน และพบว่าอิทธิพลของสภาวะการอบแห้งที่มีผลต่อสีของข้าวหนึ่ง โดยพบว่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index, BI) ของตัวอย่างแปรผันตามอุณหภูมิอบแห้ง และเวลาการพักข้าวแบบยกกำลังสอง โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการพักข้าว และค่าดัชนี BI ลดลง เมื่อความชื้นในข้าวที่ใช้ในการพักข้าวและอบข้าวชั้นที่สองมีค่าสูง แต่โดยรวมแล้ว นักวิจัยเสนอให้อุณหภูมิการอบแห้งไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส เพราะข้าวหนึ่งที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อน ซึ่งถือเป็นค่าความเหลืองของข้าวหนึ่งที่ยอมรับได้ (ค่า BI < 40 - 45) สำหรับความชื้นที่ใช้ในระยะพักข้าว และเป็นความชื้นตั้งต้นในการอบแห้งชั้นที่สอง นักวิจัยแนะนำไว้ที่ 16 % ณ อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส เพราะมีค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูง (Elbert et al., 2001)

ปริมาณความชื้นของข้าวก่อนการนึ่ง เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสีของข้าวหนึ่ง โดย Lambert et al., (2006b) ทำการแช่ข้าวกล้อง Puntal ที่อุณหภูมิห้อง (Ambient temperature) และปรับความชื้นให้อยู่ในช่วง 15 - 30 % ก่อนนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ และทำการอบแห้งแบบถาดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าข้าวกล้องหนึ่งมีความสว่างเพิ่มขึ้นหลังจากการแช่ข้าว และเมื่อข้าวผ่านการนึ่งแล้วพบว่า ระดับความสว่างและความเข้มของสีที่เพิ่มขึ้น (สีแดงและสีเหลือง) เปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องหนึ่งและข้าวกล้องปกติ ขึ้นอยู่กับระดับความชื้นหลังการแช่ และสภาวะการนึ่ง ซึ่งมีแนวโน้มแปรผันตามกัน สภาวะการนึ่งระดับไม่รุนแรง (อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที) ส่งผลต่อการเกิดสีเหลืองของข้าวกล้องหนึ่งมากกว่าสีแดง และข้าวหนึ่งที่ได้มีสีเหลืองอ่อนกว่าสภาวะการนึ่งอื่นทั้งหมด ขณะที่สภาวะการนึ่งระดับปานกลาง (เช่น อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที) มีอิทธิพลต่อการเกิดสีเหลืองมากกว่าสีแดงเช่นกัน แต่การเปลี่ยนของสีแดงสูงกว่าสภาวะการนึ่งระดับไม่รุนแรง และสภาวะการนึ่งระดับรุนแรง (อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 44 นาที) ส่งผลต่อการเกิดสีแดงของข้าวหนึ่งมากกว่าสีเหลือง และข้าวกล้องหนึ่งมีสีน้ำตาลเข้มที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการนึ่งข้าวกล้องที่มีความชื้น 25 % และ 30 % ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 นาที ส่งผลต่อความเปลี่ยนแปลงของสีแดงและสีเหลืองเท่ากัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องหนึ่ง และข้าวขาวหนึ่งพบว่า ค่าสีเหลือง (b^* value) ของข้าวกล้องหนึ่งและข้าวขาวหนึ่งมีค่าเป็น 18.1 และ 12.2 ตามลำดับ ขณะที่สีเหลืองของข้าวกล้อง และข้าวขาวดิบมีค่าเท่ากับ 12.4 และ 5.9

การศึกษาของ Pham (1998) เกี่ยวข้องกับผลของระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่มีต่อสีข้าวหนึ่ง ได้แก่ การศึกษากระบวนการแช่ข้าวเปลือกพบว่า การใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกประมาณ 3.5 - 4 ชั่วโมง ช่วยลดการเกิดกระบวนการหมัก กลิ่นหืน และสีที่คล้ำของข้าวหนึ่ง ทำให้ข้าวหนึ่งมีคุณภาพที่ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของน้ำฝน และอรอนงค์ (2546) พบว่าควรใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกไม่ต่ำกว่า 3 ชั่วโมงแต่ไม่เกิน 5 ชั่วโมง จะทำให้ได้ข้าวหนึ่งที่ไม่ก่อให้เกิดสีคล้ำและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้จากงานวิจัยของ เฉลิมพร (2546) ซึ่งศึกษาการผลิตข้าวหนึ่งโดยแช่ข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการนึ่งพบว่า ข้าวที่ได้มีลักษณะคล้ายข้าวหนึ่ง และมีค่าความขาวลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่แช่ข้าวเปลือก แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ วัทญญ (2547) พบว่าการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงจะมีค่าความขาวมากกว่าการแช่ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

อุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งข้าวเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสีของข้าวหนึ่ง โดยความขาวของข้าวแปรผกผันกับอุณหภูมิหนึ่งข้าว จากการศึกษาค้นคว้าของ Pillaiyar et al., (1996) ซึ่งทำการผลิตข้าวหนึ่ง โดยใช้อุณหภูมิในการนึ่งข้าว 70 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวหนึ่งจะมีลักษณะสีคล้ำเพียงเล็กน้อย แต่จะเกิดสีคล้ำมากเมื่อนึ่งที่อุณหภูมิสูงในช่วง 110 - 120 องศาเซลเซียส ซึ่งผลงานวิจัยเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Toshinori et al., (1993) และ Elbert et al., (2001) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของการนึ่งสูงจะทำให้ค่าความขาวของข้าวลดลง วัทญญ (2547) ทำการผลิตข้าวหนึ่งด้วยอุณหภูมิการแช่ข้าวเปลือก 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง และทำการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าค่าความขาวลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการอบแห้งข้าวเปลือก แต่ปริมาณร้อยละต้นข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น และยังมีรายงานถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือก อุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวที่มีผลต่อความขาวของข้าวหนึ่ง โดยพบว่าข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1 ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง มีค่าความขาวที่ต่ำกว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่อุณหภูมิ น้ำแช่ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง และเมื่อนำไปทำการอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยการประยุกต์ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการนึ่งและการอบแห้ง พบว่าในช่วงแรกของการอบแห้งนั้นค่าความขาวลดลงอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมล็ดของข้าวเปลือกในระหว่างการทำแห้งมีส่วนสำคัญในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) มากขึ้น และเมื่อระยะเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น ค่าความขาวของข้าวมีแนวโน้มลดลง

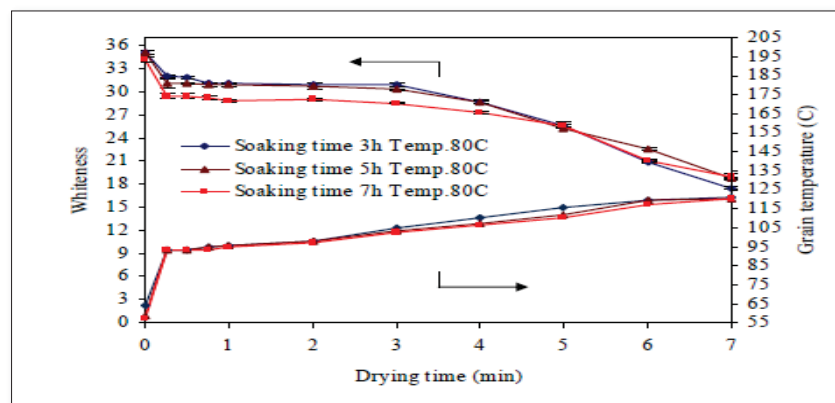


ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความขาวของข้าวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกกับระยะเวลาการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้

กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง

ที่มา: สมคิด (2549)

นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่เป็นระยะเวลานาน 3 ชั่วโมง มีค่าความขาวที่สูงกว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่ที่ระยะเวลา 5 และ 7 ชั่วโมง (ภาพที่ 3.3) และเมื่อนำข้าวเปลือกไปทำการอบแห้งพบว่า เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น ค่าความขาวของข้าวมีแนวโน้มลดลงโดยอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกจะมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทำแห้ง (สมคิด, 2549)



ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความขาวของข้าวและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกกับระยะเวลาการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่างๆ

ที่มา: สมคิด (2549)

3.1.1.3 อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี พันธุ์ข้าว และ กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง มีการศึกษาอิทธิพลของชนิดเมล็ดสี ที่มีต่อการเกิดสีเหลืองและน้ำตาลในข้าวหนึ่งของข้าวที่มีระดับแอมิโลสและสีของ Pericarp ที่ต่างกัน ในสภาวะการนึ่งที่ต่างกัน โดย Lambert (2008) นำข้าวกล้องสีน้ำตาล Cocodrie และ XL 8 (สหรัฐอเมริกา) Puntal และ Jacinto (สเปน) และข้าวกล้องแดงที่ไม่ทราบพันธุ์ จากประเทศไทย มาทำการศึกษา โดยข้าวทุกพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นข้าวเมล็ดยาว (> 6 มม.) Jacinto และข้าวกล้องแดง เป็นข้าวแอมิโลสปรากฏต่ำ (~17.6 % และ 15.2 %) ข้าว Puntal เป็นข้าวแอมิโลสปานกลาง (23.8 %) และ ข้าว Cocodrie และ XL 8 เป็นข้าวแอมิโลสสูง (30.5 % และ 28.7 %) และมีปริมาณโปรตีนในช่วง 7.2 % (XL 8) – 9.3 % (Puntal) โดยคณะวิจัยได้ทำการแช่ข้าวในปริมาณน้ำมากเกินพอ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเทน้ำส่วนเกินออก และนำข้าวที่ผ่านการแช่น้ำด้วยไอน้ำ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับไม่รุนแรง กระทำโดยนึ่งข้าวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที, 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตามลำดับ ระดับปานกลาง กระทำโดยนึ่งข้าว

แบบระดับไม่รุนแรงก่อน ตามด้วย นึ่งข้าวที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และระดับรุนแรงกระทำโดย นึ่งข้าวแบบระดับไม่รุนแรงก่อน ตามด้วยนึ่งข้าวที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 นาที จากนั้นนำข้าวนี้ทั้งหมด ผ่านกระบวนการลดความดันในระบบ และอบแห้งแบบถาด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ข้าวที่มีความชื้นประมาณ 11 % ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้เพิ่มความเป็นสีน้ำตาลของตัวอย่าง โดยเพิ่มความคล้ำ (Darkness) สีเหลือง (Yellowness) และสีแดง (Redness) ให้กับข้าวกล้องสีน้ำตาล (Puntal, Cocodrie, XL 8 and Jacinto) และระดับความรุนแรงของกระบวนการนึ่งข้าวส่งผลต่อสีแดงมากกว่าสีเหลือง ทั้งนี้ความต่างของสีโดยรวม (ΔE) เทียบระหว่างข้าวนี้และตัวอย่างควบคุม (ข้าวที่ไม่ผ่านการนึ่ง) ขึ้นกับพันธุ์ข้าวและสถานะการนึ่ง ซึ่งค่าดังกล่าวจะสูงขึ้นหากสถานะการนึ่งรุนแรงขึ้น ในทางตรงกันข้ามการนึ่งข้าวกล้องแดง ส่งผลให้ค่าสีเหลือง สีแดง และ Chroma ลดลง ส่งผลให้ผู้บริโภคเห็นข้าวนี้จากข้าวกล้องแดงเป็นสีดำ และค่าความต่างของสีโดยรวมของข้าวนี้ และตัวอย่างควบคุมไม่แตกต่างกัน

การศึกษาเรื่องระดับแอมิโลส และกระบวนการผลิตข้าวนี้ ยังมีรายงานของ Dutta and Mahanta (2012) ที่ใช้ข้าวเหนียว 2 พันธุ์ ข้าวแอมิโลสต่ำ และข้าวแอมิโลสสูงอย่างละหนึ่งพันธุ์ ที่ปลูกในรัฐอัสสัม ประเทศอินเดีย เป็นวัตถุดิบในการผลิตข้าวนี้ที่มีสถานะความรุนแรงในการนึ่งต่างกัน 6 ระดับ ผลปรากฏว่ากระบวนการนึ่งข้าวแบบไม่รุนแรงทำให้ความเหลืองของข้าวนี้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านการนึ่ง (Control sample) ในทุกตัวอย่างข้าวที่มีระดับแอมิโลส ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า สีแดง สีเหลือง และความสว่างของข้าวนี้ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกสถานะการนึ่ง และทุกระดับแอมิโลส และดูเหมือนว่าระดับแอมิโลสไม่มีความเกี่ยวข้องกับสีเหลืองของตัวอย่าง คณะนักวิจัยให้เหตุผลไว้ว่าข้าวนี้มีสีเหลืองน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม อาจเป็นเพราะสสารขี้ข้าวเกิดการเจลาติไนซ์ทำให้ความสว่างของตัวอย่างเพิ่มขึ้น ทั้งนี้มีข้อสังเกตว่า อุณหภูมิในการแช่ข้าวของงานวิจัยนี้อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส และแช่ข้าวเป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง ขณะที่อุณหภูมิการนึ่งอยู่ที่ 100 และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 - 20 นาที แต่สีเหลืองของข้าวลดลง ดังนั้นมีความเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิการแช่ข้าวไม่ควรเกิน 70 องศาเซลเซียส เพราะที่ระดับ 80 องศาเซลเซียส ความเหลืองของข้าวเพิ่มสูงขึ้น ดังที่ Lambert (2008) ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้

นอกจากนี้ยังมีรายงานของอิทธิพลของกระบวนการขัดขาวและพันธุ์ข้าวที่มีผลต่อสีของข้าวนี้ ดังที่ได้กล่าวแล้วว่า บริเวณ Pericarp seed coat และ Aleurone layer ของข้าวกล้อง มีเม็ดสีกลุ่มสีเหลืองและสีแดงกระจายอยู่ และเม็ดสีเหล่านี้ไม่พบอยู่ในข้าวขัดขาว (Milled rice) จากการศึกษาพบเม็ดสี β - carotene; lutein และ Zeaxanthin กระจายอยู่ ทั้งนี้ชนิดและปริมาณเม็ดสี ในข้าวกล้องดังกล่าว ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและระดับการขัดสี โดยผลจากการวัดค่าสีของแป้งข้าวกล้อง (Flour) ที่มีระดับการขัดสีต่ำกว่า 15% (Degree of milling; DOM) แสดงให้เห็นว่ากลุ่มข้าว Indica ได้แก่ เมล็ดยาวปานกลาง Koshihikari (ข้าวญี่ปุ่น - Medium grain 5.2 mm < ความยาว < 6.0 mm) เป็นข้าวที่มีความสว่างมากที่สุดและมีสีแดงต่ำที่สุด ขณะที่ข้าวเมล็ดยาว (Long grain > 6.0 mm) Basmati (อินเดีย) มีสีเหลืองสูงที่สุด ส่วนข้าวเมล็ดยาว Puntal (สเปน), Loto และ SisR215 (อิตาลี) กับ Koshihikari มีสีเหลืองใกล้เคียงกัน และเมื่อขัดสีข้าวดังกล่าวให้มีระดับการขัดสีสูงกว่า 15 % พบว่าสีเหลืองของข้าวทุกพันธุ์ลดลง และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น Basmati ที่ยังคง

ความเหลืองสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น และมีความสว่างต่ำที่สุด (Lamberts and Delcour 2008) นอกจากนี้ยังมีรายงานความสัมพันธ์เชิงบวก ระหว่างสีเหลือง (b^* - value) และปริมาณเม็ดสีในตัวอย่างข้าวที่มีระดับการขัดสีไม่เกิน 9 % อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า ปริมาณ Carotenoid ในข้าวกล้องนึ่ง (Parboiled brown rice) ลดลงจนต่ำกว่าระดับที่เครื่อง HPLC สามารถตรวจวัดได้ นักวิจัยอธิบายถึงสาเหตุความเป็นไปได้ที่ปริมาณ Carotenoid ลดลง ได้แก่ (1) Carotenoid แพร่ออกไปในรูปตัวถูกละลาย (Soluble solids) โดยเสียไปในช่วงการแช่ข้าว (2) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Carotenoid ในช่วงกระบวนการแช่ (3) Carotenoid ถูกทำลายไปในระหว่างกระบวนการนึ่ง และ (4) ประสิทธิภาพในการสกัดโดยรวม ที่เกี่ยวข้องในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนและความชื้น (Hydrothermal treatment) ของการผลิตข้าวหนึ่ง (Lamberts and Delcour, 2008) และสรุปว่าการแพร่เข้าของเม็ดสีกลุ่ม Carotenoid ไม่น่าเป็นปัจจัยหลักในการเกิดสีเหลืองของข้าวหนึ่ง แต่น่าจะเป็นองค์ประกอบ และ / หรือ ปฏิกิริยาอื่นที่ส่งผลให้ข้าวหนึ่งมีเหลือง เช่น Maillard reaction รวมถึงสตาร์ชที่เสียหาย (Damaged starch) และโปรตีนที่เสียสภาพ

3.1.2 ปัจจัยภายใน ปัจจัยภายนอก ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัส และคุณภาพการหุงต้มของข้าวหนึ่ง

3.1.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งที่มีผลต่อเนื้อสัมผัส และคุณภาพการหุงต้ม จากการสำรวจเอกสารพบว่า ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวหนึ่ง ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง เช่น อุณหภูมิการแช่ข้าวที่สูงมีผลให้ปริมาณลิพิดลดลง มีสตาร์ชถูกชะออกมาเพิ่มขึ้น และมีปริมาณวิตามิน (Thiamine) สูงขึ้น ขณะที่การเพิ่มระยะเวลาการแช่ข้าวส่งผลให้ ปริมาณโปรตีน แคลเซียม เหล็ก และโซเดียมลดลง แต่เพิ่มปริมาณไขมัน ถ้าและเยื่อใยให้กับข้าวหนึ่ง กระบวนการนึ่งข้าวยังส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจเนื่องมาจาก การเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างลิพิดในรำข้าวกับสตาร์ชและโปรตีน รวมถึงมีแอมิโลสบางส่วนละลายออกมากับน้ำในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว (Patindol et al., 2008)

รายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมีหลัก และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากกระบวนการผลิตมีดังต่อไปนี้

- **ไขมัน** ในข้าวแบ่งออกได้เป็นสองประเภท ได้แก่ ไขมันในเม็ดสตาร์ช (Starch lipids) และไขมันอยู่นอกเม็ดสตาร์ช (Non - starch lipids) ปกติแล้วข้าวกล้องมีไขมันที่อยู่นอกเม็ดสตาร์ช (Non - starch lipids) ประมาณ 2.9 - 3.4 % และไขมันที่อยู่ในเม็ดสตาร์ชประมาณ 0.66 - 0.76 % (น้ำหนักแห้ง) หากพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (ซึ่งประกอบด้วย Aleurone layer และคัพพะ) พบว่า Non-starch lipids เป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณ 60 % และอยู่ในรูป Spherosomes สำหรับไขมันในเม็ดสตาร์ช (Starch lipids) โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลส (Starch - lipid complex) ด้วยเหตุนี้ ข้าวเจ้าจึงมีอัตราส่วนของไขมันในเม็ดสตาร์ชต่อไขมันนอกเม็ดสตาร์ชสูงกว่าข้าวเหนียว (Oli et al., 2014)

เนื่องจากไขมันเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่ชอบน้ำ จึงทำหน้าที่เป็นตัวกั้นไม่ให้น้ำแพร่ผ่านจากภายนอกเข้าสู่ใจกลางเมล็ดข้าว ด้วยเหตุนี้ข้าวกล้องที่มีไขมันอยู่มาก จึงมีอัตราการดูดน้ำ (Hydration rate) ต่ำกว่าข้าวขาว นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าค่าความสามารถในการดูดน้ำของรำที่ผ่านการสกัดไขมันมีค่าสูงกว่ารำธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอัตราการดูดน้ำที่ต่างกันของข้าว ส่งผลต่อความนุ่ม แข็ง รวมถึงระดับการสุกของข้าวหนึ่ง (Oli et al., 2014) และเมื่อข้าวผ่านกระบวนการนี้ ส่งผลให้ Spherosomes หรือเม็ดไขมันในข้าวแตกออก เป็นผลให้ไขมันแพร่ออกมากระจายตัวที่ผิวของเมล็ดข้าว ด้วยเหตุนี้รำข้าวหนึ่งจึงมีความมันสูง และปริมาณไขมันของข้าวหนึ่งที่ผ่านการขัดสีแล้ว มีค่าต่ำกว่าไขมันของข้าวกล้อง

- **โปรตีน** ของข้าวมีการกระจุกตัวหนาแน่นบริเวณผิวภายนอกของเมล็ดข้าวและรำข้าว และการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Protein denaturation) เกิดขึ้นได้ทีละระดับแตกต่างกัน โดยควบคุมจากวิธีการหุงสุก อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ข้าวได้รับความร้อน โดยโปรตีนดังกล่าวมีอิทธิพลในการควบคุมการแพร่ของน้ำเข้าสู่เม็ดสตาร์ช (Starch granule) รวมถึงควบคุมการพองตัวของสตาร์ชเกรนูลระหว่างการเกิดเจลลาตินในเซชัน ซึ่งเป็นดัชนีที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการหุงสุก และระดับการหุงสุกของข้าว เป็นที่ทราบกันว่า โปรตีนในเมล็ดข้าวมีปริมาณต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสตาร์ช แต่โปรตีนจัดเป็นองค์ประกอบหลักในการดูดน้ำของเมล็ดข้าว และการที่อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) ของโปรตีนต่ำกว่าสตาร์ชเล็กน้อย อาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่โปรตีนมีความสามารถดูดน้ำได้ดีกว่าสตาร์ช ดังนั้นข้าวที่มีโปรตีนสูง จึงต้องการปริมาณน้ำมากและใช้เวลานานกว่าในการหุงสุก (Oli et al., 2014)

เมื่อข้าวผ่านกระบวนการนี้ มีรายงานว่า ระดับโปรตีนของข้าวหนึ่งลดลงเล็กน้อย (0.05% - 0.37%) เพราะโปรตีนอัลบูมิน และสารที่ไม่ใช่โปรตีนแต่มีไนโตรเจนละลายออกมา ในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดขึ้นเฉพาะกับพันธุ์ข้าวบางชนิดเท่านั้น เพราะมีรายงานเพิ่มเติมว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นกับข้าวเฉพาะบางพันธุ์ แต่สำหรับข้าวบางพันธุ์ ระดับโปรตีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่มีค่าแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวที่ไม่ได้ผ่านการนี้และข้าวหนึ่ง ทั้งในสภาวะที่รุนแรงและไม่รุนแรง (Patindol et al., 2008)

การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนอีกประการหนึ่งในระหว่างกระบวนการนี้ ได้แก่ เม็ดโปรตีน (Protein bodies) สามารถแตกออก จากนั้นจะเกิดกระบวนการไฮโดรไลเซชันย่อยโปรตีน ส่งผลให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น ซึ่งพันธะนี้มีผลให้ความเหนียวและความแข็งของข้าวหนึ่งเพิ่มขึ้น มีการเสนอว่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรตีนดังกล่าว อาจมีความสัมพันธ์กับลักษณะของข้าวเก่า (Ageing) ดังนั้นสภาวะใดในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งที่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโปรตีนดังที่กล่าวมา เช่น การนึ่งข้าวแบบสองชั้น (Double boiling parboiling process) จะส่งผลให้ข้าวมีสมบัติคล้ายกับข้าวเก่า (Oli et al., 2014)

- **สตาร์ช** เป็นองค์ประกอบหลักของเมล็ดข้าว ประกอบด้วยกลูโคสพอลิเมอร์สองประเภท ได้แก่ แอมิโลสและแอมิโลเพกติน สตาร์ชพอลิเมอร์จัดเรียงตัวในเมล็ดข้าวในรูปเม็ดสตาร์ช (Starch granule) โดยโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ในลักษณะเป็นกิ่งออสัญฐาน กล่าวคือ มีบริเวณผลึกที่เกิด

จากสารเกลียวม้วนคู่ (Double helices) จากปลายสายโซ่ของแอมิโลเพกติน โดยผลึกสตาร์ชข้าวธรรมชาติ (ข้าวดิบ) จัดเป็นผลึกแบบ A สำหรับในส่วนอณูฐานของสตาร์ช จัดเป็นบริเวณที่ประกอบด้วยจุดกิ่งของแอมิโลเพกติน และสารประกอบเชิงซ้อนแอมิโลส - ลิพิด ในธรรมชาติ สตาร์ชข้าวมีความเป็นผลึกประมาณ 38 - 51 % โดยค่าความเป็นผลึกขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและปริมาณแอมิโลเพกติน ทั้งนี้กระบวนการนึ่งข้าว ที่เริ่มจากการแช่ข้าวในปริมาณน้ำมากเกินไป จากนั้นให้ความร้อนแก่ตัวอย่างในระหว่างกระบวนการนึ่ง จะส่งผลให้ผลึกธรรมชาติของสตาร์ชถูกทำลายไป เรียกว่ากระบวนการเจลาติไนเซชัน มีรายงานว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวสูงขึ้น เมื่อระดับความเป็นผลึกสูงขึ้น เพราะน้ำแพร่เข้าไปภายในเมล็ดข้าวได้ลดลง เป็นผลให้สตาร์ชแกรนูล พองตัวได้ลดลง แต่ควรทราบด้วยว่าสารประกอบเชิงซ้อนแอมิโลส - ลิพิด สามารถยับยั้งการพองตัวของแกรนูล และปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่ง (Oli et al., 2014) ทั้งนี้อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน ระดับและชนิดผลึก การพองตัวของสตาร์ชแกรนูล ล้วนส่งผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัส คุณภาพการหุงต้ม และการหุงขึ้นหม้อของข้าวหนึ่ง โดยข้าวที่มีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันต่ำ ต้องการพลังงานในการนึ่งและหุงสุกต่ำ และหากอุณหภูมิในกระบวนการนึ่งและการหุงสุกสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชันมากเกินไป ข้าวอาจมีเนื้อสัมผัสที่เลวได้ นอกจากนี้อุณหภูมิเจลาติไนเซชันยังใช้เป็นดัชนีหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพการหุงต้มสุดท้าย (Final cooking quality) อีกด้วย ขณะที่ค่าการพองตัวของสตาร์ชแกรนูลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการหุงขึ้นหม้อของข้าว และข้าวที่มีระดับผลึกสูงหรือประกอบด้วยชนิดผลึกที่ทำลายได้ยาก จะส่งผลให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง และความสามารถในการย่อยเปลี่ยนจากสตาร์ชเป็นน้ำตาลลดลง

การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ช เมื่อสตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชันในระหว่างกระบวนการนึ่งพบว่า แกรนูลจะพองตัวแบบไม่สามารถย้อนกลับได้ ผลึกธรรมชาติถูกทำลาย รวมถึงเกิดสารน้ำหนักโมเลกุลต่ำชะออกมาจากแกรนูล โดยสภาวะการนึ่งที่ต่างกันส่งผลให้ปริมาณสารน้ำหนักโมเลกุลต่ำต่างกันไป ทั้งนี้ในปัจจุบัน ยังไม่มีการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณและชนิดของสารโมเลกุลต่ำดังกล่าว ต่อคุณภาพการหุงต้มและคุณภาพการบริโภคของข้าวหนึ่ง สำหรับผลึกข้าวหนึ่ง มีรายงานว่าสภาวะต่างๆในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ส่งผลให้พบชนิดผลึกข้าวหนึ่งเป็น 3 แบบหลัก ได้แก่ ผลึกแบบ A ซึ่งเป็นผลึกธรรมชาติเดิมที่เหลืออยู่ ไม่ได้ถูกทำลายหมด และอาจเกิดได้จากปรากฏการณ์ Annealing ซึ่งเป็นกระบวนการจัดความเป็นระเบียบของผลึกให้สูงขึ้น โดยปรากฏการณ์ดังกล่าว เกิดขึ้นได้ระหว่างกระบวนการแช่ข้าวในอุณหภูมิสูง ใกล้กับอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน แช่ในระยะเวลาสั้น และสามารถเกิดได้จากกระบวนการเกิดผลึกใหม่อีกครั้งของแอมิโลเพกติน (Recrystallization of amylopectin) ผลึกแบบ V ทั้งแบบ 1 และ แบบ 2 ที่เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนแอมิโลส - ลิพิด ซึ่งเกิดขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการนึ่ง และ ผลึกแบบ B ซึ่งเกิดจากการเกิดผลึกใหม่อีกครั้งของแอมิโลส และ / หรือ ของแอมิโลเพกติน (Retrogradation) การเกิดเรโทรเกรเดชันของสตาร์ชดังกล่าว เกิดขึ้นได้ หลังจากข้าวผ่านกระบวนการนึ่งแล้ว (Oli et al., 2014) จากการศึกษาพบว่า ผลึกหลายชนิดที่กล่าวมาสามารถเกิดอยู่ในรูปแบบซ้อนกันได้ (A + B + V) รวมถึงมีรายงานว่าการทำลายระดับความเป็นผลึกสตาร์ชในข้าวหนึ่ง ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและอุณหภูมิการนึ่ง เช่น การนึ่งข้าวที่มีความชื้น 60 % ที่อุณหภูมิ 90 องศา

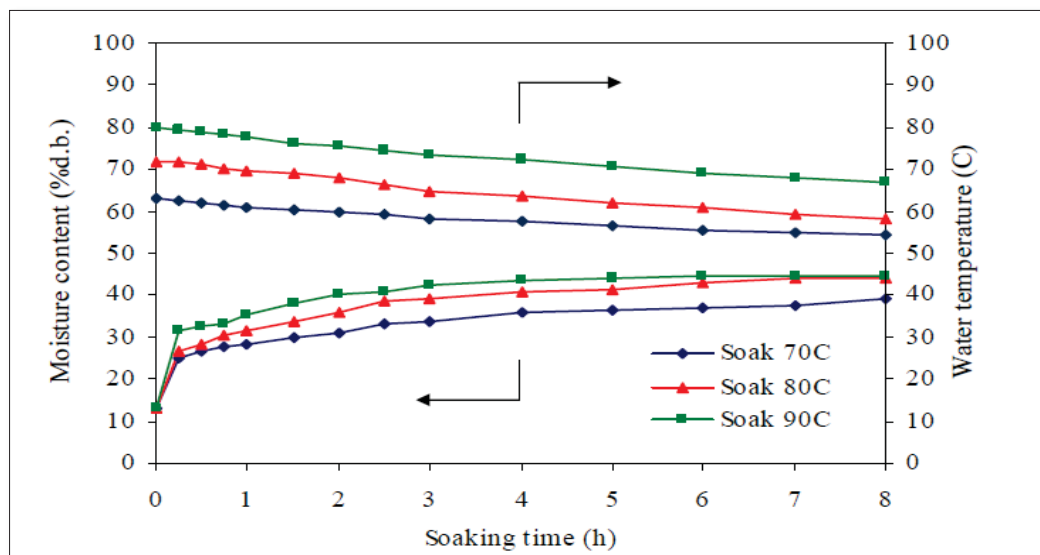
เซลเซียส หรือ การนึ่งข้าวที่ความชื้น 25 % ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส ทั้งสองสภาวะ สามารถทำลายผลึกข้าวธรรมชาติได้อย่างสมบูรณ์ (Oli et al., 2014)

3.1.2.2 อิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวนึ่ง มีการศึกษาน้อยมากที่จำกัดขอบเขตในการวิเคราะห์อิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสและดัชนีอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนสภาวะการผลิตเลย จากการสืบค้นพบว่า มีเพียง Alary et al., (1977) ที่ทำการศึกษา ข้าว 49 พันธุ์ ทั้งชนิดเมล็ดสั้นและเมล็ดยาว ที่มีช่วงแอมิโลสระหว่าง 21 – 29 % กับความแน่นเนื้อ (Firmness) ของข้าวนึ่งหุงสุก และพบค่าสหสัมพันธ์ที่ ($r = 0.62$ และ 0.80) ซึ่งกล่าวได้ว่าข้าวที่มีแอมิโลสสูง จะมีความแน่นเนื้อสูงตามไปด้วย ในช่วงแอมิโลส 21 – 29 % โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีน้อย หรือ มาก ขึ้นกับวิธีการหุงสุก และปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบ Patindol et al., (2008) ได้ตั้งข้อสังเกตไว้ว่าสสารข้าวที่มีโครงสร้างโมเลกุลแอมิโลเพกตินคล้ายกัน ให้ลักษณะสมบัติทางกายภาพภายหลังจากการนึ่งคล้ายคลึงกัน

3.1.2.3 อิทธิพลของกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกส่งผลต่อปริมาณความชื้น การอุ้มน้ำและการพองตัวของข้าว ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันและระดับการสุก จากงานวิจัยของสมคิด (2549) ที่ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นพบว่า ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก (ภาพที่ 3.4) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการแช่ข้าวเปลือกจะทำให้การแพร่ของน้ำไปยังเมล็ดข้าวมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อุณหภูมิการแช่ข้าวไม่ควรสูงเกินอุณหภูมิเจลลิตีในเซชัน และระยะเวลาในการแช่ข้าวไม่ควรนานเกินไป เพราะสามารถส่งผลให้เมล็ดข้าวเปลือกปริแตกออกและทำให้สารอาหารต่างๆ เช่น วิตามินและเกลือแร่บางส่วนละลายไปกับน้ำที่ใช้แช่ข้าวเปลือก (Bhattacharya and Rao, (1966); Farouk and Islam (1995) เสนอแนะไว้ว่าอุณหภูมิการแช่ข้าวเปลือกระหว่าง 60 - 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในซีของเมล็ดสสารที่ใช้ในงานวิจัยดังกล่าว เป็นผลให้ข้าวเปลือกไม่อุ้มน้ำและพองตัวมากเกินไป ทั้งนี้อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าว สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในซีต่ำจะอยู่ในช่วง 55 - 69 องศาเซลเซียส , ช่วงอุณหภูมิการเกิด เจลลิตีในซีปานกลางจะอยู่ในช่วง 70 - 74 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในซีสูงจะอยู่ในช่วง 75 - 79 องศาเซลเซียส (Oli et al., 2014) ดังนั้น การผลิตข้าวนึ่งในระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะนิยมใช้ข้าวเปลือกแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาประมาณ 3 - 3.5 ชั่วโมง (เฉลิมพร, 2546) เนื่องจากข้าวไทยส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง มีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในซีในช่วงสูง

อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในการแช่ข้าวต้องมีการปรับเปลี่ยน หากกรรมวิธีในการทำให้ข้าวที่แช่น้ำสุกไม่ใช่กระบวนการนึ่ง โดยชัยยงค์ (2543) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือก เพื่อให้มีลักษณะคล้ายข้าวนึ่งโดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งแต่ใช้การแช่ข้าวเปลือกพร้อมกับเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยใช้อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 150 - 170 องศาเซลเซียส ความสูงของเบด 10 - 15 เซนติเมตร พบว่าเมล็ด

แป้งที่อยู่ในเอนโดสเปิร์มยังไม่สามารถเกิดเจลาทีโนเซชันได้ จึงได้เสนอแนะไว้ว่าควรใช้อุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกประมาณ 80 องศาเซลเซียส เพื่อให้ข้าวเปลือกเกิดเจลาทีโนเซชันได้อย่างสมบูรณ์และมีคุณลักษณะคล้ายข้าวนึ่ง



ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของการแช่ข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

ที่มา: สมคิด (2549)

มีรายงานถึงอุณหภูมิในการแช่ข้าวส่งผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งต่างกัน สมคิด (2549) รายงานว่า ความแข็งของข้าวนึ่งหุงสุก (Hardness) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิการแช่ข้าวเปลือก (สมคิด, 2549) ขณะที่ Sareepuang et al., (2008) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องและข้าวนึ่ง พบว่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการแช่ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าข้าวกล้องโดยทั่วไป โดยพิจารณาจากค่า Hardness, Adhesiveness, Cohesiveness, Gumminess, Springiness และ Chewiness ที่ต่ำกว่า ดังตารางที่ 3.1 นักวิจัยให้เหตุผลว่า เมล็ดข้าวเปลือกก่อนที่จะนำมาผ่านกระบวนการผลิตข้าวนึ่ง อาจมีรอยแตกร้าวอยู่ภายใน เมื่อนำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จึงทำให้เมล็ดข้าวเปลือกดูดซึมน้ำได้มากกว่าปกติ โดยเฉพาะการแช่น้ำที่ระดับอุณหภูมิสูงทำให้ข้าวนี้มีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น

ตารางที่ 3.1 ค่าคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่วัดด้วยวิธี Texture Profile Analysis ของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

TPA Parameters	Brown rice	Soaking temperature of parboiled rice		
		PR40	PR50	PR60
Hardness (g)	211.86±11.91 ^a	167.12±11.24 ^b	160.91±11.65 ^{bc}	158.12±10.55 ^c
Adhesiveness (g/s)	-0.027±0.004	-0.028±0.011	-0.032±0.003	-0.034±0.001
Cohesiveness	0.42±0.02	0.43±0.01	0.46±0.04	0.47±0.02
Gumminess (g)	89.49±2.30 ^a	85.78±1.75 ^b	81.50±5.11 ^{bc}	80.07±1.08 ^c
Springiness	0.70±0.039	0.70±0.01	0.69±0.04	0.68±0.02
Chewiness (g)	62.24±2.42 ^a	60.16±1.55 ^a	57.67±2.37 ^b	56.17±1.55 ^b

Values within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level according to DNMR

PR40 = Parboiled rice soaked at 40°C, PR50 = Parboiled rice soaked at 50°C, PR60 = Parboiled rice soaked at 60°C

ที่มา: Sareepuang et al., (2008)

มีการรายงานเพิ่มเติมว่า ความแข็งของข้าวหนึ่งขึ้นอยู่กับสถานะความรุนแรงในการนึ่งและความชื้น หลังจากการอบแห้ง เนื่องจากปัจจัยดังกล่าว มีผลต่อสมมูลระหว่างสตาร์ชเจลาทีโนเซชันและการเกิดสตาร์ชเรโทรเกรเดชัน โดยความแข็งของข้าวหนึ่ง Indica “Belle Patna” จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งข้าวสูงขึ้น (80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส vs 70 N 72 N และ 92 N) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ข้าวหนึ่งจะมีความแข็งสูงกว่าข้าวที่นึ่งที่อุณหภูมิไอน้ำอื่นประมาณ 20 N นอกจากนี้ ความชื้นข้าวหนึ่ง หลังการอบแห้งถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความแข็งของข้าวหนึ่ง และมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่มีความชันเป็นลบ และอิทธิพลดังกล่าวจะมีมากกว่าสำหรับข้าวที่นึ่งที่ระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส โดยข้าวหนึ่งที่มีความชื้นหลังอบแห้งตั้งแต่ 1 0% ถึง 13 % จะมีค่าความแข็งลดลงเป็น 21 %, 28 % และ 57 % เมื่อนึ่งที่อุณหภูมิ 100, 90 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Rabiul et al., 2002)

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า อุณหภูมิการแช่ข้าวมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวหนึ่ง โดย Sareepuang et al., (2008) ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และข้าวหนึ่งจากผู้ทดสอบทั้งหมด 50 คน พบว่าค่าการยอมรับทางด้านสี, กลิ่น, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีคะแนนอยู่ในช่วง 4.4 - 6.6 ในขณะที่ข้าวกล้องมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 - 7 (ตารางที่ 3.2) และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่ส่งผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส ระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมากที่สุด โดยให้คะแนน 6.51

ตารางที่ 3.2 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้อง และข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

Parameters	Brown rice	Soaking temperature of brown parboiled rice		
		PR40	PR50	PR60
Color	6.95±0.28 ^a	5.63±0.16 ^c	6.53±0.56 ^b	5.82±0.61 ^c
Odor	6.37±1.31 ^a	5.69±0.02 ^b	6.32±0.16 ^a	4.37±0.09 ^b
Texture	5.91±1.54 ^b	5.66±0.22 ^b	6.49±0.56 ^a	6.47±0.45 ^{ab}
Taste	6.17±0.39 ^c	6.00±0.01 ^c	6.58±0.01 ^a	6.42±0.01 ^{bc}
Overall	6.84±0.14 ^a	5.69±0.05 ^d	6.51±0.1 ^b	5.95±0.03 ^c

Values within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level according to DNMR7

PR40 = Parboiled rice soaked at 40°C, PR50 = Parboiled rice soaked at 50°C, PR60 = Parboiled rice soaked at 60°C

ที่มา: Sareepuang et al., (2008)

3.1.2.4 อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี พันธุ์ข้าว และ กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง กระบวนการนึ่งข้าวส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลลาไทไนซ์ (T_p) สูงขึ้น แต่ค่าดังกล่าวสูงขึ้นไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและระดับแอมิโลส ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้ข้าว Jacinto (แอมิโลสสมบูรณ์ 16 %) และ Puntal (แอมิโลสสมบูรณ์ 26 %) ที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาไทไนซ์เดิม ที่ 76.9 และ 74.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มาผ่านกระบวนการนึ่งพบว่า อุณหภูมิการเกิดเจลลาไทไนซ์เพิ่มขึ้นเป็น 85.9 และ 82.8 องศาเซลเซียส (Lamberts et al., 2009) โดยนักวิจัยทำการนึ่งข้าวที่สามสถานะ ได้แก่แบบไม่รุนแรง แบบปานกลาง และแบบรุนแรง โดยสถานะการนึ่งข้าวแบบไม่รุนแรง ได้แก่ ทำการนึ่งข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที 100 องศาเซลเซียส 2 นาที และ 105 องศาเซลเซียส 10 นาที สำหรับสถานะการนึ่งแบบปานกลางและแบบรุนแรง จะมีการนึ่งเพิ่มเติมอีกอย่างละขั้นตอน ได้แก่ นึ่งที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที และ นึ่งที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 นาที ตามลำดับ โดยได้แช่ข้าวทั้งสองพันธุ์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และพักข้าวครึ่งชั่วโมงก่อนทำการนึ่ง และข้าว Jacinto และ Puntal มีระดับความชื้นก่อนนึ่งที่ 30 % และ 29 % ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า สภาวะในการนึ่งข้าวและระดับแอมิโลส มีผลต่อชนิดและระดับความเป็นผลึกของข้าวหนึ่ง โดยสภาวะการนึ่งข้าวแบบไม่รุนแรง ส่งผลให้ยังมีผลึกธรรมชาติเหลืออยู่ ขณะที่สภาวะการนึ่งข้าวทุกรูปแบบ (แบบไม่รุนแรง แบบปานกลาง และ แบบรุนแรง) ส่งผลให้เกิดผลึกใหม่ของแอมิโลเพกติน (Retrograded amylopectin) สภาวะการนึ่งข้าวที่รุนแรงเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดผลึกใหม่ของแอมิโลส (Retrograded amylose) เพิ่มขึ้น และผลึกดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นชัดเจน ในข้าวแอมิโลสสูง

Patindol et al., (2008) รายงานไว้เช่นกันว่า อุณหภูมิเจลลาไทไนเซชันของข้าวหนึ่ง (Onset temperature, Midpoint temperature and Endset temperature) สูงขึ้นจากข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการนึ่ง ประมาณ 2 - 6 องศาเซลเซียส แต่ค่าเอนทัลปี หรือ พลังงานในการทำลายผลึกของตัวอย่าง ลดลง 2 - 4 จูลต่อกรัม โดยให้เหตุผลว่าสตาร์ชอาจเกิดกระบวนการ Annealing ซึ่งเป็นกระบวนการจัดเรียงความเป็นผลึกแบบหนึ่งขึ้นในระหว่างการแช่ข้าว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นกับข้าวทุกพันธุ์ แต่ระดับความ

เปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว เพราะความแตกของโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชและความหนาของเมล็ดข้าวต่างพันธุ์กัน กระบวนการนึ่งและพันธุ์ข้าวยังส่งผลให้ระดับการสุกของข้าวหนึ่ง ที่แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์การเกิดเจลลาทีโนเซชันแตกต่างกัน (13.2 - 41.9 % และ 96.3 % สำหรับข้าวหนึ่งในระดับห้องปฏิบัติการและในระดับการผลิตทางการค้าตามลำดับ)

ระดับแอมิโลสและเวลาในการหุงต้ม ส่งผลต่อความแข็งของข้าวหนึ่งหุงสุก มีรายงานว่า ข้าวหอมดอกมะลิ 105 (แอมิโลส 15 %) และ สุพรรณบุรี 1 (แอมิโลส 25 %) ที่ผ่านกระบวนการนึ่งในระดับห้องปฏิบัติการตากแห้ง กระเทาะเปลือก ขัดสี และหุงสุก โดยใช้ปริมาณน้ำมากเกินไป เมื่อนำมาทำการวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัดแบบกด วัดความแข็ง (Hardness) ของข้าวหุงสุกโดยกดให้ข้าวยุบตัวลงประมาณ 90 % ของความหนาเดิม และพบว่าความแข็งของข้าวหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับแอมิโลส และเวลาในการหุงต้มประกอบกัน โดยข้าวหนึ่งสุพรรณบุรี 1 มีความแข็ง 470 N ที่เวลาการหุง 0 นาที (สภาวะควบคุม) ประมาณ 200 N เมื่อใช้เวลาหุงต้มประมาณ 6 นาที และมีค่าต่ำกว่า 100 N เมื่อใช้เวลาหุงต้ม 15 นาที และข้าวหนึ่งหอมดอกมะลิมีความแข็งต่ำกว่าข้าวสุพรรณบุรี 1 (Jinorose et al., 2014)

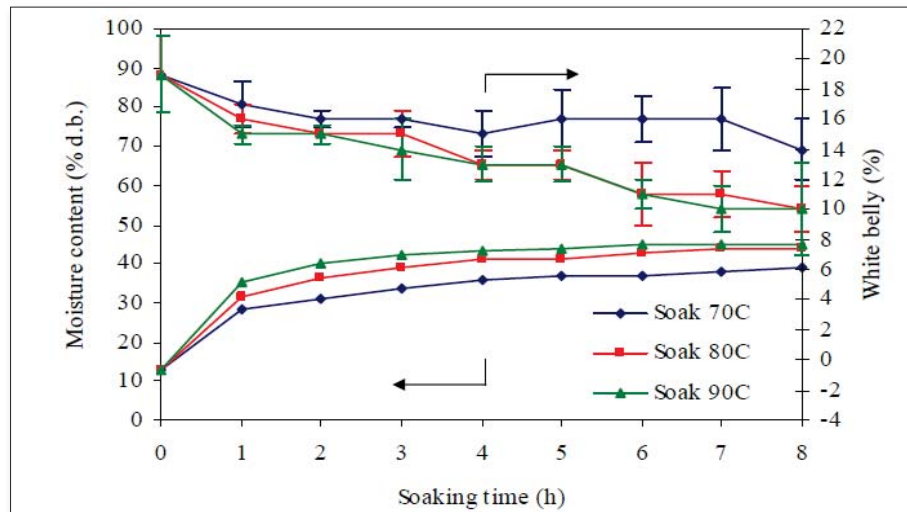
3.1.3 ปัจจัยภายใน ปัจจัยภายนอก ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ และลักษณะปรากฏของข้าวหนึ่ง

3.1.3.1 อิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวหนึ่ง

จากการสำรวจเอกสาร ยังไม่พบการศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวต่อลักษณะปรากฏของข้าวหนึ่ง

3.1.3.2 อิทธิพลของกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง

3.1.3.2.1 ความเป็นท้องไข่ (White belly) อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวที่สูงขึ้นส่งผลให้ความเป็นท้องไข่ ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ไม่ต้องการของข้าวหนึ่งลดลง โดยมีรายงานผลการศึกษาการแช่ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1 โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่ง แต่ใช้การแช่ข้าวเปลือกพร้อมกับเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยใช้อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 150 - 170 องศาเซลเซียส พบว่าค่าร้อยละของความชื้นมีค่าลดลงตามอุณหภูมิของน้ำที่แช่ข้าวเปลือกที่สูงขึ้นดังภาพที่ 3.5 โดยการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าร้อยละของความชื้นลดลงได้มากกว่าอุณหภูมิของน้ำแช่ที่ 70 องศาเซลเซียส โดยคาดว่า การแช่ข้าวทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดน้ำเข้าไปแทนที่อากาศส่งผลให้เม็ดแบ่งเกิดการพองตัวรวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างและทำให้จุดขุนขาวน้อยลง (สมคิด, 2549)

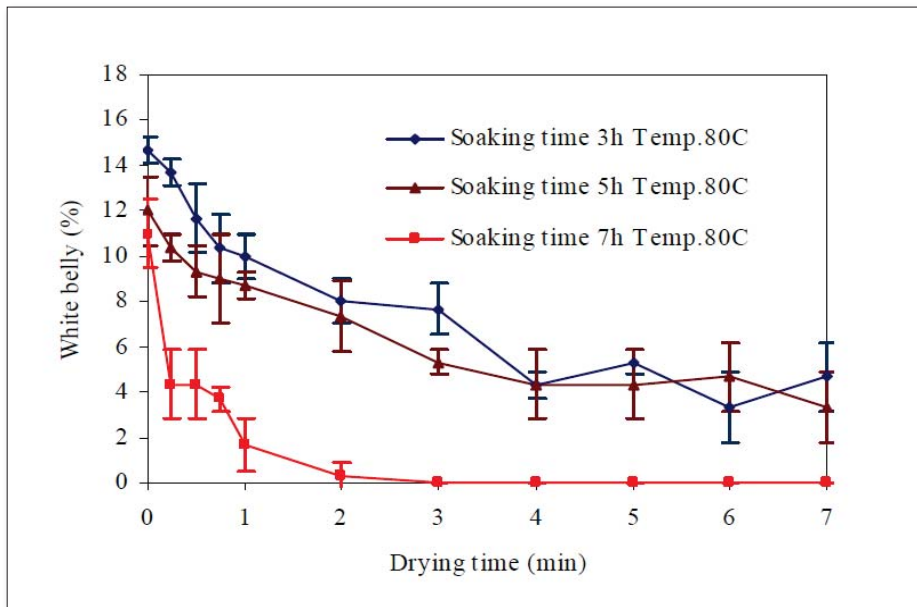


ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และค่าของความเป็นท้องไข่ของการแช่ข้าวเปลือกที่ผ่าน การแช่น้ำที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส

ที่มา: สมคิด (2549)

ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ เอกรินทร์ (2545) ในการทดลองผลิตข้าวหนึ่งที่โรงสีข้าวหนึ่ง พ. แสง วัฒนา 4 ซึ่งมีกำลังการผลิตสูงสุด 200 ตันต่อวัน โดยใช้ถังแช่และนึ่งความจุข้าว 7 ตัน จำนวน 24 ถัง โดยน้ำที่ใช้แช่มีระดับอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และได้มาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำร้อนที่ออกจาก เครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ในการสีข้าว ผลปรากฏว่าข้าวหนึ่งมีคุณภาพที่ดี และมีค่าร้อยละของความเป็นท้องไข่ที่ ยอมรับได้

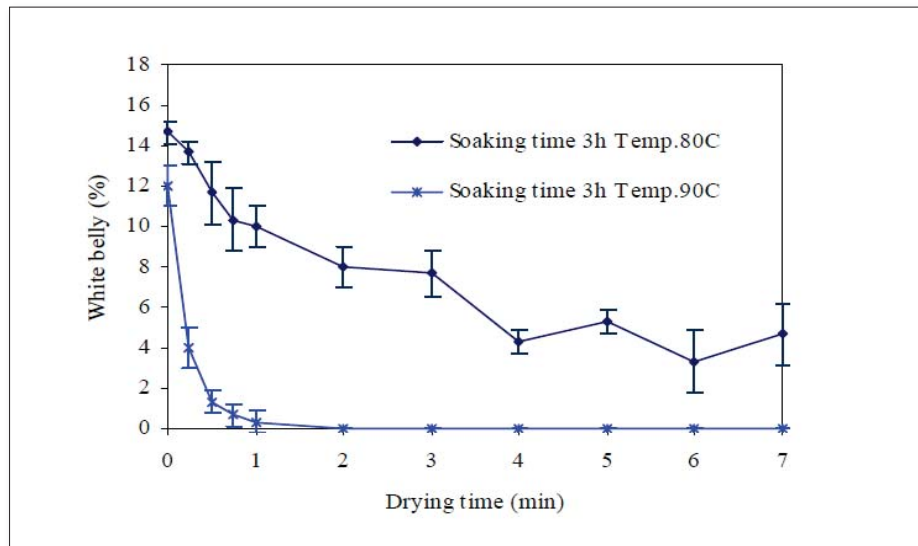
นอกจากนี้ยังพบว่า ความเป็นท้องไข่แปรผกผันกับระยะเวลาในการแช่ข้าว และระยะเวลาอบแห้งข้าว ที่ผ่านการแช่น้ำด้วยอุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการแช่ 3, 5 และ 7 ชั่วโมง เมื่อนำไป ตรวจสอบหาค่าร้อยละความเป็นท้องไข่ของข้าวสาร มีค่าลดลงตามระยะเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้น และค่าความเป็น ท้องไข่ลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นด้วย (สมคิด, 2549) สาเหตุดังกล่าว น่าจะเกิดจากการแช่ ข้าวทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำเข้าไปแทนที่ของอากาศภายในเมล็ด ส่งผลให้เมล็ดแบ่งเกิดการพองตัว โดย ปริมาณความชื้นเริ่มต้น เพิ่มขึ้นรวมทั้งระยะเวลาการทำแห้งที่นานขึ้น ส่งผลให้เกิดการเจลาติไนเซชัน สมบูรณ์มากขึ้น เป็นผลให้ค่าความเป็นท้องไข่ลดลง ซึ่งสังเกตได้ว่า หลังจากการทำแห้งเป็นเวลานานกว่า 3 นาที ในกรณีที่ระยะเวลาการแช่เป็น 7 ชั่วโมง พบว่าร้อยละความเป็นท้องไข่มีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ที่ 3 และ 5 ชั่วโมง จะมีค่าร้อยละความเป็นท้องไข่ 5 - 7 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3.6) ทั้งนี้เนื่องจากการแช่ที่ระยะเวลาสั้นจะทำให้ปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปแทนที่อากาศภายในเมล็ดข้าวได้น้อย ส่งผลให้เมล็ดแบ่งพองตัวได้น้อย และเมื่อนำไปอบแห้งจึงทำให้การเกิดเจลาติไนเซชันไม่สมบูรณ์ทั่วทั้งเมล็ด



ภาพที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละความเป็นท้องไขกับระยะเวลาในการอบแห้ง ด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ

ที่มา: สมคิด (2549)

การกำจัดความเป็นท้องไขของข้าวนี้ สามารถกระทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิในการแช่ข้าวร่วมกับระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกได้อีกทางหนึ่ง โดยมีรายงานว่า ร้อยละความเป็นท้องไข กรณีที่ใช้อุณหภูมิของน้ำในการแช่ข้าวเปลือกที่ 90 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อแช่ในระยะเวลา 3 ชั่วโมงเท่ากัน และร้อยละความเป็นท้องไขยังลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้ง (ภาพที่ 3.7) ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการแช่ข้าวที่อุณหภูมิน้ำแช่เริ่มต้นที่สูงจะทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดน้ำเข้าไปแทนที่อากาศภายในเมล็ดได้ดี ส่งผลให้เมล็ดเปียกเกิดการพองตัวได้มาก โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่เพิ่มมากขึ้นรวมทั้งระยะเวลาการทำให้แห้งที่นานขึ้น มีผลทำให้เกิดการเจลาทิไนเซชันสมบูรณ์มากขึ้นและค่าความเป็นท้องไขลดลง ซึ่งสังเกตได้ว่าหลังจากการทำแห้งเป็นระยะเวลาเกินกว่า 3 นาที ในกรณีที่แช่ข้าวเปลือกในน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละความเป็นท้องไขมีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซนต์ ในขณะที่การแช่ที่อุณหภูมิของน้ำแช่เริ่มต้น 80 องศาเซลเซียสจะยังคงปรากฏค่าร้อยละความเป็นท้องไข 5 - 7 เปอร์เซนต์ (สมคิด, 2549)



ภาพที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละความเป็นท้องไข (White belly) และระยะเวลาในการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่อุณหภูมิน้ำแช่ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาแช่ 3 ชั่วโมง

ที่มา: สมคิด (2549)

3.1.3.2.2 ร้อยละต้นข้าว (Head rice yield) ผลการศึกษามีแนวโน้มว่าอุณหภูมิ

การแช่ข้าวส่งผลให้ค่าปริมาณร้อยละต้นข้าวสูงขึ้น จากงานวิจัยของ Sareepuang et al. (2008) ที่ศึกษาระดับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ที่ส่งผลต่อค่าปริมาณร้อยละต้นข้าว โดยนำข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส และนำไปผ่านกระบวนการนึ่งที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที หลังจากนั้นจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวเปลือกที่แช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาณร้อยละต้นข้าว 59, 83 และ 84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตข้าวกล้องโดยทั่วไปพบว่า จะมีค่าปริมาณร้อยละต้นข้าว 51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุที่ข้าวเปลือกมีค่าปริมาณร้อยละต้นข้าวสูงกว่าข้าวกล้อง คาดว่าเป็นเพราะข้าวเปลือกมีการนำไปผ่านกระบวนการผลิตออกมาเป็นข้าวหนึ่ง ทำให้ข้าวเปลือกมีขนาดและความหนาที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.3) ส่งผลให้ส่วนของเมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้นจึงทำให้ปริมาณร้อยละต้นข้าวสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกพบว่า ถ้าอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาณร้อยละต้นข้าวสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมคิด (2549) ที่ศึกษาการแช่ข้าวเปลือก สุพรรณบุรี 1 โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งแต่ใช้การแช่ข้าวเปลือกร่วมกับเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยใช้อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 150 - 170 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการทดลองแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยพบว่าจะให้ปริมาณร้อยละต้นข้าวที่สูงกว่าที่อุณหภูมิน้ำแช่เริ่มต้น 70 และ 80 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.3 ค่าปริมาณร้อยละต้นข้าวของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องและข้าวหนึ่งที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิ
ต่างๆ

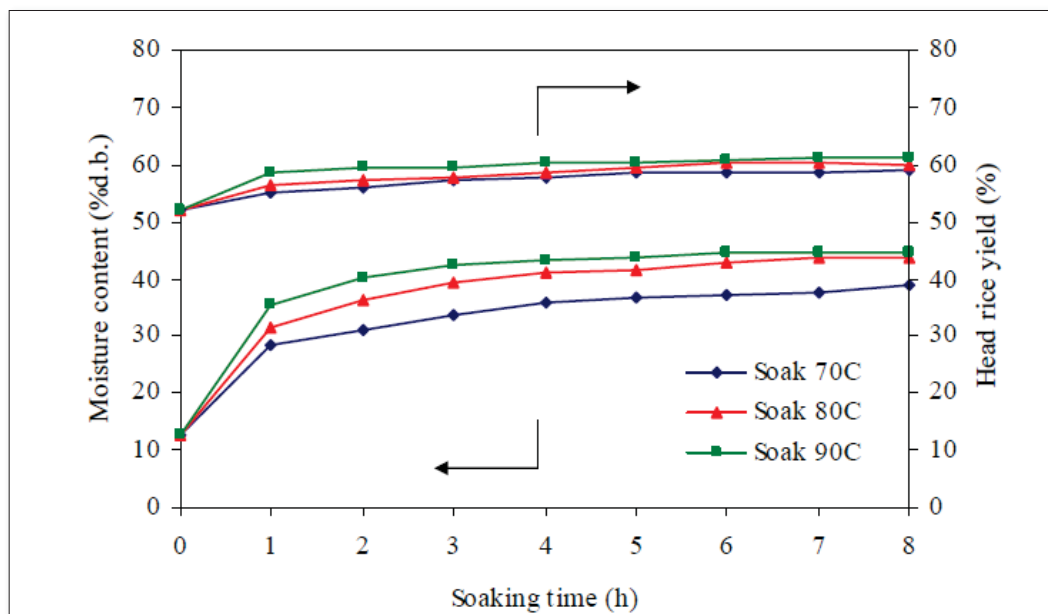
Parameters	Brown rice	Soaking temperature of parboiled rice		
		PR40	PR50	PR60
Length (/grain, mm)	7.44±0.13 ^d	7.76±0.02 ^c	8.10±0.21 ^b	8.53±0.15 ^a
Width (/grain, mm)	2.12±0.09 ^a	2.06±0.01 ^b	2.02±0.02 ^c	2.04±0.5 ^{bc}
Head rice yield (HY%)	50.92±0.03 ^d	59.22±0.19 ^c	82.98±0.59 ^b	84.46±0.12 ^a

Values within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level according to DNMR

PR40 = Parboiled rice soaked at 40°C, PR50 = Parboiled rice soaked at 50°C, PR60 = Parboiled rice soaked at 60°C

ที่มา: Sareepuang *et al.* (2008)

สำหรับอิทธิพลของระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่มีผลต่อค่าปริมาณร้อยละต้นข้าวพบว่า จะมีผลเชิงบวกในช่วง 3 ชั่วโมงแรกเท่านั้น เพราะจากงานวิจัยของสมคิด (2549) ที่ศึกษาผลของการแช่ข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1 ที่ระยะเวลาต่างกัน โดยใช้การแช่ข้าวเปลือกพร้อมกับเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยใช้อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 150 องศาเซลเซียส และความดันไอน้ำในระบบอบแห้ง 106 กิโลปาสกาล ซึ่งโดยสภาวะดังกล่าวทำให้ข้าวที่ได้มีลักษณะคล้ายข้าวหนึ่ง จากการทดลองพบว่า ปริมาณร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่ในช่วง 3 ชั่วโมงแรก แต่หลังจาก 3 ชั่วโมงไปแล้ว ค่าร้อยละต้นข้าวมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังผลการทดลอง (ภาพที่ 3.8)



ภาพที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และร้อยละต้นข้าว ของการแช่ข้าวเปลือกที่ผ่านการ แช่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ

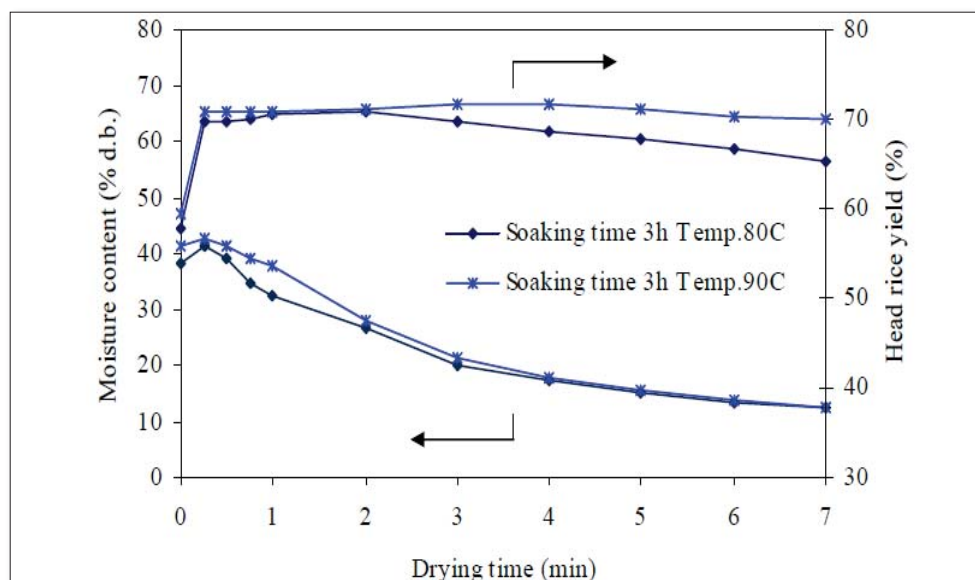
ที่มา: สมคิด (2549)

ในทางตรงกันข้าม มีรายงานผลในเชิงลบของอุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งข้าวเปลือกที่ส่งผลต่อค่าร้อยละของต้นข้าว โดย สมชาติและคณะ (2547) ที่ใช้อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 150 - 170 องศาเซลเซียสและความดันไอน้ำ 106.1 กิโลพาสคัล ในการผลิตข้าวหนึ่งพบว่า ร้อยละของต้นข้าวลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ค่าความขาวและความเป็นท้องไขลดลงตามอุณหภูมิไอน้ำร้อนที่สูงขึ้น สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการนึ่งข้าวเปลือก Adhikaritanayake and Noomhorm (1998) เสนอไว้ว่าควรมีระยะเวลาประมาณ 20 นาที โดยนักวิจัยนำข้าวเปลือกไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ที่น้ำที่แช่ข้าวออก และปล่อยข้าวไว้ให้แห้งเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปผ่านการนึ่งพบว่า เวลาที่ทำให้ข้าวหนึ่งมีคุณภาพที่ดีต้องใช้สภาวะความดันที่ 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยมีปริมาณร้อยละต้นข้าว 64.9 เปอร์เซนต์ ค่าความขาว และคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ของข้าวหนึ่งทั่วไป

ปัจจัยภายนอกอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อค่าร้อยละของต้นข้าว ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งข้าวหนึ่ง จากงานวิจัยของ Rajies and Bhole (1971) ที่ทำการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกหนึ่งที่อุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส พบว่ามีความเหมาะสมและรวดเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการแตกหักของข้าวมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณร้อยละต้นข้าวลดลง ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิที่สูงในการอบแห้ง แต่ต้องคำนึงถึงความชื้นของข้าวหนึ่งหลังการอบแห้งด้วย ดังที่ Ali and Bhattacharya (1980) ที่ศึกษาข้าวเปลือกอกที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาน้ำ และทำการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 120 - 200 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความชื้นหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงควรมีค่าสูงกว่า 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก จึงจะทำให้ร้อยละต้นข้าวมีค่าสูง ซึ่งต่อมา Taweerattanapanish et al., (1999) ได้ทำการศึกษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นระหว่าง 23 - 31 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก (30 - 42.8 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง) โดยเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 140 - 150 องศาเซลเซียส แล้วพบว่าจะได้ปริมาณร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยวิธีเป่าด้วยลมธรรมชาติ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการที่แป้งบางส่วนภายในเมล็ดข้าวเปลือกเกิดการเจลาที่ในเซชัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Inprasit and Noomhorm (2001) พบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด มีแป้งบางส่วนภายในเมล็ดข้าวเปลือกเกิดเจลาที่ในเซชัน และข้าวมีลักษณะคล้ายกับข้าวหนึ่ง

สมคิด (2549) ได้รายงานเพิ่มเติมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกพร้อมกับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวที่ส่งผลต่อปริมาณร้อยละต้นข้าว โดยทำการแช่ข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงเท่ากัน และนำไปทำการอบแห้งด้วยเทคนิคอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยการประยุกต์ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการนึ่งและการอบแห้ง ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งจะใช้อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 150 องศาเซลเซียสและความดันไอน้ำในระบบอบแห้ง 106 กิโลพาสคาล ซึ่งโดยสภาวะดังกล่าวทำให้ข้าวที่ได้มีลักษณะคล้ายข้าวหนึ่งโดยที่ไม่ใช้กระบวนการนึ่งพบว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่สูงขึ้นจาก 80 เป็น 90 องศาเซลเซียสจะส่งผลให้ความชื้นของข้าวเปลือกหลังกระบวนการแช่สูงขึ้น และเมื่อนำไปอบแห้งจะได้ร้อยละต้นข้าวสูงขึ้น (ภาพที่ 3.9)

เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกสูงจะทำให้ช่วงเวลาในการเกิดเจลลาทีโนเซนเพิ่มสูงขึ้นด้วย และจากภาพยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้นจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำกว่า 20 มาตรฐานเปียกพบว่าร้อยละต้นข้าวมีค่าลดลง เนื่องจากความแตกต่างของความชื้นที่บริเวณผิวและแกนกลางของเมล็ดข้าวเปลือกมากขึ้น ทำให้เกิดความเค้นภายในเมล็ดมากขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อนำข้าวเปลือกไปขัดสีจึงทำให้ได้ค่าร้อยละต้นข้าวลดลง โดยเฉพาะกรณีที่ใช้อุณหภูมิการแช่ที่ 80 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และร้อยละต้นข้าวของข้าวเปลือกกับระยะเวลาการทำแห้งด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ใช้กระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง

ที่มา: สมคิด (2549)

ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งได้แก่ กระบวนการพักข้าวซึ่งส่งผลในเชิงบวกต่อปริมาณร้อยละต้นข้าว โดยกระบวนการพักข้าวเป็นกระบวนการที่ช่วยลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งสามารถทำได้ทั้งระหว่างการอบแห้งและภายหลังการอบแห้ง โดยกระบวนการการพักข้าวจะทำการนำข้าวเปลือกไปเก็บไว้ในถังอับลมที่มีอุณหภูมิคงที่ ซึ่งในช่วงระหว่างพักความชื้นจะมีระยะเวลาในการแพร่จากภายในมาสู่ผิวเมล็ด และถ้าหากมีระยะเวลาการพักข้าวที่นานเพียงพอจะส่งผลให้ขนาดความเค้นที่กระทำกับเมล็ดน้อยลง ดังนั้นเมื่อผ่านเข้าสู่การอบในช่วงถัดมาความเค้นภายในเมล็ดที่เกิดขึ้นจึงไม่สูง จึงสามารถลดปริมาณการแตกหักของข้าวเปลือกได้ โดยสำหรับวิธีการอบแห้งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 จะทำการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 60 - 70 องศาเซลเซียส เพื่อลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกจาก 30 - 35 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกลงมาเหลือ 16 - 18 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และหยุดพักการให้ความร้อนเพื่อป้องกันการแตกร้าวของเนื้อในเมล็ด ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดพักข้าวจะอยู่ในช่วง 2 - 48 ชั่วโมง และทำการอบแห้งต่อใน

ขั้นตอนที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐาน เปียก หรือ ต่ำกว่า ซึ่งพิจารณาจากความเหมาะสมในการขัดสีหรือการเก็บรักษา (Luh (1991)

จากการศึกษาของ Soponronnarit et al., (1999) ได้นำเทคนิคการเก็บข้าวเปลือกในที่อับอากาศ และการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมมาใช้เป็นกระบวนการหลังการอบแห้งข้าวเปลือก โดยเริ่มจากการใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชน์เบดทำการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือ 19.5 มาตรฐานแห้ง ภายในเวลา 3 นาที จากนั้นนำข้าวเปลือกไปเก็บในที่อับอากาศเป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อม ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วของอากาศ 0.15 เมตรต่อวินาที เป็นระยะเวลา 20 นาที ซึ่งพบว่ากระบวนการดังกล่าวช่วยให้คุณภาพของข้าวเปลือกทางด้านปริมาณต้นข้าวและความขาวอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Velupillai and Verma (1986) ที่ทำการศึกษารอบแห้งและการพักข้าวของข้าวหนึ่ง พบว่าการพักข้าวจนกระทั่งปริมาณความชื้นสมดุลกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีความแข็งเพิ่มขึ้นและเมื่อนำข้าวเปลือกไปผ่านกระบวนการขัดสีจะได้ร้อยละต้นข้าวสูงขึ้น ต่อมา Elbert et al., (2001) ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้ง ระยะเวลาในการพักข้าว และความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของข้าวทางด้านร้อยละต้นข้าวและดัชนีสีน้ำตาล พบว่าร้อยละต้นข้าวจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส ในการอบแห้ง ในขณะที่ระยะเวลาพักข้าวนาน 2 - 4 ชั่วโมง และความชื้นเริ่มต้นคงที่

3.1.3.3 อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี พันธุ์ข้าว และ กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง

3.1.3.3.1 ค่าร้อยละต้นข้าว มีรายงานว่าการปฏิสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำ ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ และพันธุ์ข้าว ส่งผลต่อค่าร้อยละของต้นข้าว โดยงานวิจัยของ Arai et al., (1975) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาและความดันของไอน้ำที่ใช้ในการนึ่งข้าวที่ส่งผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ พบว่าการนึ่งที่ความดันบรรยากาศ เป็นระยะเวลา 2 - 10 นาที หรือ การนึ่งที่ความดัน 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 15 - 30 นาที สามารถปรับปรุงคุณภาพทางด้านกายภาพของข้าวพันธุ์จาปอนิกาและอินดิกาได้ในขณะที่งานวิจัยของ Agidi et. Al., (2008) ที่ศึกษาผลของพันธุ์ข้าว, ความดันของไอน้ำและปริมาตรจำเพาะของไอน้ำที่ส่งผลต่อค่าร้อยละต้นข้าว พบว่าข้าวพันธุ์ Faro 29 จะให้ค่าร้อยละต้นข้าวสูงที่สุด โดยที่สภาวะความดันไอน้ำ 4×10^4 และ 5.5×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร เป็นระยะเวลา 35 นาที จะมีค่าร้อยละต้นข้าว 82.1 - 93.9 เปอร์เซ็นต์ และ 80.3 - 93.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ Faro 27 ที่ใช้ความดันไอน้ำ 1×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร เป็นระยะเวลา 35 นาที จะให้ค่าร้อยละต้นข้าวต่ำที่สุด คือ 59 - 71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุที่ค่าร้อยละต้นข้าวแตกต่างกันน่าจะเกิดจากคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ (Physico - Chemical properties) ที่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาในส่วนของความดันของไอน้ำ พบว่าการใช้ความดันของไอน้ำสำหรับนึ่งข้าวที่ 4×10^4 และ 5.5×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร จะให้ค่าปริมาณร้อยละต้นข้าวสูงกว่าการใช้ความดันของไอน้ำ 1×10^4 และ 2.5×10^4 นิวตันต่อตารางเมตรซึ่งสอดคล้องกับ Agrawal et al.,

(1987) พบว่าการใช้ความดันไอน้ำต่ำจะทำให้ข้าวยังคงมีความเป็นท้องไข่เหลืออยู่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการนึ่งข้าวที่ไม่สมบูรณ์ ในขณะที่การใช้ปริมาณจำเพาะของไอน้ำในช่วง 1.148 - 1.290 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม จะให้ค่าร้อยละต้นข้าวที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าร้อยละต้นข้าวจะลดลงในช่วงที่ใช้ปริมาณจำเพาะของไอน้ำ 1.290 - 1.576 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ได้มีการสรุปรวบรวมสภาวะที่ใช้ในการกระบวนการผลิตข้าวนี้ และคุณภาพข้าวนี้ (ตารางที่ 3.4 - 3.6)

3.2 งานวิจัยด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวนี้ยังเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเช่นกัน นอกเหนือจากประโยชน์ในด้านการเพิ่มปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหรือต้นข้าว และลดปริมาณข้าวหักในระหว่างการขัดสีแล้ว กระบวนการทำข้าวนี้ยังส่งผลให้ข้าวนี้หลังการขัดสีมีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น เช่น ข้าวสารนี้มีปริมาณวิตามินบี 1 มากกว่าข้าวสารธรรมดา จึงมีบทบาทในการป้องกันโรคเหน็บชาได้ พันธุ์ข้าวและสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวนี้ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าวนี้ใน 4 ด้าน คือ ปริมาณสารอาหารในข้าวนี้ การทนทานต่อการย่อยของข้าวนี้ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวนี้ และการเติมสารอาหารในข้าวนี้

3.2.1 สารอาหารในข้าวนี้

ในกระบวนการผลิตข้าวนี้ส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพข้าวเปลือกให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยลดปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวระหว่างการขัดสีและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยส่วนใหญ่ พบว่าปริมาณสารอาหารในข้าวนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตเป็นหลัก กระบวนการผลิตข้าวนี้ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากมายทั้งในส่วนของเมล็ดข้าว และองค์ประกอบในเมล็ดข้าว

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลกระบวนการแข่งขันของข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่างๆ

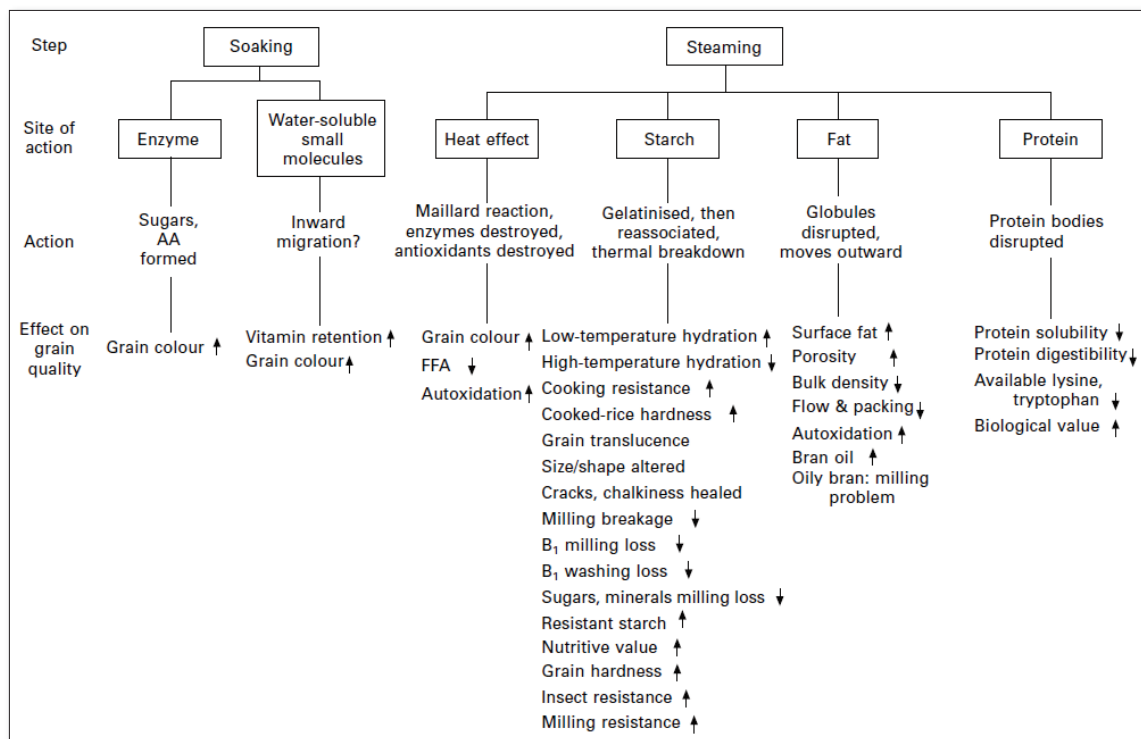
กระบวนการ	เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ผลที่ได้	อ้างอิง
กระบวนการแช่	-	อุณหภูมิห้อง	48 - 96	1. มีกลิ่นไม่พึงประสงค์และมีสีคล้ำเมื่อทำการขัดสีและการหุงต้ม ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค	(Mishra et al., 1985; Greig, 1977)
	กข41	65	4	1. การแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำเป็นเวลานานจะทำให้แป้งถูกย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสเป็นน้ำตาลเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีสีเข้มขึ้น	(นิภาดาและคณะ, 2013)
	ขาวดอกมะลิ 105	70	3.0 - 3.5	1. ข้าวเปลือกไม่ปริแตก ลดระยะเวลาในการบวมการนึ่ง จึงเป็นสภาวะที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม	(เฉลิมพร, 2546; กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552 และ Kar et al., 1999)
	ขาวดอกมะลิ 105	80	1.5 - 3.0	1. ข้าวเปลือกเกิดเจลลาทีเนชัน	(น้ำฝนและอรอนงค์, 2546)
ชัณบท 1 (สมชาติและคณะ, 2547) Bangara, Sanna and Ratna Chudi (Bhattacharya and Rao, 1966)		90	1.5 - 2.0	2. สีของข้าวสารที่ผ่านกระบวนการนี้สีเข้มมากขึ้น	
				1. เกิดการแตกกปริของเยื่อหุ้มเมล็ด ส่งผลให้แป้ง, วิตามินและแร่ธาตุบางส่วนละลายไปกับน้ำที่ใช้ในการแช่	(สมชาติและคณะ, 2547 และ Bhattacharya and Rao, 1966)

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลกระบวนการนึ่งของข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่างๆ

กระบวนการ	เมล็ดพันธุ์ ข้าวเปลือก	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (นาที)	ความดัน	ผลที่ได้	อ้างอิง
กระบวนการนึ่ง	ขาวดอกมะลิ 105	121	15	-	1. ข้าวนี้จะมีลักษณะสีคล้ำ 2. ข้าวนี้มีความขาวลดลง	(Sareepuang et. al., 2008)
	กข41	121	10	34.47 กิโลปาสกาล	1. ปริมาณร้อยละต้นข้าวสูง 2. การเกิดท้องไข่น้อยลง	(นิภาดาและคณะ, 2013)
	สุพรรณบุรี 1	-	5	0.0069 ปอนด์/ ตารางนิ้ว (1 บรรยากาศ)	1. ข้าวนี้มีค่าความขาวสูง 2. ปริมาณร้อยละต้นข้าว 44.83	(ทรงศิลป์และคณะ, 2553)
	สุพรรณบุรี 1	-	5	5 ปอนด์/ ตารางนิ้ว	1. ปริมาณร้อยละต้นข้าว 51.11 เปอร์เซ็นต์ 2. ข้าวมีลักษณะที่แข็งขึ้นและทนต่อการขัดสีมากขึ้น	(ทรงศิลป์และคณะ, 2553)

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลกระบวนการอบแห้งของข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่าง ๆ

กระบวนการ	เมล็ดพันธุ์ ข้าวเปลือก	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (นาที)	ผลที่ได้	อ้างอิง
กระบวนการ อบแห้ง	-	ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม (ใช้วิธี ตากลาน)	ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	1. ข้าวเปลือกอาจได้รับความร้อนที่สูง เกินไปทำให้เมล็ดข้าวหรือแตกได้ ส่งผลให้ปริมาณร้อยละต้นข้าวลดลง อย่างมาก 2. อัตราการทำแห้งไม่สามารถควบคุม ได้ จึงทำให้ต้องใช้ระยะเวลา 3. ไม่สามารถอบแห้งได้ในฤดูฝน	(Poomsa-ad and Wiset, 2012)
	ข้าวดอกมะลิ 105, กข41 และ สุพรรณบุรี 1	60, 65 และ 70 (เครื่องอบแห้งแบบถาด)	จนกระทั่งเหลือความชื้น 23 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง	1. ปริมาณร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้น 2. ลักษณะของข้าวมีสีเหลืองเข้ม 3. มีลักษณะปรากฏของท้องไข่	(Sareepuang et. al., 2008 ;นิภา ดาและคณะ, 2013; ทรงศิลป์และ คณะ, 2553)
	ชัยนาท 1 และ สุพรรณบุรี 1	120 (ใช้เครื่องฟลูอิดไดซ์เบด)	จนกระทั่งเหลือความชื้น 15-16 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง	1. ข้าวนี้มีสีเหลืองอ่อนกว่าข้าวอบแห้ง ที่อุณหภูมิต่ำ (65 และ 70 องศา เซลเซียส) 2. ปริมาณร้อยละต้นข้าวสูง	(น้ำฝน และ อรอนงค์, 2546)
	ข้าวดอกมะลิ 105	150 (ใช้เครื่องฟลูอิดไดซ์เบดด้วยเอ นั้ร่อนวยดียง)	7	1. ปริมาณร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้น 2. ค่าความขาวที่ได้ลดลง 3. เมื่อสัมผัสมีความร้อนมากขึ้น	(เฉลิมพร, 2546)



ภาพที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างกระบวนการทำข้าวหนึ่งและผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

หมายเหตุ สัญลักษณ์ลูกศร (↑หรือ↓) แสดงถึงการเพิ่มขึ้นหรือลดลง, AA คือกรดแอมิโน และ FFA คือ กรดไขมันอิสระ

ที่มา: Bhattacharya (2011)

จากงานวิจัยของ Heinemann et al. (2005) ที่วิเคราะห์ตัวอย่างข้าวกล้อง (Brown rice) ข้าวกล้องึ่ง (Parboiled brown rice) ข้าวสารึ่ง (Parboiled milled rice) และข้าวสาร (Milled rice) ของประเทศบราซิล โดยมีขั้นตอนในการทำข้าวหนึ่งคือ นำข้าวเปลือกแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส นาน 4 - 7 ชั่วโมง ึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที และทำแห้ง พบว่าปริมาณโปรตีนจากการคำนวณโดยใช้แฟคเตอร์เท่ากับ 5.7 มีค่าอยู่ในช่วง 5.71 - 7.42 % ซึ่งปริมาณโปรตีนลดลงในตัวอย่างที่ผ่านการขัดสีเป็นข้าวสาร ส่วนปริมาณไขมันในข้าวกล้องและข้าวกล้องึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.5$) เช่นเดียวกับในข้าวสารึ่งและข้าวสารที่มีปริมาณไขมันใกล้เคียงกัน ($P > 0.5$) และจากการที่ข้าวสารมีการกำจัดรำข้าวออกไป จึงทำให้ปริมาณน้ำมันในข้าวสารต่ำกว่าในข้าวกล้อง ข้าวกล้องและข้าวกล้องึ่งมีปริมาณกรดไขมันใกล้เคียงกันคือ 1.21 % และ 1.18 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำข้าวหนึ่งไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ส่วนในข้าวสารึ่งและข้าวสาร พบว่าเมื่อเทียบกับข้าวกล้องึ่ง ข้าวสารึ่งมีปริมาณแร่ธาตุลดลง 53.4 % และข้าวสารมีปริมาณแร่ธาตุลดลง 61.2 % เมื่อเทียบกับข้าวกล้อง แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำข้าวหนึ่งเป็นผลให้ปริมาณแร่ธาตุที่หลงเหลือหลังจากการขัดสีเพิ่มสูงขึ้น 17 % (ตารางที่ 3.7)

ตารางที่ 3.7 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างข้าวกล้อง ข้าวกล้องนึ่ง ข้าวสารนึ่งและข้าวสารทางการค้า

รายการ	องค์ประกอบทางเคมี (%)a,b			
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
ข้าวกล้อง				
ค่าเฉลี่ย	12.60 ± 0.54a	6.85 ± 0.34a	2.65 ± 0.20a	1.21 ± 0.06a
การแปรปรวน	12.10 – 13.50	6.34 – 7.42	2.37 – 3.02	1.15 – 1.29
ข้าวกล้องนึ่ง				
ค่าเฉลี่ย	12.07 ± 0.74a	6.76 ± 0.20a	2.69 ± 0.13a	1.18 ± 0.17a
การแปรปรวน	11.01 – 13.38	6.24 – 7.02	2.53 – 2.89	0.91 – 1.46
ข้าวสารนึ่ง				
ค่าเฉลี่ย	10.83 ± 0.64b	6.36 ± 0.32b	0.38 ± 0.06b	0.55 ± 0.04b
การแปรปรวน	9.58 – 11.63	5.71 – 6.71	0.31 – 0.47	0.49 – 0.60
ข้าวสาร				
ค่าเฉลี่ย	11.10 ± 1.16b	6.66 ± 0.34a b	0.50 ± 0.07b	0.47 ± 0.12b
การแปรปรวน	9.39 – 12.84	6.10 – 7.20	0.38 – 0.60	0.32 – 0.59

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยจาก 5 ตัวอย่างที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

ที่มา: Heinemann et al., (2005)

ข้าวสารนึ่งมีปริมาณวิตามินบี 1 หรือ ไทอะมิน (Thiamin) และวิตามินบี 3 หรือ กรดนิโคตินิค (Nicotinic acid) สูงกว่าข้าวสารดิบ (Bhattacharya and Ali, 1985; Bhattacharya, 2004) ทั้งที่ในความเป็นจริงปริมาณวิตามินบี 1 ในข้าวกล้องลดลงหลังจากผ่านกระบวนการทำข้าวนี้ การสูญเสียวิตามินบี 1 เริ่มต้นในระหว่างขั้นตอนการแช่ ซึ่งโดยปกติเกิดขึ้นน้อย แต่หากสภาวะที่ใช้ในการแช่ทำให้เปลือกข้าวแยกออก ยิ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น ความร้อนจากการนึ่งยังมีผลทำให้วิตามินบี 1 บางส่วนถูกทำลายแต่ไม่มากนัก ยกเว้นใช้สภาวะการนึ่งภายใต้ความดัน และการสูญเสียในลักษณะเดียวกันเกิดขึ้นกับวิตามินบี 3 ด้วย ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไทอะมินในข้าวสารนึ่งน้อยกว่าในข้าวสาร (ตารางที่ 3.8) จึงเป็นเพราะสัดส่วนที่ต่ำกว่าของวิตามินที่เลื้อยและถูกกำจัดออกไปพร้อมกับรำข้าวในระหว่างการขัดสีเมื่อเทียบระหว่างข้าวเปลือกนึ่งและข้าวเปลือกดิบ

ตารางที่ 3.8 การสูญเสียวิตามินไทอะมินในระหว่างการแช่ การนึ่งด้วยไอน้ำและการขัดสีของข้าวเปลือก

Soaking Temperature (°C)	Time ^a (min)	Steaming		Percent loss ^b of thiamin			
		Pressure (kg/cm ² , gauge)	Time (min)	During parboiling		During milling	
				Soaking	Steaming	Before steaming	After steaming
Not soaked		0	10		10	90	64
Room temperature	a	0	10	0	—	93	35
	b	0	10	0	—	93	34
	c	0	10	1	—	93	32
50	a	0	10	0	10	85	30
	b	0	10	1	—	80	25
	c	0	10	3	8	76	23
60	a	0	10	0	—	82	23
	b	0	10	6	—	69	19
	c	0	10	16	—	68	24
70	a	0	10	3	—	60	23
	b	0	2	6	3	46	26
			5		3		25
			10		4		24
			40		14		—
			60		19		25
		0.35	10		11		—
		0.70	10		15		25
		1.40	10		28		29
80	c	0	10	37	—	31	27
	a	0	10	13	—	33	29
	b	0	10	17	2	34	30
	c	0	10	31	—	32	30

หมายเหตุ ^a Soaking time: a = undersoaking (50-75 % of optimum time), b= time required for optimal soaking at the indicated temperature, c = oversoaking (125-150 % of optimum time)

^b Loss expressed as percent of B1 present in original paddy (for soaking), soaked paddy (for steaming), and soaked and steamed paddy (for milling)

ที่มา: Bhattacharya (2011)

จากงานวิจัยของ Manful et al., (2007) ที่ศึกษาการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 30, 70 และ 90 องศาเซลเซียส แล้วนำไปนึ่งที่ความดัน 4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 12 นาที พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกสูงขึ้นทำให้ปริมาณไทอะมินเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการแช่ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวหนึ่งมีปริมาณไทอะมินสูงสุด คือ 0.612 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากวิตามินบีในส่วนที่อยู่ในรำแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อเมล็ด (Pauda and Juliano, 1974) ในขณะที่ Rao and Bhattacharya (1966) พบว่าปริมาณของไทอะมินที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เกิดในช่วงของกระบวนการแช่แต่เกิดในกระบวนการนึ่ง เนื่องจากในช่วงดังกล่าวเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น และเมื่อนำไปผ่านกระบวนการขัดสีจึงสูญเสียวิตามินน้อยลง

จากงานวิจัยของ สุนันและคณะ (2546) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตข้าวกล้องหนึ่งจากข้าวพันธุ์ชัยนาท, สุพรรณบุรี 1 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวหนึ่ง ตัวอย่างควบคุม (ทางการค้า) กับข้าวกล้องหนึ่งสายพันธุ์ต่างๆ พบว่าข้าวหนึ่งตัวอย่างควบคุม (ทางการค้า) มีปริมาณ

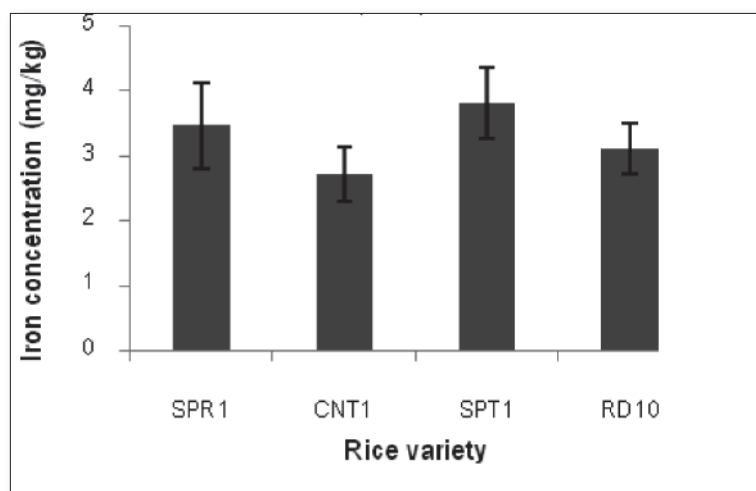
วิตามินบี 2 มากกว่าข้าวกล้องหนึ่งที่ทำกรทดลองทุกสายพันธุ์ (ตารางที่ 3.9) สาเหตุอาจมาจากข้าวกล้องที่นำมาผ่านกระบวนการหนึ่งมีการกะเทาะเปลือกออกทำให้สูญเสียสารอาหารที่อยู่บริเวณเปลือกในขณะที่ข้าวหนึ่งตัวอย่างควบคุม (ทางการค้า) จะใช้ข้าวเปลือกมาทำการแช่ทำให้สารอาหารต่างๆ ที่อยู่ที่บริเวณเปลือกข้าวจะแพร่เข้าสู่เนื้อเมล็ดข้าว จึงทำให้มีวิตามินบี 2 มากกว่า

ตารางที่ 3.9 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี (วิตามินอี และวิตามินบี 2) ของข้าวหนึ่งสายพันธุ์ต่างๆ

ชนิดพันธุ์ข้าว	วิตามินอี	วิตามินบี 2	เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม	เปรียบเทียบกับข้าวใหม่
ตัวอย่างควบคุม	ไม่พบ	0.01	100 %	-
ชัยนาท 1	ไม่พบ	0.005	ลดลง 50 %	100 %
ชัยนาท 2	ไม่พบ	0.003	ลดลง 70 %	ลดลง 40 %
สุพรรณบุรี 1	ไม่พบ	0.006	ลดลง 40 %	100 %
สุพรรณบุรี 2	ไม่พบ	0.002	ลดลง 80 %	ลดลง 77 %
ข้าวหอมมะลิ 1	ไม่พบ	0.008	ลดลง 20 %	100 %
ข้าวหอมมะลิ 2	ไม่พบ	0.005	ลดลง 50 %	ลดลง 38 %

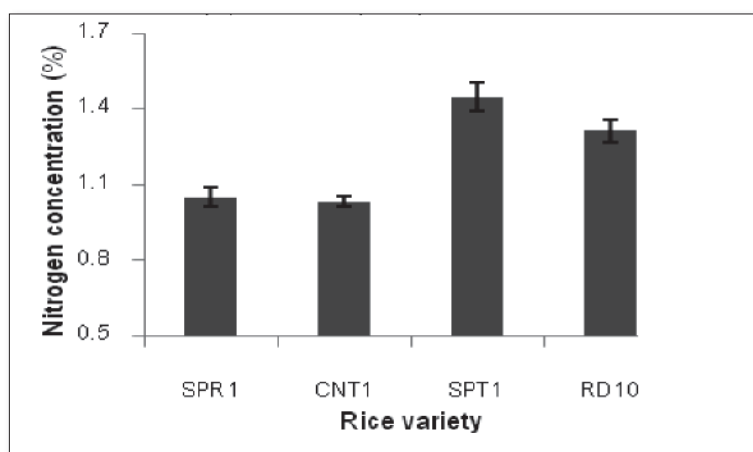
ที่มา: สุนันและคณะ (2546)

จากการศึกษาของ สุพรรณิ (2013) ที่ศึกษาผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวและสภาพการนึ่งต่อคุณภาพทางโภชนาการของข้าวหนึ่ง โดยนำข้าวเปลือกสุพรรณบุรี 1, ชัยนาท 1, สันป่าตอง 1 และ กข 10 ที่เก็บเกี่ยวในช่วงระยะ 15, 20, 25, 30 และ 45 วันหลังวันดอกบาน ไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำไปนึ่งในหม้อนึ่งควบคุมความดันที่ระดับ 0.8 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เป็นระยะเวลานาน 10 นาที แล้วจึงนำไปผึ่งแดดให้แห้งและนำข้าวไปสีเป็นข้าวสาร เพื่อทำการวัดความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนสังกะสีและเหล็ก เปรียบเทียบกับการนำไปนึ่งโดยไม่ผ่านการแช่น้ำ พบว่าสายพันธุ์ของข้าวและระยะเวลาเก็บเกี่ยวมีผลต่อความเข้มข้นของสารอาหารแต่ละชนิดในเมล็ดข้าวสารนึ่งแตกต่างกัน (ภาพที่ 3.11 และ 3.12) โดยสายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการทำข้าวหนึ่งเนื่องจากมีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ คือพันธุ์สันป่าตอง 1 ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารไปสะสมในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าวแตกต่างกัน การนึ่งข้าวโดยไม่แช่น้ำทำให้ข้าวสารมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีสูงกว่าเมื่อเทียบกับการแช่น้ำก่อนนำไปนึ่งในข้าวทุกพันธุ์ (ภาพที่ 3.13) แต่ในงานวิจัยนี้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณธาตุไนโตรเจนและธาตุเหล็กในข้าวสารนึ่งระหว่างการนึ่งทั้งสองแบบ



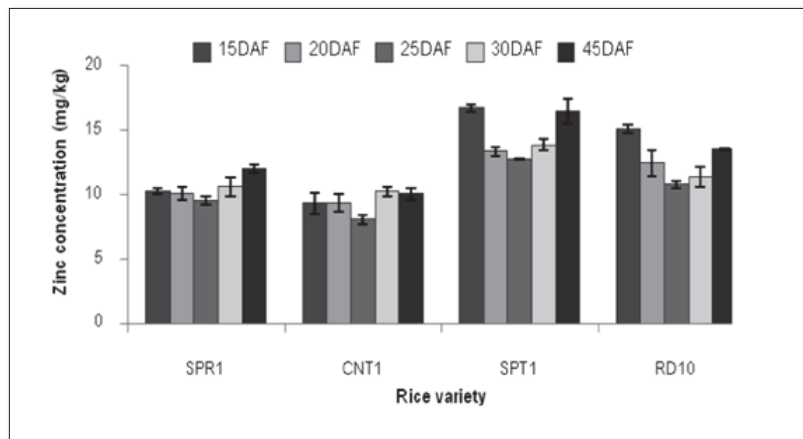
ภาพที่ 3.11 ผลของสายพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุเหล็กในข้าวหนึ่ง

หมายเหตุ SPR 1: สุพรรณบุรี 1, CNT 1: ชัยนาท 1, SPT 1: สันป่าตอง 1 และ RD 10: กข 10
ที่มา: สุพรรณณี (2013)



ภาพที่ 3.12 ผลของสายพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนในข้าวหนึ่ง

หมายเหตุ SPR1: สุพรรณบุรี 1, CNT1: ชัยนาท 1, SPT1: สันป่าตอง 1 และ RD10: กข10
ที่มา: สุพรรณณี (2013)



ภาพที่ 3.13 ผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่อปริมาณธาตุสังกะสีของข้าวหนึ่งสายพันธุ์ต่างๆ

หมายเหตุ SPR1: สุพรรณบุรี 1, CNT1: ชัยนาท 1, SPT1: สันป่าตอง 1 และ RD10: กข10

DAF หมายถึง จำนวนวันของอายุรวงข้าวหลังจากออกดอก

ที่มา: สุพรรณณี (2013)

ส่วนปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดของข้าวกล้อง ข้าวกล้องนึ่ง ข้าวสารนึ่งและข้าวสาร ในงานวิจัยของ Heinemann et al., (2005) แสดงใน (ตารางที่ 3.10) พบว่าปริมาณแร่ธาตุส่วนใหญ่ในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่งมีความคล้ายคลึงกัน ยกเว้นปริมาณโพแทสเซียม และฟอสฟอรัสที่มีสูงกว่าในข้าวกล้อง ส่วนข้าวสารมีปริมาณโพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และซิลิเนียมต่ำกว่าข้าวกล้อง และปริมาณแร่ธาตุส่วนใหญ่ในข้าวสารนึ่งสูงกว่าในข้าวสาร การขัดสีไม่ส่งผลต่อปริมาณโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส เห็นได้จากการที่ปริมาณแร่ธาตุทั้งสองในข้าวสารนึ่งและข้าวกล้องนึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การขัดสีทำให้เกิดการสูญเสียของแร่ธาตุแมกนีเซียม เหล็ก โซเดียม และซิลิเนียมในข้าวสารและข้าวสารนึ่ง ส่วนแมงกานีส แคลเซียม และสังกะสีมีการสูญเสียปริมาณมากเนื่องจากกระบวนการทำข้าวหนึ่ง อาจเป็นผลจากการที่แร่ธาตุเหล่านี้กระจายตัวมาที่ชั้นผิวด้านนอกของเมล็ดข้าวในระหว่างขั้นตอนการแช่และนึ่ง จึงถูกกำจัดออกไปในระหว่างการขัดสี ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุที่หลงเหลือ เช่น ตำแหน่งที่อยู่ของแร่ธาตุในเมล็ดข้าว ความสามารถในการละลายน้ำระหว่างการแช่ อัตราส่วนของการเคลื่อนย้ายที่แตกต่างกัน ความหลากหลายของกระบวนการนี้ และความทนทานต่อการขัดสีของเมล็ดข้าวที่ผ่านการนึ่ง (Chinnaswamy and Bhattacharya, 1983)

ตารางที่ 3.10 องค์ประกอบแร่ธาตุของข้าวกล้อง ข้าวกล้องนึ่ง ข้าวสารนึ่งและข้าวสารทางการค้า

มิลลิกรัม/100 กรัม ^{a,b}	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องนึ่ง	ข้าวสารนึ่ง	ข้าวสาร
โพแทสเซียม	181.71 ± 9.27a	152.89 ± 8.77b	143.21 ± 8.86b	65.46 ± 5.57c
ฟอสฟอรัส	61.27 ± 2.08a	56.42 ± 1.84b	58.85 ± 5.05a,b	41.98 ± 5.40c
แมกนีเซียม	16.88 ± 0.57a	15.98 ± 0.28a, b	15.43 ± 2.66b	15.06 ± 2.34b
แคลเซียม	6.85 ± 0.43a	6.23 ± 0.41a	4.61 ± 0.85b	6.70 ± 0.42a
สังกะสี	1.98 ± 0.11a	1.90 ± 0.10a	1.15 ± 0.31b	2.09 ± 0.09a
เหล็ก	0.57 ± 0.35a	0.55 ± 0.47a	0.43 ± 0.35a	0.40 ± 0.29a
โซเดียม	0.54 ± 0.20a,b	0.44 ± 0.14b	0.59 ± 0.07a	0.53 ± 0.06a,b
แมงกานีส	0.36 ± 0.05b	0.42 ± 0.07a	0.28 ± 0.02c	0.45 ± 0.06a
ทองแดง	0.16 ± 0.07a	0.15 ± 0.06a	0.17 ± 0.03a	0.18 ± 0.04a
ซิลิเนียม	0.04 ± 0.00a	0.04 ± 0.00a	0.03 ± 0.00b	0.03 ± 0.00b
รวม	270.35	235.02	224.75	132.88

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยจาก 5 ตัวอย่าง ที่วิเคราะห์ 3 ซ้ำ คำนวณต่อน้ำหนักเปียก 35 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^b ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P > 0.05)

ที่มา: Heinemann et al., (2005)

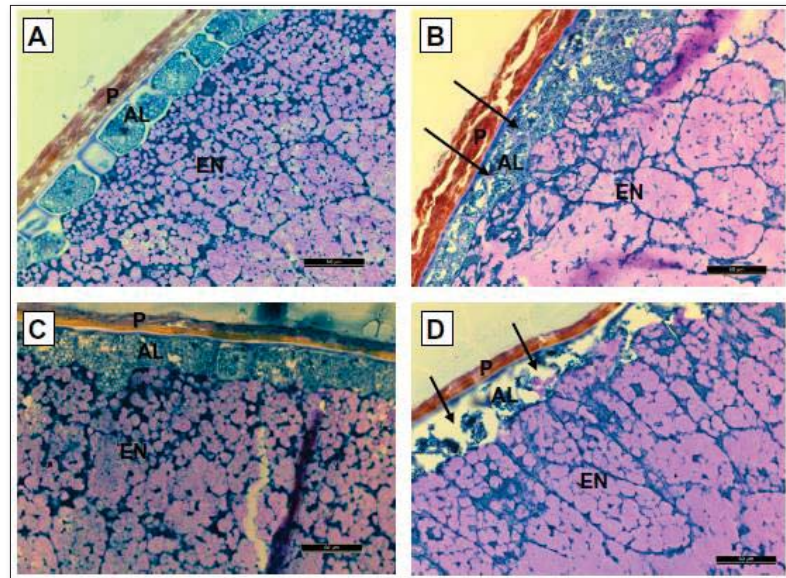
จากงานวิจัยของ Paiva et al., (2016) ที่ศึกษาผลของกระบวนการทำข้าวหนึ่งต่อองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสารฟีนอลิก และสมบัติการต้านออกซิเดชันในข้าวดำและข้าวแดง โดยขั้นตอนการทำข้าวหนึ่ง ประกอบด้วย การแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำไปให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นของข้าวเท่ากับ 16 % และจากผลการวิจัย (ตารางที่ 13) พบว่า ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องดำนึ่งและข้าวกล้องแดงนึ่งลดลงเมื่อเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง แสดงให้เห็นว่าเกิดการสูญเสียโปรตีนจากเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างข้าวที่ผ่านการขัดสี พบว่าข้าวแดงขัดสีที่ผ่านกระบวนการนึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวแดงขัดสี แต่ปริมาณโปรตีนในข้าวดำขัดสีที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการนึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าระหว่างขั้นตอนการแช่ข้าวโปรตีนในข้าวแดงมีการเคลื่อนที่จากชั้นผิวส่วนร่าด้านนอกเข้าสู่เนื้อเมล็ดด้านใน ได้มากกว่าโปรตีนของข้าวดำ และจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงซึ่งแสดงให้เห็นส่วนของเพอริคาร์พ (Pericarp; P) ชั้นแอลิวโรน (Aleurone layer; AL) และเนื้อเมล็ด (Endosperm; EN) โดยองค์ประกอบของรูปร่างโปรตีนติดสีน้ำเงินและของเม็ดสตาร์ชติดสีชมพู (ภาพที่ 3.11) จึงเห็นได้ว่าชั้นแอลิวโรนของทั้งเมล็ดข้าวกล้องดำและข้าวกล้องแดงมีปริมาณโปรตีนสูง

ตารางที่ 3.11 ผลของการขัดสีและกระบวนการทำข้าวหนึ่งต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวแดงและข้าวดำ

กระบวนการ	โปรตีน (% น้ำหนักแห้ง)	ไขมัน (% น้ำหนักแห้ง)	เถ้า (% น้ำหนักแห้ง)
ข้าวดำ			
ไม่ขัดสี	$8.0 \pm 0.11b$	$2.9 \pm 0.01b$	$1.5 \pm 0.04b$
ขัดสี	$6.7 \pm 0.06d$	$0.4 \pm 0.01e$	$0.5 \pm 0.03e$
นึ่งและไม่ขัดสี	$7.4 \pm 0.10c$	$2.6 \pm 0.04c$	$1.6 \pm 0.03b$
นึ่งและขัดสี	$6.6 \pm 0.20d$	$0.2 \pm 0.01f$	$0.7 \pm 0.04c$
ข้าวแดง			
ไม่ขัดสี	$8.1 \pm 0.08b$	$3.1 \pm 0.06a$	$3.7 \pm 0.10a$
ขัดสี	$7.6 \pm 0.06c$	$0.7 \pm 0.05d$	$0.6 \pm 0.02d$
นึ่งและไม่ขัดสี	$7.4 \pm 0.10c$	$3.0 \pm 0.04a$	$1.6 \pm 0.06b$
นึ่งและขัดสี	$8.7 \pm 0.06a$	$0.2 \pm 0.01f$	$0.6 \pm 0.02c$

ที่มา: ดัดแปลงจาก Paiva et al., (2016)

ส่วนเนื้อเมล็ดมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสตาร์ช (ภาพที่ 3.14A และ 3.14C ตามลำดับ) และหลังจากนำข้าวกล้องไปผ่านกระบวนการนึ่ง ในชั้นแอลิวโรนของข้าวกล้องดำมีปริมาณรูปร่างโปรตีนสูง (ภาพที่ 3.14B ตามลูกศรชี้) ส่วนของข้าวกล้องแดงมีปริมาณรูปร่างโปรตีนน้อยกว่า (ภาพที่ 3.14D ตามลูกศรชี้) ซึ่งเป็นการยืนยันการเคลื่อนที่ของโปรตีนในข้าวกล้องแดงจากส่วนรำเข้าสู่เนื้อเมล็ด ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในข้าวแดงนึ่งและขัดสีมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวแดงขัดสี



ภาพที่ 3.14 ภาพตัดขวางของเมล็ดข้าวจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

หมายเหตุ A = ข้าวกล้องดำไม่เน่า; B = ข้าวกล้องดำเน่า; C = ข้าวกล้องแดงไม่เน่า และ D = ข้าวกล้องแดงเน่า
P, AL และ EN หมายถึง ชั้นเพอริคาร์พ, ชั้นแอลิวโรน และส่วนเนื้อเมล็ดของเมล็ดข้าวตามลำดับ
ที่มา: ดัดแปลงจาก Paiva et al., (2016)

สำหรับปริมาณไขมันในข้าว (ตารางที่ 3.11) พบว่า ข้าวกล้องดำเน่ามีปริมาณไขมันลดลงเมื่อเทียบกับข้าวกล้องดำที่ไม่ผ่านกระบวนการนี้ ซึ่งเมล็ดไขมันอาจเกิดการสูญเสียในช่วงระหว่างการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนข้าวกล้องแดงเน่ามีปริมาณไขมันใกล้เคียงกับข้าวกล้องแดงที่ไม่ผ่านกระบวนการนี้ และการขัดสีส่งผลทำให้ปริมาณไขมันในข้าวแดงเน่าและข้าวดำเน่าที่ผ่านการขัดสี มีปริมาณไขมันลดลงเหลือเพียง 0.2 % ส่วนปริมาณเถ้าของข้าวกล้องดำที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่กระบวนการทำข้าวนึ่งส่งผลให้ปริมาณเถ้าในข้าวกล้องแดงลดลง 56.7 % แสดงให้เห็นว่าปริมาณเถ้าที่มีมากบริเวณส่วนชั้นของรำเกิดการสูญเสียในช่วงระหว่างการแช่ข้าว

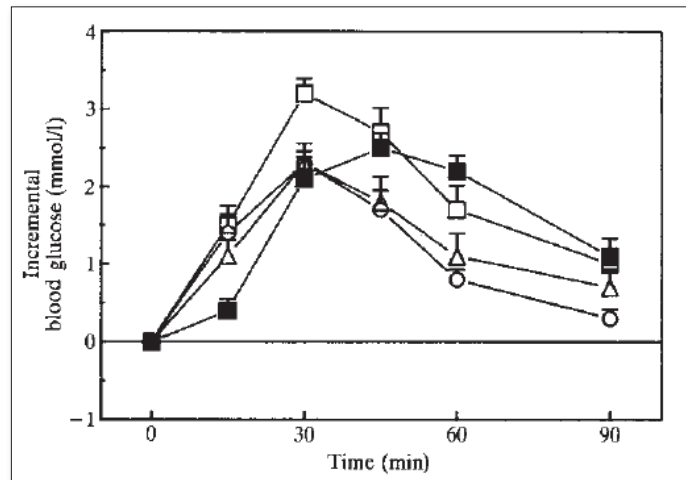
3.2.2 ความทนทานต่อการย่อยของข้าวหนึ่ง

จากงานวิจัยของ Odenigbo et al., (2013) พบว่า ตัวอย่างข้าวหนึ่งมีปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชอยู่ในช่วง 8.35 - 11.07 % ซึ่งสูงกว่าในตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง (3.81 - 4.84 %) นอกจากนั้น พันธุ์ข้าวและกระบวนการทำข้าวหนึ่งมีผลต่อปริมาณสตาร์ชที่ย่อยได้อย่างรวดเร็ว (Rapidly digestible starch, RDS) สตาร์ชที่ย่อยได้อย่างช้าๆ (Slowly digestible starch, SDS) และสตาร์ชที่ทนทานต่อการย่อย (Resistant starch, RS) ซึ่งงานวิจัยของ Newton et al., (2011) ที่นำข้าว 2 พันธุ์ มาผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง โดยแช่ข้าวเปลือกและข้าวกล้องของข้าวแต่ละพันธุ์ในน้ำที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนด นำข้าวที่ผ่านการแช่มาใส่ในหม้อนึ่งอัดไอที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน 17 - 18 psi นาน 20 หรือ 40 นาที และนำไปผ่านขั้นตอนการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ไม่มีขั้นตอนการเก็บรักษา วิธีที่ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ วิธีที่ 3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอที่สภาวะเดิม และเก็บรักษาอีกครั้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างภายหลังการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆไปทำแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ความสามารถในการถูกย่อยของสตาร์ช โดยรายงานเป็นร้อยละของสตาร์ชทั้งหมด พบว่า ปริมาณ RDS ของตัวอย่างที่เก็บรักษาด้วยวิธีที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 81.7 - 95.3 % ด้วยวิธีที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 76.9 - 89.3 % และด้วยวิธีที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 79.6 - 88.7 % ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทำแห้ง ส่งผลให้ปริมาณ RDS ลดลง ส่วน SDS และ RS เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ทำแห้งทันที และการให้ความร้อนในหม้อนึ่งอัดไอเป็นเวลา 40 นาที ทำให้ปริมาณ RDS ลดลงและปริมาณ SDS เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนนาน 20 นาที

จากงานวิจัยของ Wolever et al., (1986) ซึ่งทำการทดสอบในผู้ป่วยโรคเบาหวาน พบว่าค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index) ของข้าวขัดขาวเมล็ดยาวมีค่าเท่ากับ 83 ± 5 ซึ่งสูงกว่าของข้าวหนึ่งขัดขาวเมล็ดยาวอย่างมีนัยสำคัญ (67 ± 5) แต่ในงานวิจัยของ Miller et al (1992) ที่ศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของตัวอย่างอาหารหลายชนิด รวมทั้งตัวอย่างข้าวพันธุ์ Pelde ก่อนและหลังการผลิตเป็นข้าวหนึ่ง ซึ่งพบว่ามีค่าดัชนีน้ำตาลสูงใกล้เคียงกัน คือ 93 ± 11 และ 87 ± 7 ตามลำดับ จึงระบุว่ากระบวนการทำข้าวหนึ่งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีน้ำตาล ส่วนค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหนึ่งที่มียาคต่ำ เท่ากับ 54 ในงานวิจัยของ Jenkins et al., (1988) เป็นผลจากการใช้ข้าวพันธุ์ที่มีเอมิโลสสูงในการศึกษาซึ่งอาจมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำอยู่แล้ว

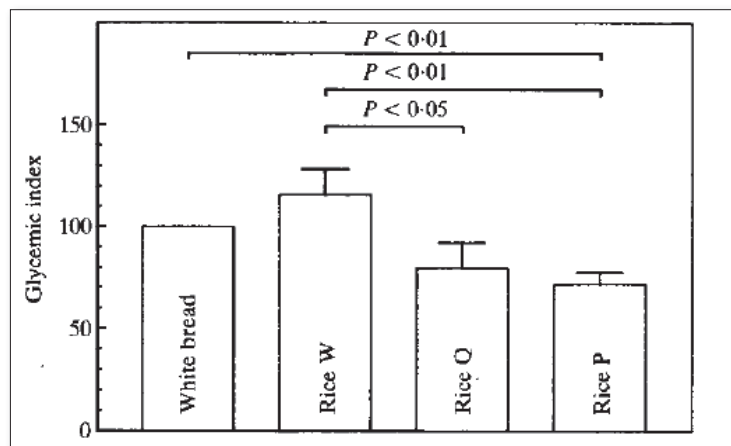
Casiraghi et al., (1993) ศึกษาผลของการย่อยของข้าวหุงสุกในหลอดทดลองและในคนที่มีสุขภาพดี โดยเปรียบเทียบระหว่างข้าวขัดขาว ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งหุงสุกเร็ว พบว่าปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชในข้าวหุงสุกของข้าวขัดขาว ข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งหุงสุกเร็ว มีค่าเท่ากับ 0.4, 0.8 และ 0.8 % ตามลำดับ และการย่อยในหลอดทดลอง แสดงให้เห็นว่าข้าวหนึ่งถูกย่อยได้ช้ากว่าข้าวขัดขาว และข้าวหนึ่งหุงสุกเร็ว ส่วนการทดสอบในคน พบว่าปริมาณกลูโคสในเลือดที่เพิ่มขึ้นสูงสุดจากการบริโภคข้าวขัดขาวมีค่ามากกว่าข้าวหนึ่งหุงสุกเร็ว ข้าวหนึ่ง และขนมปังขาว (ภาพที่ 3.15) ขนมปังขาวทำให้ปริมาณกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 45 นาที

ซึ่งช้ากว่าการบริโภคข้าว (30 นาที) การบริโภคข้าวหนึ่ง และข้าวหนึ่งหุงสุกเร็วทำให้ปริมาณกลูโคสในเลือดต่ำกว่า ข้าวขัดขาว และส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลที่ต่ำกว่าด้วย ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.15 การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือดหลังการบริโภคอาหาร 4 ประเภท

หมายเหตุ ■: ขนมนึ่ง, □: ข้าวขัดขาว, △: ข้าวหนึ่งหุงสุกเร็ว, และ ○: ข้าวหนึ่ง
ที่มา: Casiraghi et al., (1993)



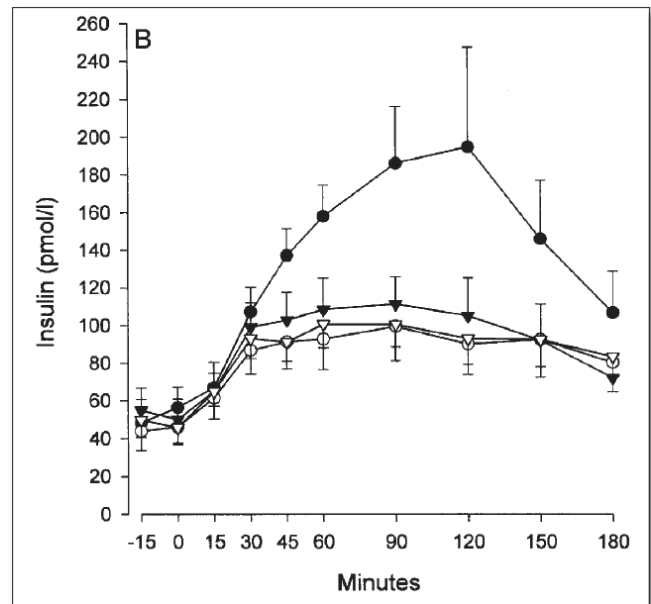
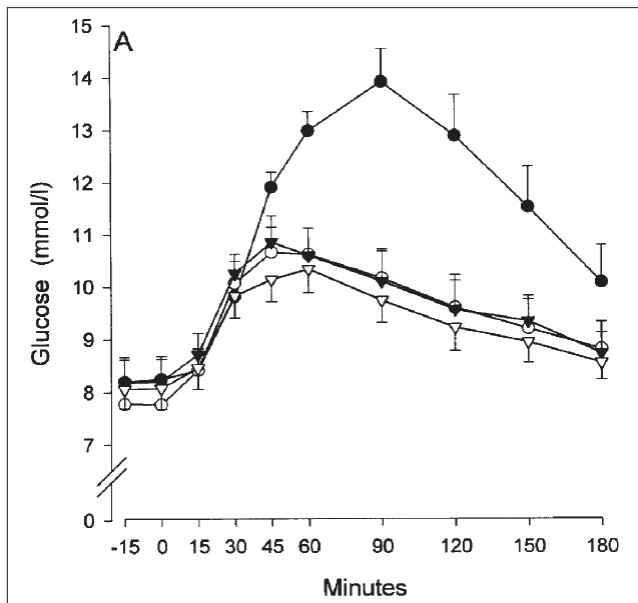
ภาพที่ 3.16 ค่าดัชนีน้ำตาลของตัวอย่างที่ทดสอบ

ที่มา: Casiraghi et al (1993)

ต่อมาในปี 2000 Larsen et al. ทำการทดสอบในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 จำนวน 9 คน โดยการให้บริโภคอาหาร 4 ประเภทคือ ขนมนึ่งขาว ข้าวหุงสุกพันธุ์เดียวกัน (ปริมาณแอมิโลส 27 %) ที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง (Non – Parboiled, NP) ที่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่งแบบดั้งเดิมซึ่งไม่รุนแรง (Traditionally parboiled, TP) และที่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่งด้วยความดันซึ่งรุนแรง (Pressure parboiled, PP) โดยขั้นตอนในการเตรียมข้าวหนึ่ง TP เริ่มจากการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 28 - 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 36 ชั่วโมง นึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 25 - 30 นาที และทำแห้ง

ที่อุณหภูมิห้องปกติ สำหรับการเตรียมข้าวหนึ่ง PP ทำโดยการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 70 - 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง นึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 1.5 บาร์ (1.5×10^5 Pa) เป็นเวลา 12 นาที และเริ่มการทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิห้อง การเปลี่ยนแปลงของระดับปริมาณกลูโคสในพลาสมาและการตอบสนองของอินซูลินในซีรัมภายหลังการบริโภคขนมปังและข้าวหุงสุกทั้ง 3 ตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.16A และ 3.16B ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟการเปลี่ยนแปลงปริมาณกลูโคสและอินซูลินภายหลังการบริโภคข้าวที่ทดสอบมีค่าต่ำกว่าของขนมปัง และตัวอย่างข้าวหนึ่ง PP มีพื้นที่ใต้กราฟการเปลี่ยนแปลงปริมาณกลูโคสต่ำกว่าตัวอย่างข้าว NP แต่ตัวอย่างข้าวทั้งสองชนิดส่งผลต่อการตอบสนองของอินซูลินไม่แตกต่างกัน และจากการคำนวณค่าดัชนีน้ำตาล พบว่า ข้าว NP, ข้าวหนึ่ง TP และ PP มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 55 ± 5 , 46 ± 8 และ 39 ± 6 ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหนึ่ง PP มีค่าต่ำกว่าของข้าว NP เกือบ 30 %

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) แสดงให้เห็นว่า สภาวะการทำข้าวหนึ่งของข้าวหนึ่ง TP ไม่ทำให้ข้าวเกิดการเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ แต่ของข้าวหนึ่ง PP ส่งผลให้ข้าวสุกอย่างสมบูรณ์ นอกจากนั้นยังพบการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส แสดงถึงการเกิดโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและลิพิด แบบที่ 2 ในข้าวทั้งสามชนิด ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสรุปว่าวิธีการทำข้าวหนึ่งไม่มีผลที่เห็นได้ชัดต่อชนิดและปริมาณของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและลิพิด และความแตกต่างของค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวทั้งสามตัวอย่างไม่สามารถอธิบายได้จากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าว การที่ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหนึ่ง PP มีค่าต่ำกว่าของข้าวตัวอย่างอื่นอาจเป็นผลจากการที่โครงสร้างของแอมิโลเพกทินที่เกิดรีโทรเกรดชันยังคงอยู่บางส่วนหลังจากการอุ่นให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง (Larsen et al, 2000)



ภาพที่ 3.17 ปริมาณกลูโคสในพลาสมา (A) และการตอบสนองของอินซูลินในซีรัม (B) ของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ชนิดที่ 2 เมื่อบริโภคอาหาร 4 ประเภท

หมายเหตุ (●): ขนมหิงขาว, NP (○): ข้าวหุงสุกพันธุ์เดียวกันที่ไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง, TP (▼): ที่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่งแบบดั้งเดิมซึ่งไม่รุนแรง, และ PP (▽): ที่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่งด้วยความดันซึ่งรุนแรง

ที่มา: Larsen et al (2000)

Parvin et al (2008) ทำการศึกษาผลของกระบวนการทำข้าวหนึ่ง ปริมาณแอมิโลส และอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของข้าวต่อปริมาณกลูโคสในเลือดและการตอบสนองของอินซูลินในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 พบว่าค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทุกพันธุ์มีค่าต่ำกว่าขนมหิงขาว และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหนึ่งพันธุ์ที่มีแอมิโลสสูง (50 ± 7) มีค่าต่ำกว่าข้าวหนึ่งพันธุ์ที่มีแอมิโลสต่ำ (71 ± 5) ส่วนค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหนึ่งพันธุ์ที่มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันสูง (50 ± 7) และต่ำ (47 ± 4) ไม่มีความแตกต่างกัน รวมทั้งค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการหนึ่ง (52 ± 7) มีค่าไม่แตกต่างกับข้าวหนึ่งพันธุ์เดียวกัน (50 ± 7) จึงสรุปว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวหนึ่ง คือ ปริมาณแอมิโลส ส่วนอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของข้าวและกระบวนการทำข้าวหนึ่งไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาล ดังแสดงใน (ตารางที่ 3.12)

ตารางที่ 3.12 ปริมาณกลูโคสในเลือด และการตอบสนองของอินซูลินในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 หลังการบริโภคอาหารที่ทดสอบ

ค่าที่วิเคราะห์	ขนมปังขาว	ข้าวพันธุ์ BR16	ข้าวหนึ่งพันธุ์ BR16	ข้าวหนึ่งพันธุ์ BR25	ข้าวหนึ่งพันธุ์ BR32
พื้นที่ใต้กราฟการเปลี่ยนแปลง ของน้ำตาลกลูโคส (mmol/L*180min)	756 ± 65a	411 ± 77b	391 ± 69b	566 ± 81c	361 ± 48b
ค่าดัชนีน้ำตาล พื้นที่ใต้กราฟการเปลี่ยนแปลง ของอินซูลิน (u/mL*180min)	100a	52 ± 7b	50 ± 7b	71 ± 5c	47 ± 4b
	20184 ± 1643	1078 ± 1268	12811 ± 1505	16125 ± 2983	13011 ± 1949

ที่มา: Parvin et al (2008)

Marsano and Topping (1993) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชในข้าวกล้อง และข้าวขาวจากข้าว 3 พันธุ์ คือ Calrose, Doongara และ Waxy ทั้งที่เป็นข้าวดิบและข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งพบว่ากระบวนการทำข้าวหนึ่ง ทำให้ปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชสูงขึ้น ดังรายละเอียด (ตารางที่ 3.13)

ตารางที่ 3.13 ปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชในข้าวดิบและข้าวหนึ่งพันธุ์ Calrose, Doongara และ Waxy (กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)

พันธุ์	ข้าวขาวดิบ	ข้าวขาวหนึ่ง	ข้าวกล้องดิบ	ข้าวกล้องหนึ่ง
Calrose	0.6 (0.1)	1.3 (0.1)	1.2 (0.1)	1.9 (0.1)
Doongara	1.2 (0.1)	1.7 (0.1)	1.0 (0.0)	1.6 (0.0)
Waxy	0.0 (0.0)	0.4 (0.0)	0.0 (0.0)	0.1 (0.0)

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± 3 S.D.

ที่มา: ดัดแปลงจาก Marsano and Topping (1993)

3.2.3 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวหนึ่ง

ในปี 2004 (Khatoon and Gopalakrishna) วิเคราะห์ปริมาณโทโคเฟอรอลและโทโคไทรอินอลในข้าวกล้องพันธุ์บาสมัติ (Basmati), จายา (Jaya) และข้าวกล้องหนึ่งทางการค้า พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องหนึ่งทางการค้ามีปริมาณโทโคเฟอรอลรวมต่ำมาก คือ 2.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และวิเคราะห์ไม่พบโทโคไทรอินอล แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำข้าวหนึ่งมีผลทำให้ปริมาณวิตามินอีลดลงอย่างมาก (ตารางที่ 3.14) แต่จากการวิเคราะห์ปริมาณแกมมา-ออริซานอลในตัวอย่างข้าวทั้งสามชนิด พบว่ากระบวนการทำข้าวหนึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแกมมา - ออริซานอล (ตารางที่ 3.15)

ตารางที่ 3.14 ปริมาณโทโคเฟอร์รอล และโทโคไทรอินอลของแป้งข้าวก้าว

แป้งข้าว	โทโคเฟอร์รอล (ppm)				โทโคไทรอินอล (ppm)			
	α	$\beta + \gamma$	δ	ทั้งหมด	α	$\beta + \gamma$	δ	ทั้งหมด
ข้าวก้าวบาสมาติ	12.09	14.41	4.69	31.19	21.38	1.96	2.65	25.99
ข้าวก้าวจายา	9.92	12.11	4.20	26.23	0.77	1.52	1.57	3.86
ข้าวก้าวหนึ่ง	0.74	0.99	0.45	2.18	ND	ND	ND	ND
น้ำมันรำข้าว	97	342	29	468	22	1117	48	1188

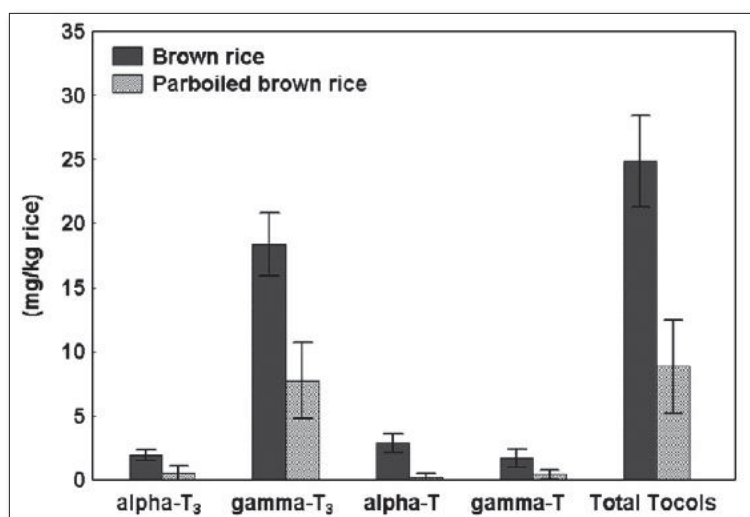
ที่มา: ดัดแปลงจาก Khatoon and Gopalakrishna (2004)

ตารางที่ 3.15 ปริมาณออร์ไชนอลของข้าวบาสมาติ ข้าวจายา และข้าวหนึ่ง

ตัวอย่าง	ออร์ไชนอล (ppm)			
	น้ำมัน		แป้ง	
	ข้าวก้าว	ข้าวสาร	ข้าวก้าว	ข้าวสาร
ข้าวบาสมาติ	10,700 $\pm$ 300	6,300 $\pm$ 100	620 $\pm$ 120	120 $\pm$ 10
ข้าวจายา	14,000 $\pm$ 170	5,700 $\pm$ 200	420 $\pm$ 10	70 $\pm$ 10
ข้าวหนึ่ง	13,300 $\pm$ 600	4,500 $\pm$ 400	500 $\pm$ 30	100 $\pm$ 10

ที่มา: ดัดแปลงจาก Khatoon and Gopalakrishna (2004)

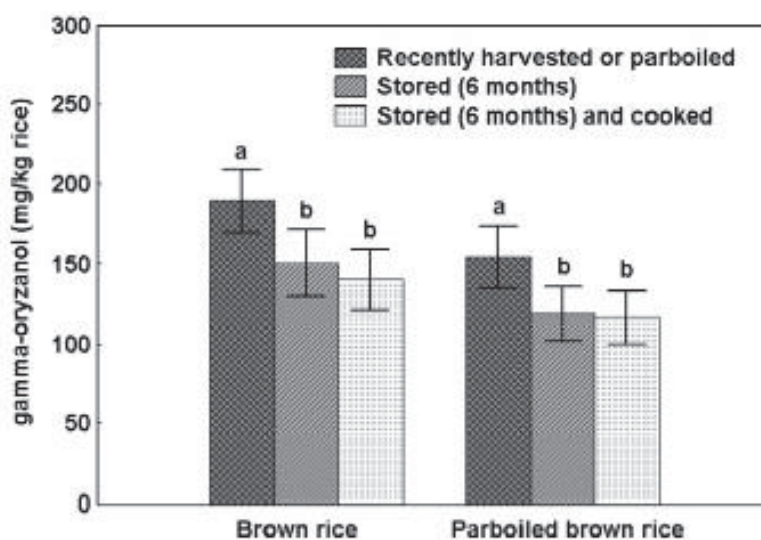
จากงานวิจัยของ Pascual et al. (2013) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำข้าวหนึ่งมีผลต่อการสูญเสียของวิตามินอีเฉลี่ยประมาณ 60 % เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณตั้งต้น โดยเฉพาะแอลฟา-โทโคเฟอร์รอล (α - tocopherol) ซึ่งมีความไม่คงตัวมากที่สุด จึงเกิดการสูญเสียสูงถึง 93 % เมื่อเทียบกับปริมาณที่มีในตอนต้น ก่อนผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง ส่วนชนิดที่ได้รับผลกระทบน้อยที่สุด คือ แกมมา-โทโคไทรอินอล (γ - tocotrienol) ซึ่งมีปริมาณลดลงจากตอนเริ่มต้นประมาณ 60 % และวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นสุดท้ายได้เท่ากับ 7.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับวิตามินอีในรูปแบบอื่น ๆ มีปริมาณรวมกันคิดเป็น 10 % ของวิตามินอีทั้งหมดในข้าวก้าวหนึ่ง ดังแสดงใน (ภาพที่ 3.18)



ภาพที่ 3.18 แอลฟา-โทโคโทรอินอล, แกมมา - โทโคโทรอินอล, แอลฟา - โทโคเฟอรอล, แกมมา - โทโคเฟอรอล และวิตามินอีทั้งหมดในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่ง

ที่มา: Pascual et al. (2013)

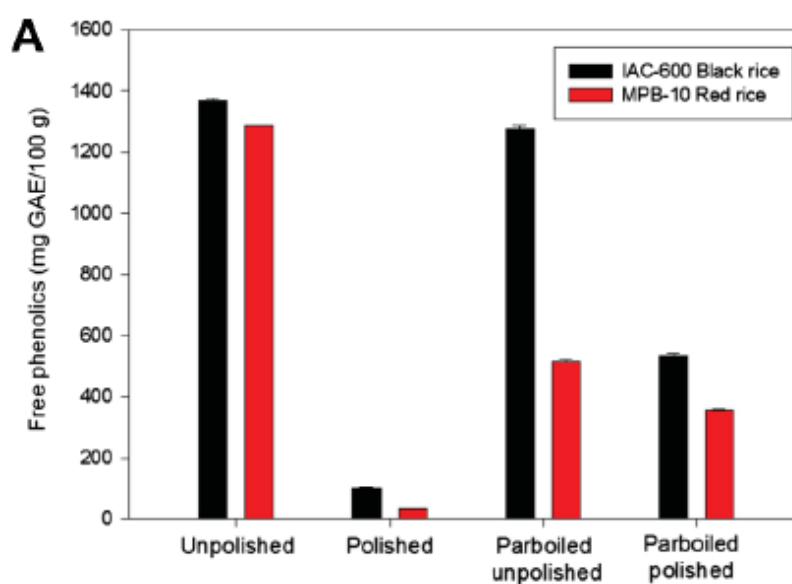
จากการวิเคราะห์ข้าวจำนวน 27 ตัวอย่างในงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่า กระบวนการทำข้าวหนึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียแกมมา - ออริซานอลเฉลี่ย 20 % (ภาพที่ 3.19)



ภาพที่ 3.19 ปริมาณแกมมา - ออริซานอลในข้าวกล้องและข้าวกล้องนึ่ง เริ่มต้นหลังการเก็บรักษานาน 6 เดือน และหลังการหุงต้มเมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน

ที่มา: Pascual et al. (2013)

กระบวนการทำข้าวหนึ่งในงานวิจัยของ Paiva et al (2016) ดังรายละเอียดที่กล่าวในตอนต้นส่งผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกอิสระในข้าวกล้องดัดแปลง 6.7 % ส่วนในข้าวกล้องแดงลดลงมากกว่า คือ 59.9 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟีนอลิกอิสระในส่วนเพอริคาร์พของข้าวแดงมีการสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ในการแช่ได้มากกว่าข้าวดำ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวขัดสีที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่ง พบว่าปริมาณฟีนอลิกอิสระในข้าวขัดสีทั้งข้าวแดงและข้าวดำที่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่งมีปริมาณสูงกว่าข้าวขัดสีที่ไม่ผ่านกระบวนการหนึ่ง 9.9 และ 4.3 เท่า ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า กระบวนการทำข้าวหนึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟีนอลิกอิสระจากชั้นเพอริคาร์พเข้าสู่ชั้นในของเมล็ดข้าว จึงป้องกันการสูญเสียสารดังกล่าวในระหว่างกระบวนการขัดสีได้ (ภาพที่ 3.20)



ภาพที่ 3.20 ผลของการขัดสีและกระบวนการทำข้าวหนึ่งต่อปริมาณฟีนอลิกอิสระในข้าวแดงและข้าวดำ

ที่มา: Paiva et al (2016)

3.2.4 การเติมสารอาหารในข้าวหนึ่ง

กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งในอดีตที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะไม่ได้มีการเติมสารอาหารเข้าไป เนื่องจากในการผลิตข้าวหนึ่งจะมีกระบวนการแช่ข้าวซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้สารอาหารที่อยู่บริเวณเปลือกและรำ สามารถละลายน้ำและแพร่ผ่านเข้าไปในเมล็ดข้าวได้ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในระยะเวลามาก่อน พบว่ากระบวนการข้าวหนึ่งสามารถเติมสารอาหารรอง (Micronutrient) ลงไปได้ โดยสารอาหารรองที่นิยมเติมลงไป คือ ธาตุเหล็ก, สังกะสี, ไอโอดีน, วิตามินเอ, ไขมันและกรดโฟลิก เป็นต้น โดยการที่มีแนวคิดในการเติมสารอาหารรองลงในข้าวหนึ่งมีสาเหตุมาจากประชากรที่บริโภคข้าวหนึ่งส่วนใหญ่เป็นประเทศกำลังพัฒนา เช่น อินเดีย, บังกลาเทศ, ศรีลังกาและประเทศไทย (Bhattacharya, 2004) ซึ่งประชากรส่วนใหญ่มักขาดสารอาหาร เช่น การขาดธาตุเหล็กซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง, การขาดธาตุสังกะสีจะส่งผลให้ภูมิคุ้มกันโรคบกพร่อง ทำให้ติดเชื้อโรคได้ง่ายและยับยั้งการเจริญเติบโตของเด็ก และการขาดสารอาหารโฟเลตในผู้หญิงที่ตั้งครรภ์ซึ่ง

ส่งผลต่อการพัฒนาในส่วนของสมองและการเจริญเติบโตของทารก ดังนั้นนักวิจัยจึงได้ทำการวิจัยเติมสารอาหารต่างลงไปเพื่อพัฒนาให้ข้าวนี้มีคุณภาพที่ดีขึ้น

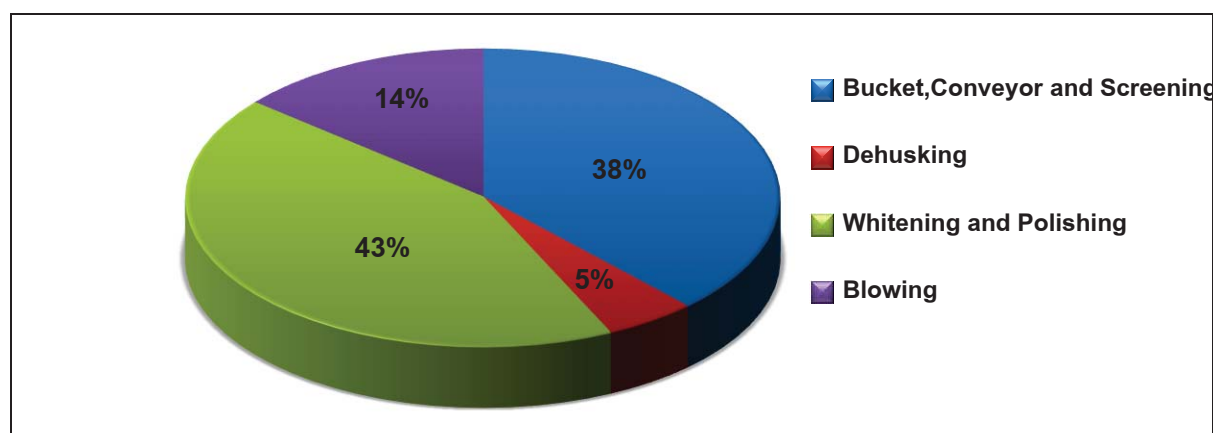
ในการศึกษาการเติมสารอาหารประเภทธาตุเหล็กของ Prom-u-thai *et al.*(2008) โดยทำการนำข้าวเปลือกจำนวน 150 กรัมไปแช่ลงในน้ำจำนวน 150 มิลลิลิตร ซึ่งในน้ำที่แช่จะมีการเติม Sulfate (FeSO_4) และ Ethylenediaminetetra - Acetic acid disodium salt (Na_2EDTA) ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำไปนึ่งที่ความดัน 2.29 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาทีและนำไปอบแห้งจนกระทั่งปริมาณความชื้นลดลงเหลือประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก พบว่าปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่เติมลงในข้าวหนึ่งจะมีค่าสูงกว่าข้าวหนึ่งปกติจำนวน 20 - 50 เท่า นอกจากนี้ Prom - U - Thai *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาการเติมสารอาหารประเภทสังกะสีเพิ่มเติมโดยใช้ข้าวเปลือกสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 1 จำนวน 200 กรัม ลงไปแช่ในน้ำซึ่งมีการเติมสังกะสีจำนวน 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 มิลลิกรัมสังกะสีต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 119 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที ภายใต้อากาศความดัน 0.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และนำไปอบแห้งจนกระทั่งปริมาณความชื้นลดลงเหลือประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก พบว่าข้าวหนึ่งที่ทำการขัดสีจะมีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในช่วง 23.5 - 78.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณมากกว่าข้าวหนึ่งปกติที่มีความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในช่วง 16.1 - 17.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากการศึกษาของ Kam (2012) เรื่องการเติมกรดฟอลิก ซึ่งมีส่วนช่วยในการป้องกันความผิดปกติของพัฒนาการสมองและไขสันหลังในข้าวหนึ่ง โดยเริ่มต้นทำการกะเทาะเปลือกข้าวให้เป็นข้าวกล้อง และนำไปแช่ลงในน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง โดยในน้ำที่ใช้แช่ข้าวเปลือกจะเติมปริมาณกรดฟอลิกจำนวน 4 ระดับ คือ 0.5, 0.3, 0.6 และ 1.2 กรัมต่อข้าวกล้อง 300 กรัมหลังจากนั้นจึงนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการแช่ไปนึ่งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงแล้วจึงนำข้าวเปลือกไปวางในห้องอบแห้งที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งปริมาณความชื้นเหลือ 12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก พบว่าจะมีปริมาณความเข้มข้นของกรดฟอลิกคงเหลืออยู่ประมาณ 20 - 300 มิลลิกรัมของกรดฟอลิกต่อกรัม ในส่วนของปริมาณร้อยละต้นข้าว เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้าวหนึ่งที่เป็นตัวอย่างควบคุมพบว่าข้าวหนึ่งที่เป็นตัวอย่างควบคุมจะมีค่าร้อยละต้นข้าว 66.4 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการขัดสี 60 วินาที ในขณะที่ข้าวหนึ่งที่ทำการเติมกรดฟอลิกจะมีค่าร้อยละต้นข้าวอยู่ในช่วง 65.5 - 66.8 เปอร์เซ็นต์

3.3 การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสีข้าวหนึ่งสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า และความร้อนร่วมในประเทศไทย

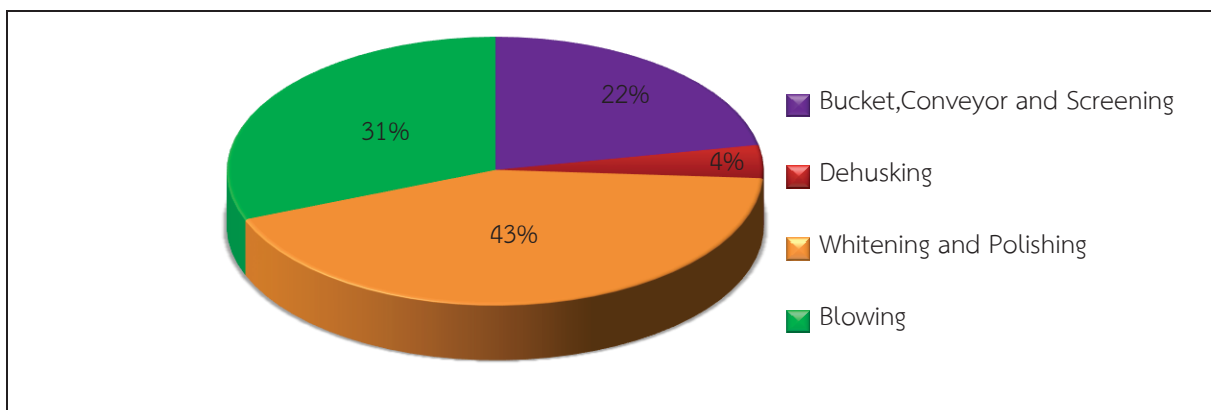
อุตสาหกรรมการผลิตข้าวหนึ่งจัดว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้พลังงานมาก สำหรับเนื้อหาส่วนนี้เป็นข้อมูลจากการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง กับปริมาณการใช้พลังงานในโรงสีข้าวหนึ่ง ทั้งในส่วนของพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงสีข้าวหนึ่งที่มีระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์สำหรับทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ในการที่จะได้เห็นภาพรวมของการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนของการผลิตข้าวหนึ่ง ทราบศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้า และความร้อนร่วมของโรงสีข้าวหนึ่งในประเทศไทย เพื่อการวางแผนนโยบายพลังงานการวิเคราะห์ต้นทุนพลังงาน การวิจัยและพัฒนาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพเชิงพลังงานของอุตสาหกรรมการผลิตข้าวหนึ่งต่อไป

ในปี พ.ศ. 2537 ประเทศไทยมีโรงสีข้าวหนึ่งที่มีอัตราการสีข้าวเกินกว่าวันละ 100 ตันข้าวเปลือกจำนวน 52 โรง ซึ่งในโรงสีข้าวหนึ่งจะใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากไอน้ำ โดยที่ความร้อนจากไอน้ำจะใช้ในกระบวนการแช่ข้าว, หนึ่งข้าว และการอบแห้งข้าวเปลือก แต่ในกระบวนการอบแห้งนี้อาจจะใช้ความร้อนจากไอเสียของหม้อไอน้ำเข้ามาร่วมด้วย และเพื่อลดต้นทุนในการผลิตโรงสีที่ผลิตข้าวหนึ่งส่วนใหญ่จึงใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ และเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง จากการศึกษาการใช้พลังงานในโรงสีข้าวหนึ่งจำนวน 2 โรง ซึ่งมีอัตราการผลิตข้าวหนึ่งประมาณวันละ 250 ตันข้าวเปลือกของวรรณและคณะ (2542) พบว่าในการสำรวจการผลิตข้าวหนึ่งจะต้องใช้พลังงาน 2 ชนิด คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ซึ่งในโรงสีข้าวหนึ่งที่ 1 และ 2 จะใช้พลังงานไฟฟ้า 129 และ 138 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือกตามลำดับ (ภาพที่ 3.21 และ 3.22) (สาณัฐ, 2545)



ภาพที่ 3.21 เปอร์เซนต์การใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการสีข้าวหนึ่งของโรงสีที่ 1

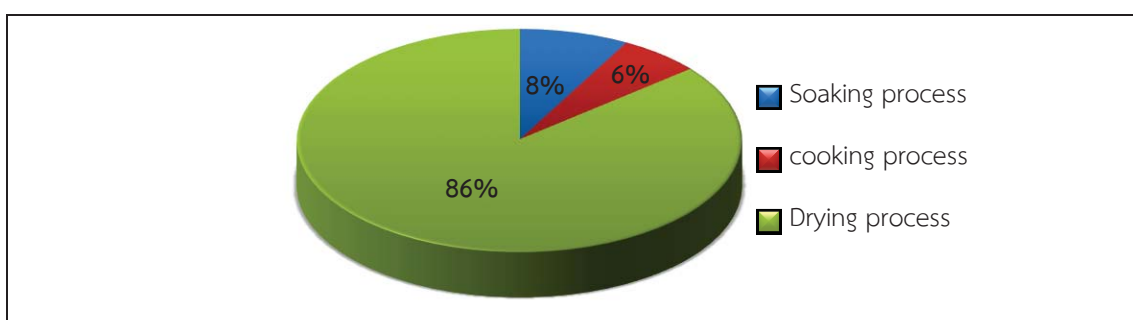
ที่มา: สาณัฐ (2545)



ภาพที่ 3.22 เปอร์เซนต์การใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการสีข้าวหนึ่งของโรงสีที่ 2

ที่มา: สานิฐ (2545)

ในโรงสีทั้ง 1 และ 2 จะมีหม้อไอน้ำโรงละ 5 ลูก ผลิตไอน้ำรวมในช่วง 10-12 ตันต่อชั่วโมง ที่ความดัน 10 บาร์ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยใช้กลบเป็นเชื้อเพลิง ในส่วนของไอน้ำที่ผลิตได้จะแบ่งนำไปใช้ 3 ส่วน คือ กระบวนการแช่ข้าว, กระบวนการนึ่งข้าว และกระบวนการอบแห้ง โดยเริ่มต้นนำข้าวเปลือกลงในถังแช่ข้าวที่มีอุณหภูมิ 60 - 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 - 6 ชั่วโมง จนกระทั่งเมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณ 34 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก หลังจากนั้นจึงนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการแช่ไปนึ่งโดยใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 100 - 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาเวลา 30 นาที และนำไปทำการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งบางส่วนและใช้วิธีตากกลางแจ้งด้วยแสงแดดเพื่อลดความชื้นจาก 34 เปอร์เซนต์ให้เหลือ 14 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก จากการสำรวจพบว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการแช่ข้าว, กระบวนการนึ่งข้าว และกระบวนการอบแห้ง จะมีค่า 196, 150 และ 2,412 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก (ภาพที่ 3.23) ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการแช่ นึ่ง อบแห้งและสีข้าวของโรงสีที่ 1 และ 2 จะใช้พลังงานประมาณ 238 และ 230 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก



ภาพที่ 3.23 เปอร์เซนต์การใช้ปริมาณพลังงานความร้อนในกระบวนการแช่ นึ่ง และอบแห้ง ข้าวหนึ่งของโรงสีที่ 1 และ 2

ที่มา: สานิฐ (2545)

จากการวิเคราะห์พบว่า การใช้พลังงานความร้อนในส่วนของกระบวนการแช่ข้าวและนึ่งข้าว ซึ่งใช้พลังงานความร้อนไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้ง สามารถประหยัดพลังงานในส่วนนี้ได้โดย

การหุ้มฉนวนอุปกรณ์ความร้อนทั้งหมด แต่ในส่วนของการอบแห้งพบว่าใช้พลังงานความร้อนสิ้นเปลืองมาก ซึ่งสามารถประหยัดได้โดยออกแบบอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับความต้องการความร้อน ซึ่งจะประหยัดพลังงานความร้อนได้ดีกว่าปล่อยไอน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นจำนวนมากซึ่งทำให้สูญเสียพลังงานในส่วนไอน้ำที่ปล่อยออกไป

การวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าของโรงสีข้างนี้ 52 โรง ที่ผลิตไฟฟ้าใช้จากระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมใช้อุปกรณ์ระบบกังหันไอน้ำและใช้เชื้อเพลิงแกลบที่ผลิตได้ภายในโรงสีทั้งหมด (ตารางที่ 3.16) พบว่าผลิตไฟฟ้าได้รวมทั้งสิ้น 40 เมกะวัตต์ โดยนำไปใช้ภายในโรงสี 27 เมกะวัตต์ หรือ 67.5 เปอร์เซ็นต์และเหลือใช้ 13 เมกะวัตต์ หรือ 32.5 เปอร์เซ็นต์ของไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด ในส่วนของปริมาณความร้อนจะใช้พลังงานความร้อนประมาณ 1,019 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก โดยนำไอน้ำมาใช้หลังจากออกกังหันไอน้ำที่ความดัน 10.3 บาร์ จาก Turbodyne steam turbine ผลิตความร้อนได้รวมทั้งสิ้น 5.78×10^9 เมกะจูลต่อปี

ตารางที่ 3.16 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์ระบบกังหันไอน้ำ และเชื้อเพลิงแกลบภายในโรงสีทั้งหมด

Cogeneration	Steam Turbine	Steam Turbine	Steam Turbine
Mill capacity (Ton/day)	(Back Pressure)	(Back Pressure)	(Back Pressure)
Number of plant (Mill)	100 - 199	200 - 299	300 - 500
Cogeneration capacity (kW)	28	15	9
	543	897	1,287
Average mill capacity (ton/day/mill)	135	223	320
Risk husk production (ton/day/mill)	34	56	80
Operating day (day/year)	270	270	270
Heat to power ratio (process)	4.40	4.40	4.40
Designed steam mass flow rate (kg/hr)	4,844	8,002	11,483
Inlet steam pressure (bar, a)	50	50	50
Inlet steam temperature(°C)	450	450	450
Electricity consumption (kWh/ton paddy)	66	66	66
Electricity consumption (MJ/ton paddy)	238	238	238
Generated electricity (kW/mill)	543	897	1,287
Electricity demand (kW/mill)	15	13	12
Generated electricity (MW)	371	613	880
Excess electricity (kW/mill)	172	284	407
Total electricity demand (MW)	10	9	8
Total excess electricity (MW)	5	4	4
Heat consumption (MJ/ton paddy)	283	283	283
Heat consumption (kWh/ton paddy)	1,019	1,019	1,019
Annual generated (TJ/year/mill)	83	138	197
Heat consumption (TJ/year/mill)	37	61	88
Excess heat (TJ/year/mill)	46	76	109
Excess heat (TJ/year)	1,291	1,143	984
Total heat consumption (TJ/year)	1,040	920	792
Total annual generated heat (TJ/year)	2,331	2,063	1,776

ที่มา: วรณิและคณะ (1997)

จากรายงานทั้งหมดในส่วนการประมวลข้อความรู้จากงานวิจัยด้านกระบวนการผลิตนี้ กล่าวโดยย่อได้ว่า ปัจจัยภายใน ได้แก่ เม็ดสี น้ำตาลรีดิวซ์ และกรดอะมิโนของข้าวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสีของข้าวหนึ่ง ขณะที่จากผลการวิจัยยังมีความขัดแย้งกันอยู่ในเรื่องของอิทธิพลของปริมาณแอมิโลสต่อสีของข้าวหนึ่ง สำหรับปัจจัยภายนอก พบว่าสภาวะการแช่ข้าว สภาวะการนึ่งข้าว และการอบแห้ง ล้วนมีผลต่อสีของข้าวหนึ่ง และยังพบอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าว และสภาวะการนึ่งต่อการเปลี่ยนสีของข้าวหนึ่งอีกด้วย โดยค่าดังกล่าวสูงขึ้นหากใช้สภาวะหนึ่งที่รุนแรงเพิ่มขึ้น ขณะที่ปัจจัยภายใน ได้แก่ ปริมาณแอมิโลส ไขมัน และระดับความเป็นผลึกของสตาร์ชที่สูง และปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิการแช่ข้าวและสภาวะความรุนแรงในการนึ่งข้าวที่สูง และระดับความชื้นข้าวหนึ่งหลังอบแห้งที่ต่ำ ส่งผลให้ข้าวมีอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชันสูง มีเนื้อสัมผัสแข็ง หุงแล้วเมล็ดร่วน ไม่เกาะติดกัน และความรุนแรงดังกล่าวขึ้นกับพันธุ์ข้าวและระดับแอมิโลส นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการผลิตข้าวหนึ่งลดความเป็นท้องไขของข้าวได้ และหากมีการปรับระดับความชื้นระหว่างปริมาณน้ำที่ผิวและใจกลางเมล็ดข้าวให้มีความต่างก็น้อย จะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ตันข้าวสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าความดันไอน้ำและปริมาตรจำเพาะของไอน้ำที่ใช้หนึ่งข้าวในสภาวะเดียวกัน ส่งผลต่อร้อยละตันข้าวของข้าวแอมิโลสสูงต่างพันธุ์กัน แตกต่างกันไป

สำหรับปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกสำคัญที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหนึ่ง คือ พันธุ์ข้าวและกระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง โดยพันธุ์ข้าวมีผลให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี และแอมิโลสต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณแร่ธาตุและวิตามิน และค่าดัชนีน้ำตาลต่างกัน สำหรับปัจจัยภายนอก พบว่ากระบวนการทำข้าวหนึ่งทำให้ปริมาณวิตามินอีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของแต่ละขั้นตอนในการทำข้าวหนึ่งพบว่า กระบวนการแช่ข้าวมีผลทำให้สูญเสียสารอาหารที่ละลายน้ำได้ แต่ขณะเดียวกันเป็นขั้นตอนที่เกิดการแพร่ของสารอาหารเคลื่อนตัวจากเปลือกและผิวด้านนอกเข้าสู่เนื้อในเมล็ดข้าว ส่งผลให้ข้าวหนึ่งหลังการขัดสีมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขัดขาวโดยเฉพาะแร่ธาตุ ทั้งนี้การควบคุมสภาวะในระหว่างกระบวนการนึ่งและการทำแห้งให้เป็นไปตามที่กำหนด สามารถเพิ่มปริมาณรีซิสแทนซ์สตาร์ชและลดค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหนึ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณสารอาหารในข้าวหนึ่งได้ โดยเติมสารอาหาร ได้แก่ ธาตุเหล็ก สังกะสี และกรดโฟลิก ในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว

ผลการรวบรวมข้อมูลด้านการใช้พลังงานพบว่า อุตสาหกรรมการผลิตข้าวหนึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้พลังงานมาก โดยกระบวนการที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คือ กระบวนการขัดสีเมล็ดข้าว ส่วนกระบวนการที่สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนมากที่สุด คือ กระบวนการอบแห้ง อย่างไรก็ตามเนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตข้าวหนึ่ง มีเกลบเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลที่สามารถนำมาใช้เผาไหม้เพื่อผลิตพลังงานความร้อนได้เป็นอย่างดี ซึ่งพลังงานความร้อนดังกล่าวสามารถนำมาใช้ผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตของโรงสี รวมทั้งใช้ไอน้ำดังกล่าวสำหรับกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งที่ใช้ความร้อน นอกจากนี้จากข้อมูลยังแสดงให้เห็นว่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เกลบในโรงสีข้าวหนึ่งยังมีเหลือจากการใช้ประโยชน์ภายในโรงสี และสามารถนำพลังงานส่วนที่เหลือดังกล่าวไปผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายให้แก่การไฟฟ้าฯ ซึ่งจะเป็นรายได้เสริมให้กับโรงสีข้าวหนึ่งได้ต่อไปอีกด้วย

3.4 ข้อสังเกตโดยสรุป

คุณภาพของข้าวหนึ่งมีหลายมิติ และสามารถจำแนกได้เป็น คุณภาพด้านสี ลักษณะปรากฏ เบอร์เซ็นต์ การแตกหักหลังจากการขัดสี เนื้อสัมผัส คุณภาพการหุงต้ม คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับของผู้บริโภค โดยคุณภาพข้าวหนึ่ง ถูกควบคุมจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมี การจัดเรียง โครงสร้างโมเลกุล และสารประกอบเชิงซ้อนของข้าว และพันธุ์ข้าว ปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาพที่ใช้ใน กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง วิธีการหุงต้มข้าวหนึ่ง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว โดยอิทธิพลของแต่ละ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวหนึ่งมีความซับซ้อนและแยกออกจากกันยาก หากกล่าวโดยย่อกล่าวได้ว่า ปัจจัย ภายใน ได้แก่ เม็ดสี น้ำตาลรีดิวซ์ และกรดอะมิโนของข้าวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสีของข้าวหนึ่ง สำหรับปัจจัย ภายนอก พบว่าสภาวะการแช่ข้าว สภาวะการนึ่งข้าว และการอบแห้งที่รุนแรงเพิ่มขึ้น รวมถึงปฏิสัมพันธ์ ระหว่างพันธุ์ข้าวและสภาวะการนึ่งล้วนมีผลต่อสีของข้าวหนึ่ง สำหรับปัจจัยภายใน ได้แก่ ปริมาณแอมิโลส ไขมัน และระดับความเป็นผลึกของสตาร์ชที่สูง และปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิการแช่ข้าวและสภาวะความ รุนแรงในการนึ่งข้าวที่สูง และระดับความชื้นข้าวหนึ่งหลังอบแห้งที่ต่ำ ส่งผลให้ข้าวมีเนื้อสัมผัสแข็ง หุงแล้วเมล็ด ร่วน ไม่เกาะติดกัน และความรุนแรงดังกล่าวขึ้นกับพันธุ์ข้าวและระดับแอมิโลส ทั้งนี้กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง ลดความเป็นท้องไขของข้าวได้ และหากมีการปรับระดับความชื้นระหว่างปริมาณน้ำที่ผิวและใจกลางเมล็ดข้าว ให้มีความต่างกันน้อย จะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ตันข้าวสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าความดันไอน้ำและปริมาตร จำเพาะของไอน้ำที่ใช้ในข้าวในสภาวะเดียวกัน ส่งผลต่อร้อยละตันข้าวของข้าวแอมิโลสสูงต่างพันธุ์กัน แตกต่าง กันไป สำหรับปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหนึ่ง คือ พันธุ์ข้าวและกระบวนการผลิตข้าว หนึ่ง โดยพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมี เช่น แร่ธาตุและวิตามินที่แตกต่างกัน ได้ รวมทั้งปริมาณแอมิโลสในข้าวแต่ละพันธุ์ ซึ่งข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสสูงส่งผลให้ข้าวหนึ่งมีค่าดัชนีน้ำตาล ต่ำ เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน อย่างไรก็ตามแต่ละขั้นตอนของการผลิตข้าวหนึ่งส่งผลทำให้เกิดการ สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ กล่าวคือ ในขั้นตอนการแช่น้ำมีการสูญเสียสารอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น วิตามิน แร่ธาตุ และโปรตีน แต่ในขณะเดียวกันเกิดการเคลื่อนที่ของสารอาหารเหล่านี้จากเปลือกและผิวด้าน นอกเข้าสู่เนื้อในของเมล็ดข้าว จึงทำให้ข้าวหนึ่งหลังการขัดสีมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวขัดขาวโดยเฉพาะ แร่ธาตุ ส่วนขั้นตอนการนึ่งและการทำแห้ง หากใช้สภาวะที่ให้ความร้อนค่อนข้างรุนแรงจนสตาร์ชเกิดเจลลิ่งใน เซลล์อย่างสมบูรณ์ และเก็บรักษาหรือทำแห้งในสภาวะที่ทำให้เกิดรีโทรเกรดชันได้เหมาะสม จะทำให้ข้าวหนึ่งมี ปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชสูงขึ้นและค่าดัชนีน้ำตาลลดลง แต่กระบวนการทำข้าวหนึ่งมีผลต่อการลดลงของ ปริมาณวิตามินอีอย่างมาก สำหรับการศึกษาเรื่องการเติมสารอาหารในข้าวหนึ่ง พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณธาตุ เหล็ก สังกะสี และกรดโฟลิกในข้าวหนึ่งได้ โดยทำให้เกิดการแพร่ของสารเหล่านี้ในระหว่างกระบวนการแช่ข้าว

นอกจากนี้ข้อมูลด้านการใช้พลังงานรวมถึงการคำนวณสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งในประเทศไทยพบว่า อุตสาหกรรมการผลิตข้าวหนึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการใช้ พลังงานมาก โดยกระบวนการที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คือ กระบวนการขัดสีเมล็ดข้าว ส่วนกระบวนการที่ สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนมากที่สุด คือ กระบวนการอบแห้ง

เอกสารอ้างอิง (3)

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2552. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมสีข้าวหนึ่ง. สำนักพิมพ์ ดี เอ็ม พรินต์ติ้ง จำกัด. กรุงเทพมหานคร.
- เฉลิมพร เอี่ยมมี. 2546. การรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่งสำหรับข้าวหอม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์. 2543. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไรซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย, สาคร นันทะวิชัย, ญัฐา เลหากุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. 2553. ผลของควมดันและระยะเวลาในการนึ่งต่อคุณภาพข้าวหนึ่งพันธุ์สุพรรณบุรี 1. ในการประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 41 ประจำปี 2553: ชัยเคลื่อนงานวิจัยข้าวไทยสู่นวัตกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- นิภาดา ราธมีชัย, พนิดา บุญฤทธิ์ธำชัย, อภิรดี อุทัยรัตนกิจ และทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. 2013. สภาพการนึ่งและการนึ่งต่อสีข้าวหนึ่งพันธุ์ กข 41. Agricultural Science Journal. 44 (2) (Suppl.):489-492.
- น้ำฝน ศิตจิตต์ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2546. กระบวนการผลิตข้าวเปลือกหนึ่งระดับห้องปฏิบัติการ. น. 36-44. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพมหานคร.
- วาทัญญู รอดประพัฒน์. 2547. การพัฒนาเครื่องต้นแบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไรซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งรวมกระบวนการผลิตของการนึ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วรรณิ เอกศิลป์, สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ และอภิชาติ เทอดโยธิน. 2542. การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสีข้าวขาวและข้าวหนึ่งสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในประเทศไทย. Rangsit University Engineering Journal. 1(2): 17-25.
- สาณัฐ อุตตศาสตร์. 2545. ศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในโรงสีข้าวหนึ่งในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุนัน ปานสาคร, จตุรงค์ ลังกาพันธ์, ธาณินทร์ การภักดี และณพวีร์ พุ่มโต. 2546. โครงการการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตข้าวหนึ่งจากข้าวกล้อง. รายงานวิจัยของสกว. สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติ. สุพรรณบุรี.
- สุพรรณิ สุวรรณประภา, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม, ศันสนีย์ จำจด และ ชนาภานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย. 2013. ผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวและสภาพการนึ่งต่อคุณภาพทางโภชนาการของข้าวหนึ่ง. KHON KAEN Agricultural Journal. 41(4): 383-392.

- เอกรินทร์ โปษกรณัฐ. 2545. การอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชด์เบด. วิทยานิพนธ์
มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมคิด โฆษิตพันธุ์. 2549. อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิของการแช่ที่มีผลต่อการผลิตข้าวหนึ่งโดยใช้
เทคนิคฟลูอิดเซชันที่ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี.
- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์ และสมเกียรติ ปรัชญาวรรการ. 2547. เทคนิคใหม่การผลิต
ข้าวหนึ่ง. วารสารราชบัณฑิตยสถาน. ปีที่ 29 ฉบับ วันที่ 1 ม.ค.-มี.ค. 2547, หน้า 78-85.
- Adhikaritanayake, T. B. and A. Noomhorm. 1998. **Effect of Continuous Steaming on
Parboiled Rice Quality.** Journal of Food Engineering. 36: 135-143.
- Alary, R., Laignelet, B. and Feillet, P. 1977. **Effects of amylose content on some
characteristics of parboiled rice.** J. Agric. Food Chem., 1977, 25 (2): pp 261–264
- Ali, S. Z. and K. R. Bhattacharya. 1980. **High-Temperature Drying-Cum-Parboiling of Paddy.**
Journal of Food Process Engineering. 4: 123-136.
- Bhattacharya, S. and P. V. S. Rao. 1966. **Effect of Processing Conditions on Quality of
Parboiled Rice.** Journal of Agricultural Food Chemistry. 14: 476-479.
- Bhattacharya, S. 1996. **Kinetics on colour changes in rice due to parboiling.** Journal of
Food Engineering Volume 29, Issue 1: Pages 99-106
- Bhattacharya, K.R. 2011. **Rice Quality: A Guide to Rice Properties and Analysis.** Woodhead
Publishing Limited, Philadelphia.
- Casiraghi, M. C., F. Brighenti, N. Pellegrini, E. Leopardi and G. Testolin. 1993. **Effect of
processing on rice starch digestibility evaluated by in vivo and in vitro methods.**
Journal of Cereal Science. 17(2): 147-156.
- Chinnaswamy, R. and K.R. Bhattacharya. 1983. **Studies on expanded rice. Physicochemical
basis of varietal differences.** Journal of Food Science 48: 1600–1603.
- Dutta, H. and Mahanta, C, L. 2012. **Effect of hydrothermal treatment varying in time and
pressure on the properties of parboiled rices with different amylose content.**
Food Research International 49(2012): 655-663

- Elbert, G., P. Marcela and C. Suarez. 2001. **Effect of Drying Condition on Head Rice Yield and Browning Index of Parboiled Rice.** Journal of Food Engineering. 47: 37-41. Engineering. 9: 17-22.
- Farouk, S. M. and M. N. Islam. 1995. **Effect of Parboiling and Milling Parameters on Breakage of Rice Grains Agricultural Mechanization in Asia.** Africa and Latin America. 26: 3-38.
- Gariboldi, F. 1985. **Parboiled rice.** In **Rice Chemistry and Technology.** Houston D.H. (Ed.), American Association Cereal Chemistry, Minnesota, USA.
- Greig, D.J. 1977. **Rice Parboiling.** Journal of Agricultural Engineering. 32: 108-111.
- Heinemann, R.J.B., P.L. Fagundes, E.A. Pinto, M.V.C. Penteado and U.M. Lanfer-Marquez. 2005. **Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil.** Journal of Food Composition and Analysis 18: 287–296.
- Inprasit, C. and A. Noomhorm. 2001. **Effect of Drying Air Temperature and Grain Temperature of Different Type of Dryer and Operation on Rice Quality.** Drying Technology. 19: 389-404.
- Jenkins, D.J, T.M. Wolever and A.L. Jenkins. 1988. **Starchy foods and glycemic index.** Diabetes Care. 11(2): 149-59.
- Jinorose, M., Prachayawarakorn, S. and Soponronnarit, S. 2014. **A novel image-analysis based approach to evaluate some physicochemical and cooking properties of rice kernels.** Journal of food engineering. 124: 184-190.
- Kam, K., J. Arcot and R. Ward. 2012. **Fortification of Rice with Folic Acid using Parboiling Technique: Effect of Parboiling Conditions on Nutrient Uptake and Physical Characteristics of Milled Rice.** Journal of Cereal Science. 56 : 587-594.
- Kar, N., R. K. Jain and P. P. Srivastav. 1999. **Parboiling of Dehusked Rice.** Journal of Food
- Khatoon, S. and A.G. Gopalakrishna. 2004. **Fat-soluble nutraceuticals and fatty acid composition of selected Indian rice varieties.** Journal of the American Oil Chemists' Society. 81(10): 939-943.
- Lamberts, L. and Delcour, J A. 2008. **Carotenoids in Raw and Parboiled Brown and Milled Rice.** J. Agric. Food Chem., 56 (24): pp 11914–11919

- Lamberts, L., Brijs, K., Mohamed, R., Verhelst, N. and Delcour, J. A. 2006. **Impact of Browning Reactions and Bran Pigments on Color of Parboiled Rice**. J. Agric. Food Chem., 54 (26): pp 9924–9929
- Lamberts, L., Gomand, S. V., Derycke, V. and Delcour, J. A. 2009. **Presence of Amylose Crystallites in Parboiled Rice**. J. Agric. Food Chem., 2009, 57 (8): pp 3210–3216
- Larsen, H.N., O.W. Rasmussen, P.H. Rasmussen, K.K. Alstrup, S.K. Biswas, I. Tetens, S.H. Thilsted and K. Hermansen. 2000. **Glycaemic index of parboiled rice depends on the severity of processing: study in type 2 diabetic subjects**. European Journal of Clinical Nutrition. 54(5): 380-385.
- Luh, B.S. 1991. **Rice: Utilization. Vol. II**. Van Nostrand Reinhold. New York. USA.
- Manful, J.T., A. A. Swetman, R. D. Coker and A. Drunis. 2007. **Changes in the Thiamine and Riboflavin Contents of Rice during Artisanal Parboiling in Ghana**. Tropical Science. 47(4): 211–217.
- Mishra, P., A. K. Behera, S. M. iyas and G. T. Kurup. 1985. **Development and Testing of Mini**
- Newton, J., Y.J. Wang and A. Mauromoustakos. 2011. **Effects of cultivar and processing condition on physicochemical properties and starch fractions in parboiled rice**. Cereal Chemistry. 88(4): 414-420.
- Odenigbo, A.M., S.A. Ndindeng, C.A. Nwankpa, N. Woin, and M. Ngadi. 2013. **In vitro starch digestibility and nutritional composition of improved rice varieties from Cameroun**. European Journal of Nutrition & Food Safety. 3(4): 134-145.
- Oli. P., R. Ward, B. Adhikari and P.R Torley. 2014. **Parboiled rice: Understanding From a Materials Science Approach**. Journal of Food Engineering. 124: 173–183
- Paiva, F.F., N.L. Vanier, J.D.J. Berrios, V.Z. Pinto, D. Wood, T. Williams, J. Pan and M.C. Elias. 2016. **Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice**. Food Chemistry. 191: 105-112.
- Parvin, S., H. Qamrul, E.B.K. Knud and A. Liaquat. 2008. **Effects of parboiling and physico-chemical characteristics of rice on the glycemic and insulinemic indices in type 2 diabetic subjects**. Ibrahim Medical College Journal. 2(1): 12-16.

- Pascual, C.d.S.C.I., I.L. Massaretto, F. Kawassaki, R.M.C. Barros, J.A. Noldin and U.M.L. Marquez. 2013. **Effects of parboiling, storage and cooking on the levels of tocopherols, tocotrienols and γ -oryzanol in brown rice (*Oryza sativa* L.).** Food Research International. 50(2): 676-681.
- Patil, R. T., S. Bal and R. K. Mukherjee. 1982. **Effect of Parboiling Treatments on Rice Quality Characters.** Journal of Agricultural Engineering. 19: 91-97.
- Patindol, J., Newton, J., and Wang, Y, J. 2008. **Functional properties as affected by laboratory-scale parboiling of rough rice and brown rice.** J. Food Sci. 73: E370–E377.
- Pauda, A. B. and B. O. Juliano. 1974. **Effect of Parboiling on Thiamine, Protein and Fat of Rice.** Journal of the Science of Food and Agriculture. 25: 697–701.
- Pham, V. T. 1998. **Effect of Initial Conditions of Raw Paddy on Quality of Parboiled Rice.** Thesis of Master Degree. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Pillaiyar, P., Sabarathinam, P, L., Subramaniyan, V. and Sulochana, S. 1996. **Parboiling of paddy using thermic fluid.** Journal of Food Engineering Volume 27, Issue 3: Pages 267-278
- Poomsa-ad, N. and L. Wiset. 2012. **Pre-germinated Parboiled Brown Rice Drying using Fluidization Technique.** International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. 6: 895-898.
- Prom-u-thai, C., B. Rerkasem, I. Cakmak and L. Huang. 2010. **Zinc Fortification of Whole Rice Grain through Parboiling Process.** Food Chemistry. 120: 858–863.
- Rabiul, I., Naoto, S. and Toshinori, K. 2002. **Effect of Processing Conditions on Thermal Properties of Parboiled Rice.** Food Sci. Technol. Res., 8 (2): 131–136
- Rajies, S. R. and N. G. Bhole. 1971. **Model Studies in Parboiled Paddy Drying.** Journal of Agricultural Engineering. 10: 1-6.
- Rao, P. B. S. and K. R. Bhattacharya. 1966. **Effect of Parboiling on Thiamine Content of Rice.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. 14 (5): 479–482.

- Sareepuang, K., S. Siriamornpun, L. Wiset and N. Meeso. 2008. **Effect of Soaking Temperature on Physical, Chemical and Cooking Properties of Parboiled Fragrant Rice**. World Journal of Agricultural Sciences. 4 (4): 409-415.
- Soponronnarit, S., S. Wetchacama, T. Swasdisevi and Poomsa-ad, N. 1999. **Managing Moist Paddy by Drying Tempering and Ambient Air Ventilation**. Drying Technology. 17: 335-344.
- Taweerattanapanish, A., S. Soponronnarit, S. Wetchacama, N. Kongseri and S. Wongpiyachon. 1999. **Effect of Drying on Rice Yield using Fluidization Technique**. Drying Technology. 17: 345-353.
- Toshinori, K., K. R. Bhattacharya and S. Z. Ali. 1993. **Effect of Processing Conditions on the Color Intensity of Parboiled Rice**. Journal of Soc of Agri Struc. 20: 153-160.
- Velupillai, L. and L. R. Verma. 1986. **Drying and Tempering Effect on Parboiled Rice Quality**. Transaction of American Society of Agricultural Engineers. 29: 312-319.
- Wolever, T.M.S, D.J.A. Jenkins, J. Kalmusky, A Jenkins, C. Giordano, S. Giudici, R.G. Josse and G.S. Wong. 1986. **Comparison of regular and parboiled rices: explanation of discrepancies between reported glycemic responses to rice**. Nutrition Research. 6: 349-357.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวก รายชื่อโรงสีข้าวและข้าวหนึ่งในประเทศไทย

โรงสีข้าวและสีข้าวหนึ่ง	ที่อยู่ของโรงสีข้าวและข้าวหนึ่ง	อัตรากำลังการสีข้าวและสีข้าวหนึ่ง (เกวียน/วัน)
1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีปรีชาอนุกุลกิจ	เลขที่ 1 หมู่ 2 ถนน พหลโยธิน ตำบล นิคมสร้างตนเอง อำเภอ เมืองลพบุรี จังหวัด ลพบุรี 15000	600
2. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีไผ่ทองสวัสดิ์	เลขที่ 89 หมู่ 9 ถนน สุระนารายณ์ ตำบล คลองเกตุ อำเภอ โคกสำโรง จังหวัด ลพบุรี 15120	140
3. ที เอ็ม พี ไรซ์ มิลล์	เลขที่ หมู่ 9 ตำบล เขาสมอคอน อำเภอ ท่าวุ้ง จังหวัด ลพบุรี 15180	-
4. โรงสีแก้วสว่าง	เลขที่ 99 หมู่ 5 ถนน สายเอเชีย ตำบล อุตะเภา อำเภอ มโนรมย์ จังหวัด ชัยนาท 17110	600
5. โรงสีกนกวรรณ	เลขที่ 89/1 หมู่ 9 ตำบล วังไกร่เลื่อน อำเภอ หันคา จังหวัด ชัยนาท	2,000
6. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสี พ.แสงวัฒนา 3	เลขที่ 11 หมู่ 9 ถนน พหลโยธิน ตำบล ห้วยบง อำเภอ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัด สระบุรี 18000	100
7. บริษัท ไทยไรซ์มิล จำกัด	เลขที่ 85 หมู่ 13 ถนน ฉะเชิงเทรา-กบินทร์บุรี ตำบล บางตีนเป็ด อำเภอ เมืองฉะเชิงเทรา จังหวัด ฉะเชิงเทรา 24000	90
8. บริษัท สินญิณญ์ ไปโอ เพาเวอร์ จำกัด	เลขที่ หมู่ 6 ถนน สายบางน้ำเปรี้ยว-บางชนาก ตำบล บางชนาก อำเภอ บางน้ำเปรี้ยว จังหวัด ฉะเชิงเทรา 24150	1,000
9. บริษัท โรงสีศิริพร จำกัด	เลขที่ 99 หมู่ 9 ตำบล หมอนทอง อำเภอ บางน้ำเปรี้ยว จังหวัด ฉะเชิงเทรา 24150	450
10. ห้างหุ้นส่วนจำกัด กิจเจริญบางน้ำ เปรี้ยว	เลขที่ 8 หมู่ 1 ตำบล ศาลาแดง อำเภอ บางน้ำเปรี้ยว จังหวัด ฉะเชิงเทรา 24000	40
11. บริษัท โรงสีเตยหลิม จำกัด	เลขที่ 4 หมู่ 5 ตำบล โพรงอากาศ อำเภอ บางน้ำ เปรี้ยว จังหวัด ฉะเชิงเทรา 24150	600
12. โรงสีไทยวัฒนา	เลขที่ 60 หมู่ 5 ถนน หนองแก้ว-ประจันตคาม ตำบล ประจันตคาม อำเภอ ประจันตคาม จังหวัด ปราจีนบุรี 25130	-

โรงสีข้าวและสีข้าวหนึ่ง	ที่อยู่ของโรงสีข้าวและข้าวหนึ่ง	อัตราการสีข้าวและสีข้าวหนึ่ง (เกวียน/วัน)
13. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีไฟอิงเจริญ	เลขที่ 111/1 หมู่ 3 ถนน นครนายก-รังสิต ตำบล พรหมณี อำเภอบางนา เมืองนครนายก จังหวัด นครนายก 26000	150
14. บริษัท กิจเจริญพรชัย ชุมพล สุรินทร์ จำกัด	เลขที่ 10 หมู่ 10 ถนน สายบรบือ-บุรีรัมย์ ตำบล กระเบื้อง อำเภอบางบาล จังหวัด สุรินทร์ 32190	300
15. บริษัท โรงสีไทยมงคล จำกัด	เลขที่ 30 หมู่ 3 ตำบล ลำไย อำเภอบางบาล จังหวัด พระนครศรีอยุธยา 13000	70
16. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีขุนศรี	เลขที่ 15 หมู่ 7 ตำบล ขุนศรี อำเภอบางบาล จังหวัด นนทบุรี 11150	300
17. ห้างหุ้นส่วนจำกัด พรหมพิรามชัยศิริ	เลขที่ 7 หมู่ 3 ตำบล วงษ์ทอง อำเภอบางบาล จังหวัด พิษณุโลก	400
18. บริษัท โรงสีไฟทรรพพันธุ์ จำกัด	เลขที่ 119 หมู่ 3 ตำบล หัวดง อำเภอบางบาล จังหวัด พิจิตร 66170	80
19. บริษัท บรรพตพิสัยพืชผล จำกัด	เลขที่ 405/4 หมู่ 5 ตำบล ท่าจั่ว อำเภอบางบาล จังหวัด นครสวรรค์ 60180	700
20. บริษัท โรงสีชัยวานิชวัฒนา จำกัด	เลขที่ 242 หมู่ 1 ตำบล ดอนก่ายาน อำเภอบางบาล จังหวัด สุพรรณบุรี 72000	200
21. บริษัท โรงสีข้าวเจริญพาณิชย์ กำแพงแสน จำกัด	เลขที่ 144 หมู่ 11 ถนน มาลัยแมน ตำบล วังน้ำเขียว อำเภอบางบาล จังหวัด นครปฐม 73140	300
22. บริษัท กรุงเทพกิจการ จำกัด	เลขที่ 25/1 หมู่ 2 ถนน สุขชาติพัฒนา ตำบล หินมูล อำเภอบางเลน จังหวัด นครปฐม 73190	200
23. โรงสีฮวด	เลขที่ 15 หมู่ 3 ถนน บางเลน-วัดไผ่โรงวัว ตำบล ไทรงาม อำเภอบางเลน จังหวัด นครปฐม 73130	-
24. บริษัท เพชรบุรีอินเตอร์ไพรซ์ จำกัด	เลขที่ 59 หมู่ 1 ถนน เรียบคลองส่งน้ำชลประทาน ตำบล ตลาดโพธิ์ อำเภอบางเลน จังหวัด เพชรบุรี	750
25. บริษัท ข้าวศิริโชคชัย	เลขที่ 25/1 หมู่ 2 ซอย ถนนสุขชาติพัฒนา ตำบลหินมูล อำเภอบางเลน จังหวัด นครปฐม 73190	400
26. บ โรงสีธนกร 999	เลขที่ 212/4 หมู่ 9 ตำบลห้วยกรด อำเภอบางเลน จังหวัดชัยนาท 17140	1,200

โรงสีข้าวและสีข้าวหนึ่ง	ที่อยู่ของโรงสีข้าวและข้าวหนึ่ง	อัตรากำลังการสีข้าวและสีข้าวหนึ่ง (เกวียน/วัน)
27. ท่าข้าวขวัญใจเรไรท่าเกาะแก้ว	เลขที่ 43/2 หมู่ 6 ตำบล เดิมบาง อำเภอบางนางบวช จังหวัด สุพรรณบุรี 72120	-
29. บริษัท โรงสีข้าวสุพรรณรุ่งโรจน์ จำกัด	เลขที่ 15/2 หมู่ 3 ตำบล สวนแดง อำเภอมืองสุพรรณบุรี จังหวัด สุพรรณบุรี 72210	-
30. บริษัท สุพรรณบุรี อะกริคัลเจอร์รอล โปรเซสซิง จำกัด	เลขที่ 456 หมู่ 10 ถนน อุทอง ตำบล อุทอง อำเภออุทอง จังหวัด สุพรรณบุรี 72160	-
31. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ดินสุวรรณเกษตร	หมู่ 5 ถนน สุพรรณบุรี-ชัยนาท ตำบล เดิมบาง อำเภอบางนางบวช จังหวัด สุพรรณบุรี 72120	-
32. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีสินอุดมมงคล	เลขที่ 136/3 หมู่ 3 ถนน คอวัง-บ้านรางบัว ตำบล วัดดาว อำเภอ บางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี 72150	-
33. บริษัท ดาวธัญญาภิจ จำกัด	เลขที่ 1 หมู่ 1 ถนน สุพรรณบุรี-ชัยนาท ตำบล ปากน้ำ อำเภอบางนางบวช จังหวัด สุพรรณบุรี 72120	500
34. บริษัท นำชัย พาวเวอร์ ซัพพลาย จำกัด	เลขที่ 302 หมู่ 6 ตำบล ดอนเจดีย์ อำเภอดอนเจดีย์ จังหวัด สุพรรณบุรี 72170	-
35. บริษัท โรงสีชัยวานิชวัฒนา จำกัด	เลขที่ 242 หมู่ 1 ตำบล ดอนก้ายาน อำเภอ เมืองสุพรรณบุรี จังหวัด สุพรรณบุรี 72000	600
36. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีไฟฟ้าบ้านกร่าง	เลขที่ 23 หมู่ 1 ตำบล บ้านกร่าง อำเภอ ศรีประจันต์ จังหวัด สุพรรณบุรี 72140	360
37. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงสีมิตรนำชัย	เลขที่ 238 หมู่ 6 ตำบล ดอนเจดีย์ อำเภอ ดอนเจดีย์ จังหวัด สุพรรณบุรี 72170	600
38. ห้างหุ้นส่วนจำกัด สิริธัญญมงคล	เลขที่ 390 หมู่ 5 ตำบล บางเลน อำเภอ สองพี่น้อง จังหวัด สุพรรณบุรี 72110	-
39. ห้างหุ้นส่วนจำกัด อุทองพูนสินไทย	เลขที่ 111 หมู่ 8 ถ.บางระตม-ไผ่เอก ตำบล กระเจี้ยน อำเภอ อุทอง จังหวัด สุพรรณบุรี 72160	-
40. โรงสียังยืนธัญญาภิจ	เลขที่ 283/1 หมู่ 2 ตำบลอ่างทอง อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัด กำแพงเพชร 62000	-
41. บริษัท ไรซ์แลนด์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	เลขที่ 38/17 ซอยอนุมานราชชน ถนนเดโช สุริยวงศ์ บางรัก กรุงเทพฯ 10500	-

โรงสีข้าวและสีข้าวหนึ่ง	ที่อยู่ของโรงสีข้าวและข้าวหนึ่ง	อัตราการสีข้าวและสีข้าวหนึ่ง (เกวียน/วัน)
43. บริษัท โรงสีสวัสดิ์ไพบูลย์ จำกัด	เลขที่ 999 หมู่ 8 ถนน สายโค้งวิไล-เขาน้ำอุ่น ตำบล คลองขลุง อำเภอกลองขลุง จังหวัด กำแพงเพชร 62120	1,000
44. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยเสรี กรุป 339	เลขที่ 139,239 หมู่ 1 ถนน พหลโยธิน ตำบล คลองขลุง อำเภอกลองขลุง จังหวัด กำแพงเพชร 62120	600
45. ห้างหุ้นส่วนจำกัด คงเดชธัญญกิจ 2516	เลขที่ 189 หมู่ 7 ตำบล ท่าพุทรา อำเภอกลองขลุง จังหวัด กำแพงเพชร 62120	800
46. บริษัท โรงสีสนั่นเมือง จำกัด	เลขที่ 151 หมู่ 1 ตำบล วังแหม อำเภอกลองขลุง จังหวัด กำแพงเพชร 62120	820
47. บริษัทสยามโกลดันเกรน จำกัด	เลขที่ 1017/1 ถนนสามัคคี ตำบลท่าทราย อำเภอเมือง นนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000	-

ที่มา: Thaidbs (2558)



สถาบันคลังสมองของชาติ
อาคารอุดมศึกษา 2 ชั้น 19 เลขที่ 328
ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 02-126-7632 โทรสาร 02-126-1635
www.knit.or.th
www.agripolicyresearch.com