

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นธัญพืชที่ใช้เป็นอาหารสำคัญอย่างหนึ่งของโลก ตามหลักวิชาพฤกษศาสตร์ ข้าวเป็นพืชจำพวกใบเลี้ยงเดี่ยว ในวงศ์ (family) Gramineae อยู่ในสกุล (Genus) *Oryza* ชื่อเฉพาะของข้าวคือ *sativa* ดังนั้นข้าวจึงมีชื่อในภาษาละติน ว่า *Oryza sativa*

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ให้คำจำกัดความข้าวว่า เป็นเมล็ดพืช พวกหญ้า มีใบยาวและบางเส้นใบเป็นแบบขนาน ต้นเป็นลำข้อและมีดอก ในฤดูเก็บเกี่ยวที่ปลายยอดของแต่ละข้อจะมีก้านอ่อนเล็กๆ มากกว่า ก้านจะมีเมล็ดข้าวติดอยู่เป็นแถว มีเปลือกสีน้ำตาลหุ้มเมล็ดข้างใน ถ้าเขย่าเบาๆ จะทำให้แต่ละเมล็ดหลุดจากข้อ เมล็ดข้างในจะหลุดออกจากเปลือกได้โดยการตำหรือสีข้าว เมล็ดข้าวที่เอาเปลือกออกแล้วทำให้สุกโดยการต้มหรือนึ่ง เพื่อรับประทานเป็นอาหาร

คุณค่าทางโภชนาการของข้าว

บุญหงส์ (2547) กล่าวว่า ในเมล็ดข้าวนอกจากจะให้สตาร์ช (starch) หรือคาร์โบไฮเดรตในปริมาณร้อยละ 70 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญแล้ว เมล็ดข้าวยังประกอบด้วยสารอาหารอื่นๆ ได้แก่

1. **โปรตีน (protein)** จะมีอยู่หนาแน่นที่บริเวณผิวนอกของเมล็ดข้าวกล้อง (brown rice) และบริเวณคัพพะ (Embryo) มากกว่าที่ส่วนอื่น ๆ ของเมล็ด อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าว เช่น สภาพของดิน ลมฟ้าอากาศ การให้ปุ๋ย เป็นต้น จากการวิเคราะห์พบว่า ข้าวสารไทยจะมีโปรตีนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 6.5

2. **ไขมัน (fat)** พบเฉพาะที่ชั้นในสุดของเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) และที่ส่วนของคัพพะ ดังนั้นในการขัดสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวสารขาว (milled rice) จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียไขมันไปอยู่ในรูปของรำข้าวเป็นปริมาณมากกว่าร้อยละ 80

3. **แร่ธาตุ (minerals)** ส่วนใหญ่จะพบอยู่บริเวณผิวนอกของเมล็ด ปริมาณของแร่ธาตุในเมล็ดข้าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแร่ธาตุที่มีอยู่ในดิน ปริมาณแร่ธาตุที่ได้จากปุ๋ย และยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอีกด้วย แร่ธาตุที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวค่อนข้างมากได้แก่ ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโปแตสเซียม สำหรับธาตุฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบที่ร่างกายใช้ประโยชน์ได้ยาก และยังมีแร่ธาตุอีกกลุ่มหนึ่งมีอยู่ในเมล็ดข้าวแต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ได้แก่ แคลเซียม คลอรีน ซิลิกอน เหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส โซเดียม และสังกะสี สำหรับธาตุเหล็กและแคลเซียมนี้จะมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

4. **วิตามิน (vitamin)** ส่วนใหญ่จะพบที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในสุดและที่คัพพะ จึงเป็นสาเหตุให้ข้าวสารขัดขาวมีวิตามินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง วิตามินที่มีอยู่ค่อนข้างมากได้แก่ ไนอะซิน (Niacin) วิตามินที่มีอยู่ปริมาณน้อยได้แก่ ไทอะมิน (thiamine) หรือวิตามินบี 1 และไรโบฟลาวิน (riboflavin) หรือวิตามินบี 2 วิตามินในเมล็ดข้าวอาจสูญเสียไปได้ง่ายเมื่อเก็บข้าวไว้ในรูปของข้าวสารในโรงเก็บที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงควรเก็บไว้ในรูปของข้าวเปลือกในโรงเก็บที่มีอากาศถ่ายเทได้ดีหรือมีอุณหภูมิต่ำ

2.2 ข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำ หรือเรียกตามภาษาพื้นเมืองของทางเหนือว่า ข้าวกำ เป็นการเรียกตามลักษณะสีของเมล็ดที่มีสีม่วงดำ หรือแดงดำ นิยมปลูกมากในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีปลูกทั่วไปในประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สาธารณรัฐเวียดนาม อินเดี ญีปุ่น และสาธารณรัฐประชาชนจีน พันธุ์ข้าวเหนียวดำมีลักษณะเป็นข้าวพันธุ์ไวแสง และเป็นข้าวเหนียว ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี นอกจากนี้ข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองจะมีความสามารถในการทนแล้งและการฟื้นตัวจากแล้งได้ดี ด้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว (วิไลลักษณ์, 2541) ลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากข้าวทั่วไปที่เห็นอย่างชัดเจนคือการปรากฏของสีม่วงบนส่วนต่างๆ ของต้น เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด เป็นต้น ปริมาณของสีจะเข้มขึ้นแตกต่างกันไป เป็นลักษณะเฉพาะประจำพันธุ์ซึ่งตามภูมิปัญญาท้องถิ่นข้าวเหนียวดำไร่ จะมีลักษณะสีม่วงเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดเท่านั้น ในขณะที่ข้าวเหนียวดำนา จะมีลักษณะสีม่วงปรากฏอยู่ในส่วนอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้อาจแบ่งลักษณะสีม่วงปรากฏอยู่ในส่วนอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้อาจแบ่งลักษณะประจำตามสีเยื่อหุ้มเมล็ดโดยเฉพาะข้าวเหนียวดำนาเรียกตามท้องถิ่น คือ ข้าวกำล่วน (เมล็ดข้าวมีสีม่วงทั้งเมล็ด) กับ ข้าวกำผ่า (เมล็ดมีสีม่วงเพียงบางส่วน)

คุณค่าของข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองตามภูมิปัญญาท้องถิ่นเชื่อว่าข้าวเหนียวดำเป็นสมุนไพร การปลูกข้าวเหนียวดำจึงเป็นการปลูกเพียงเพื่อใช้ในการรักษาโรคเท่านั้น ซึ่งโรคที่ใช้ข้าวเหนียวดำรักษา คือการตกเลือดของหญิงคลอดลูก กล่าวกันว่าในอดีต หากสตรีใดคลอดลูกและมีการตกเลือด (ไม่หยุด) จะนำเอาต้นข้าวเหนียวดำมาต้มกับใบเมี่ยง (ใบชา) ให้รับประทาน ดังนั้นการปลูกข้าวเหนียวดำในอดีตจึงมิได้ปลูกเพื่อบริโภค แต่จะปลูกเพื่อสมุนไพร ดังนั้นการเก็บเกี่ยวจึงจะเก็บเกี่ยวไว้ทั้งต้นและมัดห้อยไว้จนกว่าจะนำมาใช้เป็นสมุนไพร

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบคุณค่าทางอาหารของข้าวเหนียวดำ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี/ 100 กรัม)	360 - 363
ความชื้น (ร้อยละ)	12.00
โปรตีน (ร้อยละ)	7.0 - 8.0
ไขมัน (ร้อยละ)	1.5 - 2.5
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	75.0 - 80.0
เส้นใย (ร้อยละ)	0.9 - 1.0
เถ้า (ร้อยละ)	1.0 - 1.5
เบต้าแคโรทีน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	3.00
โทอะมิน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	N.A
ไนอะซิน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	N.A

ที่มา : ดำเนิน และคณะ (2544)

2.2.1 รงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในข้าวเหนียวดำ

รงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในพืช แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) มีสีเขียว คาโรทีนอยด์ (carotinoid) มีสีเหลืองจนถึงแดงและฟลาโวนอยด์ (flavonoid) โดยมีรงควัตถุที่สำคัญคือ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) มีตั้งแต่สีแดงจนถึงสีม่วงหรือสีน้ำเงิน พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้ว สีที่ปรากฏขึ้นบนส่วนต่างของต้นข้าวเหนียวดำ เกิดจากรงควัตถุแอนโทไซยานินและรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน Hayashi and Abe (1952) ได้ทำการวิเคราะห์ และรายงานว่ ใน rice anthocyan มีสารประกอบที่ให้สีคือ แอนโทไซยานิน โดยมีไซยานิดิน (cyanidin) เป็นองค์ประกอบ และเรียกข้าวชนิดนี้ว่า “purple rice”

รงควัตถุกลุ่มนี้จะให้สีบนต้นข้าวแตกต่างกันไป ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วงดำ และมีการกระจายรงควัตถุไปตามส่วนต่างๆ ของต้นข้าวแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ส่วนใหญ่จะพบรงควัตถุและให้สีในทุกส่วนของต้นข้าวที่เป็นลำต้นและใบ (vegetative part) และเกือบทุกส่วนของช่อดอก (floral part) ยกเว้นในส่วนของ embryo หรือ endosperm ที่ไม่พบการกระจายของรงควัตถุ (Chang, 1964) แอนโทไซยานิน จะอยู่ใน vacuole ใน cell ที่อยู่ในชั้นของ epidermal cell ของใบ ดอก และผลของพืช และโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใน vacuole เปลี่ยนไป ถ้า pH = 1 หรือต่ำกว่า 1 จะให้สีส้มแดง ถ้า pH > 6 จะไม่มีสี ถ้า pH < 6 จะให้สีน้ำเงิน-ม่วง แอนโทไซยานินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น alcohol และสามารถละลายได้ในน้ำ (Moskowitz and Hrazdina, 1981) โดยทั่วไปแล้ว ลักษณะของการแสดงออกของสีในพืชจะเป็นการแสดงออกที่คงที่มากกว่าลักษณะพื้นฐานอื่น ๆ ที่เป็นลักษณะคุณภาพ (qualitative characters) ถึงอย่างไรก็ตามยังคงมีเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการปรากฏของสี เช่นระยะของการเจริญเติบโต (growth stage) อุณหภูมิ (temperature) หรือแสงอาทิตย์ (sunlight) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์และการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินและความเข้มของสีปรากฏเปลี่ยนไป (Gross, 1987)

2.2.2 คุณสมบัติของสีม่วงในข้าว

ข้าวที่มีเมล็ดสีม่วงดำ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสีของเมล็ด สีม่วงดำประกอบไปด้วย สีม่วงเข้ม (cyanidin) สีชมพูอ่อน (peonidin) และสีน้ำตาล (procyanidin) ผสมกัน ซึ่งสีที่เห็นนั้นเป็นสารประกอบกลุ่ม flavonoid ที่เรียกว่า สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่ประกอบไปด้วยสาร cyanidin กับ สาร peonidin สารโปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) ประกอบด้วยสาร procyanidin ซึ่งสารดังกล่าวทั้งหมดนี้เป็นสาร antioxidant ที่ทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระแล้วช่วยทำให้กลไกการทำงานของร่างกายมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าปกติ

มนตรี และคณะ (2550) ได้สกัดสารโปรแอนโทไซยานิดินจากข้าวเหนียวดำ และทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งชนิด X63 ซึ่งเป็นเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดจากหนู โดยใช้เทคนิคการนับเซลล์แบบ Flow cytometry จากการศึกษาพบว่า ปริมาณสารไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ในข้าวเหนียวดำซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ HPLC มีปริมาณเท่ากับ 54.47 mg/100mg grain และจากการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัดโปรแอนโทไซยานิดิน พบว่า จำนวนเซลล์มะเร็งที่มีชีวิตลดลงตามความเข้มข้นของสารสกัดที่ได้รับเพิ่มขึ้น โดยจำนวนเซลล์มะเร็งที่ลดลงเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g/ml}$ และความเข้มข้นที่ทำให้เซลล์มะเร็งตายไปร้อยละ 50 เท่ากับ 62.29

$\mu\text{g/ml}$ สำหรับความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารไซยานิดิน 3-กลูโคไซด์ พบว่า จำนวนเซลล์มะเร็งที่มีชีวิตลดลงตามความเข้มข้นของสารที่ได้รับเพิ่มขึ้น โดยจำนวนเซลล์มะเร็งที่ลดลงเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ความเข้มข้น $10 \mu\text{M}$ และความเข้มข้นที่ทำให้เซลล์มะเร็งตายไปร้อยละ 50 เท่ากับ $8.4 \mu\text{M}$

พันทิพา และคณะ (2547) ได้ศึกษาปริมาณแกมมา-โอไรซานอลในผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดต่างๆพบว่ารำข้าวเหนียวดำพันธุ์ กำนาน มีค่าแกมมา-โอไรซานอล สูงที่สุดคือร้อยละ 2.854 วัตถุแห้ง แต่ถ้าเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแกมมา-โอไรซานอลในไขมันโดยรวม พบว่า รำข้าวเหนียวดำพันธุ์ ก่ำดอยสะเก็ด มีค่าเปอร์เซ็นต์ แกมมา-โอไรซานอลในไขมันโดยรวม สูงที่สุดคือร้อยละ 20.160 ส่วนผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดต่างๆ ที่นำมาตรวจสอบหาแกมมา-โอไรซานอล ในงานวิจัยนี้มีค่าของแกมมา-โอไรซานอล ต่ำมาก เมื่อเทียบกับรำของข้าวพันธุ์ต่างๆ โดยพบว่าดอกคำฝอยไม่มีแกมมา-โอไรซานอล เป็นองค์ประกอบอยู่เลย นอกจากนั้น ข้าวโพด, งา, เมล็ดลินสีด, กากเรปส์ด, กากฝ้าย, ถั่วเหลืองไขมันเต็ม และรำข้าวสาลี มีค่าแกมมา-โอไรซานอล อยู่ในระดับต่ำคือร้อยละ 0.241, 0.007, 0.014, 0.003, 0.003, 0.001 และ 0.143 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวเหนียวดำด้วยกันแล้วพบว่า กำนาน และก่ำดอยสะเก็ดมีค่าแกมมา-โอไรซานอล ใกล้เคียงกันคือ 2.854 และ 2.693 % วัตถุแห้ง ตามลำดับ นอกจากนั้นข้าวเหนียวดำพันธุ์ ก่ำมก้อยมีค่าแกมมา-โอไรซานอล ต่ำที่สุดในบรรดาข้าวเหนียวดำคือร้อยละ 1.882 โดยน้ำหนักแห้ง แต่อย่างไรก็ตามข้าวเหนียวดำทุกพันธุ์มีค่าแกมมา-โอไรซานอล สูงกว่าผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดต่างๆที่นำมาวิเคราะห์หาแกมมา-โอไรซานอล ในการวิจัยครั้งนี้

Boonsit *et al.* (2006) ได้ศึกษาปริมาณ gamma oryzanol ในข้าวเหนียวดำพันธุ์พื้นเมืองของไทย ซึ่ง gamma oryzanol เป็น unsaponifiable component ของน้ำมันรำข้าวซึ่งประกอบด้วยด้วยกรดเพอร์ฟลูริกหลายชนิดซึ่งให้ผลต่อสุขภาพของมนุษย์ที่คล้ายวิตามินอี ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณ gamma oryzanol ในข้าวกล้องข้าวเหนียวดำและข้าวขาว โดยสกัดน้ำมันจากข้าวกล้องข้าวเหนียวดำและข้าวขาวด้วยเฮกเซนและเอทิลอะซิเตต จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณของ semi purified gamma oryzanol and gamma oryzanol ด้วยเครื่อง HPLC ที่มีคอลัมน์แบบ ODS C18 ผลการวิจัยพบว่าปริมาณน้ำมันข้าวที่สกัดจากข้าวกล้องข้าวขาวมีปริมาณที่ไม่แตกต่างจากข้าวกล้องข้าวเหนียวดำ ซึ่งสกัดได้เฉลี่ย 2.60 g/100g เมล็ดแห้ง ซึ่งผลที่ได้นี้สัมพันธ์กับปริมาณน้ำมัน (crude oil) ของ semi purified gamma oryzanol และ gamma oryzanol ของข้าวกล้องข้าวขาวและข้าวกล้องข้าวเหนียวดำไม่แตกต่างกันด้วย แต่ปริมาณ semi purified gamma oryzanol แตกต่างกับปริมาณ gamma oryzanol ซึ่งพบว่าในข้าวเหนียวดำ 2 ชนิดมีปริมาณ gamma oryzanol สูงจะมีปริมาณ semi purified gamma oryzanol สูงด้วยเช่นกัน ในขณะที่ข้าวขาวพันธุ์ KDML105 แสดงปริมาณ gamma oryzanol ที่ต่ำแต่มีปริมาณ semi purified gamma oryzanol สูงกว่า อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างข้าวทั้งสองพันธุ์ก็มีความแตกต่างกัน การเปรียบเทียบลักษณะต่างๆ ระหว่างข้าวทั้งสองกลุ่มแสดงให้เห็นว่ากลุ่มข้าวเหนียวดำจะมีปริมาณ gamma oryzanol ที่สูงกว่ากลุ่มข้าวขาว

Nam *et al.* (2006) ได้ศึกษากิจกรรมด้านการเกิดออกซิเดชันของรำข้าว จากสายพันธุ์ข้าวที่มีรวงวัตถุ 21 สายพันธุ์ โดยสกัดรำข้าวจากเมล็ดข้าวด้วยเอทานอล-น้ำ ในอัตราส่วน 70:30 (v/v)

จากข้าวที่มีรงควัตถุ 21 สายพันธุ์และไม่มีรงควัตถุ 1 สายพันธุ์ จากนั้นประเมินค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้การทดสอบ การยับยั้งการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก, การยับยั้งการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของไขมันเยื่อหุ้มเม็ดเลือดแดงของกระต่าย, การลดลง potassium ferricyanide, และการเสื่อมเสียของซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anions) และอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals) นอกจากนี้ยังพบว่าการสกัดเมล็ดข้าวที่มีรงควัตถุจะมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าการสกัดเมล็ดข้าวจากสายพันธุ์ที่ไม่มีรงควัตถุ โดยสายพันธุ์ที่มีรงควัตถุ ได้แก่ Jumlocal-1, Parnkhari 203, DZ78, LK1-3-6-12-1-1, และ Elwee จะมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ซึ่งสัมพันธ์อย่างเห็นได้ชัดกับการลดลงของ ferricyanide, การยับยั้งการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของไขมันเยื่อหุ้มเม็ดเลือดแดงของแกะ และการเสื่อมเสียของซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anions) และอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals) ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การลดลงอย่างมากของ ferricyanide น่าจะมีประโยชน์และเป็นดัชนีอย่างง่ายในการประเมินประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันในระดับอุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มีอยู่แล้วในข้าว และพบว่าข้าวสายพันธุ์ที่มีรงควัตถุจะมีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงบ่งบอกถึงแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระและเป็นวัตถุดิบที่จะนำไปพัฒนาเป็นสายพันธุ์ข้าวเพื่อสุขภาพ

Zhang *et al.* (2006) ศึกษากรรมวิธีการแยกและทำให้บริสุทธิ์ พร้อมทั้งจำแนกองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำโดยใช้ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชัน (TAC) เป็นตัวแปรในการพิจารณา โดยสกัดสารต้านการเกิดอนุมูลอิสระของข้าวเหนียวดำในสัดส่วนที่แตกต่างกันด้วยสารละลายที่มีความเป็นขี้ผึ้งที่แตกต่างกัน เช่น บีโตรเลียมอีเธอร์, คลอโรฟอร์ม, เอทิลอะซิเตต และนอร์มัลบิวทิลแอลกอฮอล์ องค์ประกอบหลักของสารต้านอนุมูลอิสระถูกแยกออกมาจากส่วนที่แยกยากที่สุดโดยใช้ Sephadex LH-20 resin และวิเคราะห์โครงสร้างโดย ultraviolet-vis, infra-red, ESI-MS, $^1\text{H-NMR}$ and $^{13}\text{C-NMR}$ spectrums ผลการวิจัยพบว่าสัดส่วนที่เป็นน้ำและสัดส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่สกัดด้วยนอร์มัลบิวทิลแอลกอฮอล์ของข้าวเหนียวดำมีความสามารถที่จะเกิดการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชันรวมมีค่าถึง 383 และ 392 ku/g ตามลำดับ ส่วนองค์ประกอบหลักอีก 4 องค์ประกอบที่สกัดด้วยน้ำและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชันรวมมีค่าถึง 976, 878, 1,134 และ 1,087 ku/g ตามลำดับ การวิเคราะห์ด้วยสเปค-โตรสโคปีแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลัก 4 ชนิดของสารแอนโทไซยานินที่สกัดจากข้าวเหนียวดำซึ่งเป็นสารประกอบของ malvidin, pelargonidin-3, 5-diglucoside, cyaniding-3-glucoside and cyaniding-3, 5-diglucoside สรุปได้ว่าสารประกอบแอนโทไซยานินเป็นหลักฐานที่สำคัญที่สุดในการต้านการเกิดออกซิเดชัน

Chung and Shin (2007) ได้ศึกษาลักษณะอัลคาลอยด์ของสารต้านอนุมูลอิสระและกรดฟีนอลจากแอนโทไซยานินที่เป็นรงควัตถุในข้าว (*Oryza sativa* cv. *Heugjinjubyeo*) งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ bioactive secondary metabolites โดยใช้สัดส่วนการเกิดกิจกรรมทางชีวภาพและวิธีการแยกสารประกอบสัดส่วนที่สามารถละลายได้ในเอทิลอะซิเตตของชั้น aleurone ของข้าวสายพันธุ์ *Oryza sativa* cv. *Heugjinjubyeo* ที่มีการพัฒนาแล้ว สารประกอบที่พบ 4-carboethoxy-6-hydroxy-2-quinolone (1), ethyl-3,4-dihydroxybenzoic acid (2), 4-hydroxy-3-methoxyphenylacetic acid (3), 3,4-dihydroxybenzoic acid (4), และ 4-hydroxy-3-

methoxy cinnamic acid (5) แสดงให้เห็นการต้านออกซิเดชันอย่างชัดเจน ซึ่งมีความเข้มข้นที่ไม่เกิดผลต่ออนุมูลอิสระของเนื้อเยื่อ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl โครงสร้างของสารประกอบใหม่ชนิดที่ 1 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนขึ้นโดยการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรสโคปี และบางส่วนโดยการวิเคราะห์ด้วย hetero-nuclear multiple-bond connectivity และ high-resolution MS spectroscopy

นอกจากนี้สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว (2551) ได้ทำการวิจัยและพบว่าข้าวที่มีสีดำมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดีเนื่องจากมีสารจับอนุมูลอิสระ ทั้ง quinolone alkaloid, vitamin E, phytate, γ -oryzanol, polyphenol และ anthocyanin อยู่สูง ในข้าวสีดำพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่พบว่าปริมาณ polyphenolic ถึง 752.1 mg/100g, anthocyanin 250.36 mg/100g และ beta carotene 63.3 ug/100g ซึ่งพบอยู่มากในส่วน pericarp สารทั้งสามชนิดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะ polyphenolic ดังนั้นข้าวสีดำจึงเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาพบว่าข้าวยังมีสีม่วงเข้มมาก ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระยิ่งมีมากขึ้นโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 35.3 ถึง 214.7 umole/g ศึกษาด้วยวิธี ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) โดยเฉพาะในข้าวเจ้าหอมนิล และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 229 - 304.7 umole/g ซึ่งเมื่อนำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำผลไม้พร้อมดื่มหรือน้ำชาเขียว พบว่ามีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเกือบ 100 เท่า เมื่อนำข้าวสีม่วงไปผ่านกระบวนการหุงต้ม ด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า พบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระลดลงประมาณร้อยละ 50 ถึง 60 หรือลดประสิทธิภาพ ในการต้านอนุมูลอิสระลงประมาณครึ่งหนึ่งของข้าวดิบ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแล้วข้าวสีม่วงยังมีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำผลไม้พร้อมดื่มหรือน้ำดื่มชาเขียวที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งข้าวยังมีสีเมล็ดมีความเข้มเท่าไร ยิ่งทำให้มีผลในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงขึ้นเท่านั้น จากการศึกษาพบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และพันธุ์สินเหล็กเมื่อหุงสุกแล้ว ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระเหลืออยู่ ไม่ได้ถูกความร้อนทำลายหมด จึงเป็นอีกแหล่งอาหาร ที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระ การที่ร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระพอเพียงต่อความต้องการในแต่ละวัน จะช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน โรคหัวใจ และหลอดเลือด และ โรคมะเร็งได้

ผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงเนื่องจากปัจจุบันประชาชนให้ความสนใจในผลของสารต้านอนุมูลอิสระต่อสุขภาพมากขึ้น และจากการศึกษาพบว่าข้าวพันธุ์ ไรซ์เบอร์รี่ และข้าวของข้าวเจ้าหอมนิล มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี ดังนั้นจึงได้นำข้าวเจ้าหอมนิล และข้าวขาวมาพัฒนา เป็นอาหารว่างเพื่อสุขภาพ และเป็นอีกทางหนึ่ง ให้แก่ผู้บริโภค ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวได้เลือกหมั่นโถวและขนมปังใส่ไส้ซึ่งมีส่วนผสมของรำข้าวและถั่วแดง เนื่องจากเป็นอาหารที่บุคคลทุกเพศทุกวัยสามารถรับประทานได้ จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของขนมปังใส่ไส้และหมั่นโถว กับเครื่องดื่มชาเขียวที่ได้รับความนิยมจากท้องตลาดต่อหนึ่งหน่วยบริโภค จะเห็นได้ว่าขนมปังใส่ไส้และหมั่นโถว มีประสิทธิภาพ ในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี โดยเฉพาะขนมปังใส่ไส้มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเครื่องดื่มชาเขียวอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นอาหารว่างทั้งสองจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภค

2.3 ข้าวึ่ง

ข้าวึ่ง (parboiled rice) หมายถึง ข้าวที่ผ่านการทำให้สุกด้วยกระบวนการให้ความร้อนชื้น (hydrothermal process) โดยนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำ ทำให้น้ำซึมเข้าสู่เมล็ดจนอึดตัว แล้วจึงแยกน้ำออกจากข้าวเปลือก ทำการนึ่งข้าวเปลือกด้วยไอน้ำ เพื่อให้เนื้อในเมล็ดที่มีเปลือกหุ้มสุกบางส่วนโดยเฉพาะที่ผิวรอบนอกของเมล็ด แล้วทำข้าวเปลือกนึ่งให้แห้ง จนมีความชื้นใกล้เคียงกับข้าวเปลือกธรรมดา คือ ประมาณ 16 % และต้องเก็บรักษาหรือพักข้าวไว้อย่างน้อย 7 วันก่อนนำไปผ่านกระบวนการสีข้าวเหมือนข้าวเปลือกธรรมดา เพื่อจะทำให้ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการแปรรูปข้าวนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้าวเปลือกธรรมดา โดยเฉพาะข้าวเปลือกที่มีคุณภาพในการสีหรือข้าวเปลือกเปียกให้เป็นข้าวเปลือกนึ่ง แล้วทำแห้งและสีเป็นข้าวสารนึ่ง เพื่อลดปริมาณข้าวหักระหว่างการสี เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินบีและแร่ธาตุบางชนิด ซึมเข้าสู่เนื้อในเมล็ดข้าวพร้อมกับน้ำที่เข้าไปในเมล็ดขณะแช่ข้าวเปลือกในน้ำ (อรอนงค์, 2550) ซึ่งกระบวนการผลิตข้าวนี้สามารถสรุปขั้นตอนการผลิตที่สำคัญหลัก ๆ ได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ (สมคิด, 2549)

1) การแช่ข้าวเปลือก (soaking) เพื่อจุดประสงค์ให้น้ำที่แช่ซึมผ่านเปลือกเข้าสู่เนื้อในเมล็ดจนอึดตัวแต่ไม่ทำให้เปลือกนอกปริแตกออกจากกัน โดยทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้นประมาณ 30% ในปัจจุบันได้ปรับปรุงกรรมวิธีการแช่ข้าวเปลือกจากเดิมใช้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งเสียเวลานาน มาเป็นการแช่ด้วยน้ำอุ่นประมาณ 60 – 70 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้สตาarchในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาไทไนส์ เพื่อไม่ให้เกิดการอ้วนน้ำและพองตัวมากเกินไป จนทำให้เปลือกแข็งหุ้มเมล็ดข้าวปริแตกออกก่อนการนึ่งหรือต้มข้าวเปลือก

2) การนึ่งด้วยไอน้ำ เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มปริมาณข้าวเต็มเมล็ดหลังจากการสีปรับปรุงคุณสมบัติของข้าวเปลือกนึ่งให้เก็บรักษาได้ดีขึ้น และคุณภาพในของข้าวนี้ให้ดีขึ้น เนื่องจากการนึ่งด้วยไอน้ำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในข้าวเปลือก เช่น สารอาหารที่ละลายได้ในน้ำจะกระจายภายในเมล็ดของข้าวเปลือก ความร้อนจากไอน้ำทำให้สตาarchภายในเมล็ดข้าวเกิดเจลาไทไนส์รอยร้าวของผิวเมล็ดข้าวเชื่อมประสานกันจากการเจลาไทไนส์ของสตาarchในเนื้อเมล็ดข้าว ทำให้น้ำเนื้อสัมผัสของข้าวแน่น และเกาะตัวกัน เปลือกชั้นในที่หุ้มเนื้อในเมล็ด เช่น เพอริคาร์พและแอลิวโรน และส่วนคัพภะ จะนิ่มขึ้นและติดแน่นกับเนื้อในเมล็ด ทำให้แยกออกยากในขั้นตอนการสีข้าวเปลือกนึ่ง

3) การทำแห้ง เพื่อจุดประสงค์ในการลดความชื้นในข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการสี และการเก็บรักษา กระบวนการทำแห้งข้าวเปลือกนี้แตกต่างจากการทำแห้งข้าวเปลือกธรรมดา เนื่องจากข้าวเปลือกนึ่งมีความชื้นสูง และเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวแตกต่างเพราะสตาarchในเนื้อเมล็ดข้าวเกิดการเจลาไทไนส์ ทำให้ลักษณะเนื้อแน่น เกาะตัวกัน ต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 100 °C ในการทำแห้งระยะแรกจนข้าวเปลือกนึ่งมีความชื้นประมาณ 16 % ควรหยุดพักการให้ความร้อน เพื่อป้องกันการแตกร้าวของเปลือกหุ้มแข็ง และการเกิดรอยร้าวของเนื้อในเมล็ด ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดพักข้าวประมาณ 2 – 48 ชั่วโมง การหยุดพักให้เกิดการปรับสภาพของความชื้นภายในเมล็ดของข้าวเปลือกนึ่งแห้ง (Conditioning or Tempering) มี

ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำให้ข้าวเปลือกหนึ่งแห้งระยะที่สอง เพื่อให้ได้ข้าวสารหนึ่งหลังจากการสีเป็นข้าวเต็มเมล็ดมากขึ้น เมล็ดข้าวไม่ร้าวหรือหักงอในขั้นตอนการสี

เฉลิมพร (2546) ทดลองรวมกระบวนการผลิตของการนึ่งและการอบแห้งข้าวหนึ่งสำหรับข้าวหอม พบว่า การแช่ข้าวและการอบแห้งสามารถเพิ่มปริมาณต้นข้าวได้สูงสุด (ร้อยละ 67.9) เมื่อแช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และอบแห้งนาน 2 นาที่ โดยคุณภาพด้านความขาวจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นของการแช่ และการอบแห้ง และจากการวิเคราะห์การเกิดเจลลาทีโนเซชัน พบว่า ข้าวที่แช่นาน 3 ชั่วโมง อบแห้งนาน 2 นาที่ เกิดการเจลลาทีโนเซชันมากกว่าข้าวที่แช่เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และอบแห้ง 2 นาที่ โดยมี Degree of gelatinization เท่ากับ ร้อยละ 88.5 และ 78 ตามลำดับ

สมคิด (2549) ได้ศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิของการแช่ที่มีต่อการผลิตข้าวหนึ่ง โดยใช้เทคนิคฟลูอิดเซชันที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด พบว่า การแช่ข้าวที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำแช่เริ่มต้น 90 องศาเซลเซียส ให้คุณภาพร้อยละต้นข้าวที่มีค่าสูงกว่าการแช่ที่อุณหภูมิน้ำแช่ 80 องศาเซลเซียส ทุกช่วงเวลากการแช่ ตลอดจนร้อยละ White belly มีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำแช่เริ่มต้นที่ระยะเวลา 5 และ 7 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่าในด้านคุณภาพที่กล่าวมามีค่าที่ใกล้เคียงกันมากไม่แตกต่างจากการแช่ที่ 3 ชั่วโมง การแช่ข้าวที่อุณหภูมิน้ำแช่เริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดก็เพียงพอต่อการผลิตข้าวหนึ่งที่มีคุณภาพตามมาตรฐานการส่งออก และยังลดเวลาการผลิตข้าวหนึ่งลงได้

วีระ (2549) ได้ศึกษาอิทธิพลของการพ่นไอน้ำก่อนที่มีต่อการผลิตข้าวหนึ่งโดยเทคนิคฟลูอิดเซชันที่ใช้ไอน้ำร้อน พบว่า การเพิ่มระยะเวลาการพ่นไอน้ำมีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้าวหนึ่ง โดยที่ร้อยละของต้นข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการพ่นไอน้ำ ในขณะที่ค่าความขาวและ White belly ของข้าวหนึ่งมีค่าน้อยลง ลักษณะสมบัติความหนืดของแป้งมีค่า peak viscosity และ final viscosity ลดต่ำลงเมื่อเทียบกับข้าวอ้างอิง และยังพบว่าเมื่อนำไปหุงให้สุกข้าวจะแข็งและร่วนขึ้น ขณะที่ปริมาณการดูดซับน้ำน้อยลง

Kaddus Miah (2002) พบว่า การแช่ข้าวในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 120 นาที่ จะทำให้เกิดการเจลลาทีโนเซชันเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างรอยร้าว หรือรอยแตกของเมล็ดข้าว ทำให้ร้อยละของต้นข้าวในระหว่างการบดสูงขึ้น

Chinnaswamy and Bhattacharya (2006) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองจากข้าวหนึ่งที่ผ่านการบด คือ ต้องมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.5-11.0 จากนั้นนำไปอบในทรายที่มีอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส นาน 2.5 วินาที จะทำให้ข้าวพองเกิดการพองตัวดีที่สุด การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชหลังการผลิตข้าวหนึ่งจะทำให้เกิดการพองตัวลดลง เช่นเดียวกับการเกิดรอยร้าวและแตกหักของเมล็ดข้าวจากการบด แต่การเติมเกลือจะช่วยให้การพองตัวดีขึ้น

Soponronnarit *et al.* (2006) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาของการแช่ข้าว และอุณหภูมิของไอน้ำในการผลิตข้าวกล้องหนึ่ง โดยข้าวกล้องมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 12.8 (น้ำหนักแห้ง) ผลการทดลองพบว่า การเกิดเจลลาทีโนเซชันเกิดขึ้นขณะที่ความชื้นลดลง และข้าวกล้องหนึ่งที่มีความชื้นร้อยละ 28 (น้ำหนักแห้ง) ให้ค่าความขาวและ White belly อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ และยังพบว่า ข้าวกล้องหนึ่งที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 28 จะมีร้อยละของต้นข้าวต่ำ

2.4 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

ข้าวพอง (Puffed snacks หรือ Expanded snacks) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวหรือแป้ง มีลักษณะพองเบา มีรูพรุน และกรอบ ซึ่งข้าวพองอาจเตรียมได้จากข้าวทั้งเมล็ดหรือเตรียมได้จากแป้ง โดยที่ข้าวที่ใช้ในการทำให้พองตัว ควรมีอะมีโลสค่อนข้างต่ำ คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 5-20 และในการทำให้เกิดการพองตัวของผลิตภัณฑ์ เริ่มต้นจากที่มีการใช้เทคนิคในการผลิตผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบแห้ง เมื่อต้องการจึงนำมาทอดหรืออบให้พองตัว ซึ่งการพัฒนาในระยะต่อมาเป็นการทำให้พองตัวโดยตรงโดยไม่ผ่านขั้นตอนการทำแห้ง การพองตัวนั้นมีหลักการโดยสามารถสรุปได้ 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นการทำให้พองตัวในบรรยากาศโดยทำให้น้ำที่มีอยู่ระเหยไปอย่างรวดเร็ว และแบบที่สอง เป็นการลดความดันของอาหารร้อนให้ต่ำลง จนทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไป (จริยา, 2542)

การพองตัวของผลิตภัณฑ์มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ เพราะเป็นปัจจัยคุณภาพอย่างหนึ่งของการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค การพองตัวของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ ความดัน และความต้านทาน ความดันเกิดจากน้ำที่แทรกอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัวดันให้เนื้ออาหารเป็นโพรงหรือรูพรุน เพื่อให้ความชื้นออกจากเนื้ออาหารได้ ในขณะเดียวกันก็จะเกิดแรงต้านหรือแรงยึดไม่ให้น้ำขยายตัวหลุดออกไป ถ้าใช้พลังงานพอเหมาะจะทำให้ความดันเท่ากับค่าความต้านทาน การพองตัวที่ได้จะสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร ความชื้นที่เหลืออยู่พอเหมาะที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบพอเหมาะ และมีโครงสร้างเนื้อสัมผัสดี แต่ถ้าความดันน้อยกว่าความต้านทาน ลักษณะเนื้อสัมผัสจะไม่ดี มีรูพรุนไม่สม่ำเสมอ ส่วนที่ไม่เป็นรูพรุนก็จะแข็ง (Charles, 1969)

2.4.1 ชนิดของข้าวพอง

ข้าวพองสามารถแบ่งตามวิธีการพองตัวด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้ (จริยา, 2542)

1) ข้าวพองที่ผลิตโดยการอัดด้วยความดันสูง เป็นการผลิตโดยใช้เครื่อง Extrusion ที่มีการใช้แรงอัด และความร้อนสูง โดยควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม แรงดันที่เกิดจากไอน้ำจะดันให้แป้งพองตัว การที่ไอน้ำระเหยอย่างรวดเร็วพร้อมกับการลดอุณหภูมิลง ทำให้แป้งที่พองตัวแล้วแข็งตัว และรักษารูปร่างไว้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนและมีขนาดเล็ก มีเนื้อนุ่ม ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ควรประมาณร้อยละ 2-4 ไม่ควรอบให้แห้งเกินไป เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบร่วน และหืนได้ง่าย

2) ข้าวพองที่ผลิตโดยการอัดแป้งไว้ระหว่างแผ่นโลหะร้อน เป็นวิธีที่นำแป้งที่ผสมแล้วมาวางบนแผ่นโลหะร้อน แล้วกดด้วยแผ่นโลหะอีกแผ่นหนึ่ง การกดแผ่นโลหะทำให้เกิดแรงอัดลงบนแป้ง และแรงอัดจะมีมากขึ้นเมื่อน้ำในแป้งกลายเป็นไอน้ำแทรกอยู่ในเนื้อแป้งนั้น เมื่อยกแผ่นโลหะบนออก ความดันไอน้ำจะลดลงทันที เนื่องจากได้ดันแป้งที่หลอมละลายให้พองตัวออกไป เมื่อไอน้ำระเหยไปหมด และอุณหภูมิของแป้งลดลงจะทำให้แป้งแข็งตัว และรักษารูปร่างไว้ได้ สำหรับการผลิตวิธีนี้ควรใช้แรงกด 100-1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรืออุณหภูมิระหว่าง 150-370 องศาเซลเซียส และกดนาน 1-30 วินาที ส่วนความชื้นที่เหมาะสม คือ ช่วงร้อยละ 8-16

3) ข้าวที่พองตัวโดยใช้ลมร้อน เป็นวิธีการนี้จะทำให้พองตัวได้ประมาณ 1.5-3.0 เท่า โดยก่อนแป้งจะต้องมีความชื้นระหว่างร้อยละ 22-27 โดยนำส่วนผสมที่ปั่นเป็นก้อนใส่ลงในหม้อหนึ่งความดัน ด้วยไอน้ำที่ความดัน 20 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 6-30 นาที นำแป้งมานวด และ

หั่นเป็นแผ่นบาง ๆ ทำให้ผิวแห้งแข็งโดยใช้ลมเป่าจนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 16-21 นำมารีดให้เป็นแผ่นบาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 177-400 องศาเซลเซียส นาน 8-35 วินาที ข้าวที่พองตัวแล้วจะมีความชื้นเหลือร้อยละ 3-7 อาจทำให้ลดลงอีกโดยนำไปอบหรือคั่วที่อุณหภูมิ 107-290 องศาเซลเซียส นาน 2-10 นาที

4) ข้าวที่พองตัวโดยใช้สุญญากาศ เริ่มจากการทำให้ข้าวอยู่ในสภาพที่เหนียวและแข็งก่อน จากนั้นจึงใส่ในตู้สุญญากาศเพื่อให้พองตัว โดยในขั้นแรกเตรียมสารละลายเข้มข้นจากน้ำตาล และชั้นที่สองเตรียมของผสมของส่วนที่เป็นของแข็ง แล้วนำมาผสมกันทั้งหมด นวดเป็นก้อนเหนียวและแข็ง นำไปรีดเป็นแผ่น และทำให้เย็น ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในตู้สุญญากาศ โดยวางไว้บนโลหะที่รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 62 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงเดินเครื่องสุญญากาศ และรักษาระดับไว้ที่ 29 นิ้ว แป้งจะพองตัวจนเป็นก้อนกลม และแห้งสนิท

5) การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นการทอดในสภาวะที่มีความดันบรรยากาศต่ำกว่า 50 ทอร์ (6.65 กิโลปาสกาล) เนื่องจากความดันที่ต่ำทำให้จุดเดือดของน้ำมันและความชื้นในอาหารต่ำกว่าปกติ การทอดแบบสุญญากาศจะให้ผลดี คือ สามารถลดปริมาณน้ำมันในอาหาร สามารถถนอมสี และรสชาติเดิมของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ และปริมาณออกซิเจนในกระบวนการน้อย และมีผลต่อคุณภาพน้ำมันน้อย (Shyu *et al.*, 1998)

6) ข้าวที่พองตัวโดยไม่โครเวฟ การพองตัวโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ น้ำที่ใส่ลงไปจะต้องกระจายตัวสม่ำเสมอ ปริมาณความชื้นควรควบคุมในเกณฑ์ร้อยละ 12-26 โดยน้ำหนัก เมื่อนำไปเข้าเครื่องไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในส่วนผสมจะระเหยออกไปทันที และทำให้แป้งพองตัว ถ้าอาหารนั้นอยู่ในสุญญากาศการพองตัวจะดีขึ้น

7) ข้าวที่พองตัวโดยใช้เตาอบ เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับแป้งสุกผงที่ทำจากพืชหัวหรือพืชอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน แป้งที่ใช้ผลิตควรมีค่า Granule swelling power มากกว่า 44 การใช้แป้งสุกจะช่วยให้อาหารสูงขึ้น ประเทศญี่ปุ่นได้นำเอาวิธีนี้ไปทำข้าวเกรียบแบบและอาราเร่ โดยส่วนผสมมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 25 นำมาตัดเป็นแท่งหรือรูปกลมด้วยเครื่องแรงอัดสูง นำไปอบที่อุณหภูมิ 150-260 องศาเซลเซียส นาน 3-15 นาที

8) ข้าวที่พองตัวโดยการทอด ผลผลิตที่ได้จากวิธีนี้มีหลายชนิด ข้าวพองในกลุ่มนี้ที่รู้จักกันดี คือ ข้าวเกรียบต่าง ๆ โดยเมื่อส่วนผสมต่าง ๆ ผสมเข้ากันดี มีการจับตัวเป็นก้อนและอัดเป็นรูปร่างได้ นำไปนึ่งให้สุก ลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 8 ก่อนนำไปทอดให้ พองตัวหรือเก็บไว้ทอดเมื่อต้องการรับประทาน เวลาที่ใช้ในกระบวนการทอดอาหารนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีที่ใช้ในการทอด (Shallow หรือ Deep-fat frying) ความหนาของอาหาร และความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ อุณหภูมิที่ใช้ในการทอดอาหารนั้นต้องคำนึงถึง ความประหยัด และลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ที่อุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการทอดน้อยลง และได้อัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามการทอดที่อุณหภูมิสูงนั้นทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมันไปเป็นกรดไขมันอิสระ และเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด กลิ่นรส และสีของน้ำมันที่ใช้ในการทอด การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันที่ใช้ในการทอดบ่อยครั้ง ซึ่งมีผลต่อต้นทุนของน้ำมันในการทอด (Fellow, 1990)

จริยา (2542) เตรียมข้าวพองจากข้าวกล้องหักพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่เหลือจากขั้นตอนการสีข้าวของโรงสีข้าวในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา จากการคัดเลือกข้าวกล้องหักที่ผสมกับสิ่งเจือปนอื่นๆ พบว่า ได้ปริมาณข้าวกล้องหักร้อยละ 85.90 และสิ่งเจือปนอื่นๆ อีกร้อยละ 14.10 ข้าวกล้องหักที่คัดเลือกได้มีความยาว ความกว้าง และความหนาในช่วง 1.0-3.0, 2.0-2.5 และ 1.5-2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีสีครีมถึงน้ำตาลอ่อนหรือสีเหลืองหม่น ลักษณะขุ่น ทึบแสง การวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ได้ปริมาณร้อยละ 9.61, 9.14, 10.27, 1.29, 3.89 และ 65.80 ตามลำดับ และตรวจไม่พบสารอะฟลาทอกซิน

กรรมวิธีการเตรียมข้าวพองเริ่มจากการนำข้าวมาล้างทำความสะอาด หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าใช้เวลาประมาณ 18-22 นาที อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมเท่ากับ 1.0:1.3 โดยที่ข้าว 1 ถ้วยเท่ากับ 175 กรัม และน้ำ 1 ถ้วยเท่ากับ 200 กรัม (งามชื่น, 2551) และนำมาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 180 นาที พบว่า ความชื้นหลังการอบแห้งเท่ากับร้อยละ 8.92 นำไปทอดในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ทำให้ผิวด้านนอกพองกรอบ เมื่อความชื้นที่ผิวนอกลดลงถึงจุดหนึ่ง และมีสีเหลืองทอง ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาการเมลลไเซชัน (Pyler, 1973) ค่าสีจากการวัดด้วยเครื่องวัดค่าสี (Chroma meter) ได้ค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 59.80, 17.90 และ 41.20 ตามลำดับ จากนั้นซับน้ำมัน เพราะการทอดอาหารจะมีน้ำมันซึมเข้าไปประมาณร้อยละ 10-40 ของน้ำหนักอาหารที่ผ่านการทอดแล้ว (Joslyn and Heid, 1964) หลังจากนั้น ทำให้เมล็ดที่เกาะกันนั้นแตกออกจากกัน ซึ่งเป็นลักษณะที่ทำงานในข้าวเจ้าข้าวกล้อง เมื่อปริมาณความชื้นลดลงมาก เพราะเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวทำให้การยึดเกาะติดของข้าวน้อยลง ดังนั้นข้าวพองที่ได้จะมีลักษณะเป็นเมล็ด ๆ ไม่เกาะกัน

2.4.2 กระบวนการทำแห้งก่อนการพอง

การทำแห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความชื้นให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษา และเพื่อให้ได้ปริมาณข้าวหลังการขัดสีมากที่สุด ข้าวที่หนึ่งจะมีความชื้นร้อยละ 45-50 ขณะร้อน ภาวะการทำแห้งข้าวเปลือกธรรมดา เนื่องจากความชื้นของข้าวซึ่งสูงกว่า เมื่อเริ่มต้นการทำแห้ง ข้าวเปลือกหนึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการนวดข้าวปกติ ดังนั้นจึงต้องระวังไม่ให้ข้าวหนึ่งเกิดการแตกร้าว (Luh and Mickus, 1991) เมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์ สุดท้ายหลังจากการทำแห้งทำให้ข้าวหนึ่งมีรอยแยกซึ่งเป็นผลระหว่างการขัดสี เมล็ดข้าวที่ทำแห้งมากเกินไปเมื่อนำไปหุงสุกรูปร่างของเมล็ดข้าวสุกจะบานแตกหรือหักมีรอยแตกทั้งแนวขวาง และแนวยาว เมล็ดข้าวหักเป็นชิ้นเล็กๆ (Noomhoom, 2001)

ในขั้นตอนการทำแห้ง มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึง 2 ประการหลักด้วยกัน ประการแรก คือ การลดความชื้นข้าวเปลือกหนึ่งให้เหลือเป็นร้อยละ 14-16 โดยไม่เกิดการแตกร้าวของเปลือกข้าว (ซึ่งจะทำให้เกิดการหักของเมล็ดในระหว่างการขัดสี) และประการที่สอง คือ อัตราเร็วในการกำจัดปริมาณน้ำ เนื่องจากความชื้นสูง และทำแห้งช้า (Slow rate) พวกจุลินทรีย์เจริญ และอาจทำให้เกิดการเสื่อมเสียต่อข้าวเปลือกหนึ่งได้ และหากทำแห้งเร็วเกินไป (Fast rate) และทำอย่างต่อเนื่อง ไม่มีการพักข้าว (Tempering) อาจเกิดการแตกร้าวได้ ซึ่งการแตกร้าวยังไม่พบในขณะทำแห้งแต่จะพบหลังการทำแห้ง 2 ชั่วโมงขึ้นไป ดังนั้นระหว่างการทำแห้งต้องพยายามไม่ให้เกิดการหักภายหลังจากการขัดสีของเมล็ด

ขึ้น ซึ่งสามารถลดความชื้นลงถึงร้อยละ 18 และหากความชื้นที่ต่ำกว่านี้ การหักของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Luh and Mickus, 1991)

อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสิ้นสุดกระบวนการทำแห้งสัมพันธ์กับอุณหภูมิของข้าวเปลือกหลังจากการปักข้าว ซึ่งโดยทั่วไปการทำแห้งแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก ลดความชื้นข้าวจนถึงร้อยละ 16 จากนั้นปักข้าวต่ออีก 24 ชั่วโมง แล้วจึงเริ่มขั้นที่ 2 ซึ่งลดความชื้นจนกระทั่งถึงร้อยละ 14 การทำแห้งอย่างช้า ๆ ในช่วงแรก เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตสูง การแตกร้าวในช่วงใกล้สิ้นสุดการทำแห้ง (Final state) ส่งผลให้เปลือกหุ้มเปราะ แตกง่าย ดังนั้น ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 16 เป็นสภาพความแข็ง (Hardening state) ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวหักขณะขัดสี แต่เมื่อความชื้นลดลงถึงร้อยละ 16-18 โดยมากลดความชื้นให้ได้ประมาณร้อยละ 14 เพื่อให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ดังนั้นเพื่อการป้องกันการแตกร้าวของเมล็ด การทำแห้งต้องหยุดเมื่อความชื้นถึงร้อยละ 16 และจากนั้นจะใช้อุณหภูมิที่อยู่ในเมล็ดข้าว และเวลาเข้าช่วยให้แห้งลงมา เรียกว่าการปักข้าว (Tempering) (Luh and and Mickus, 1991)

Murugesan and Bhattacharya (1986) พบว่า ความชื้นของข้าวก่อนที่จะทำการพองตัวมีความสำคัญต่อคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวเป็นอย่างมาก โดยถ้าความชื้นข้าวมีความชื้นต่ำเกินไปจะพองตัวได้น้อย และถ้าข้าวมีความชื้นสูงเกินไป ก็จะทำให้คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวที่ต่ำเช่นกัน ดังนั้นจะต้องทำแห้งข้าวให้มีความชื้นที่เหมาะสมที่จะให้คุณภาพการพองตัวสูง โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมของข้าวก่อนทำการพองตัวมักอยู่ในช่วงร้อยละ 13.5-14.5

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทอดข้าวพอง

สิ่งที่สำคัญต่อกระบวนการทอดนั้นมีหลายประการ สิ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอด คือ น้ำมัน โดยน้ำมันที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอาหาร หมายถึง น้ำหนักของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอด บางครั้งอาจแสดงในรูปของร้อยละของน้ำหนักในผลิตภัณฑ์สุดท้าย การลดหรือเพิ่มของปริมาณน้ำมันในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอด ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทอดนี้อาจหมายถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการทอดซึ่งมีอยู่หลายปัจจัยดังนี้ คือ

1) **คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน** องค์ประกอบของน้ำมันมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอด ซึ่งการดูดซับน้ำมัน และการเสื่อมเสียของน้ำมันเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในกระบวนการทอด (Saguy and Pinthus, 1995) สมบัติของน้ำมันที่แตกต่างกันนั้นทำให้อาหารมีคุณภาพที่แตกต่างกันออกไป เช่น กลิ่นรส และอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Rossell, 2001)

ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันทำให้อาหารมีคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาที่แตกต่างกันออกไป Rossell (2001) ได้กล่าวไว้ว่า น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการทอดอาหารเพราะน้ำมันปาล์มมีปริมาณไอโอดีนต่ำ (Iodine value) ประมาณ 55-56 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณต่ำ (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และกลิ่นเหม็นหืนในอาหาร นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังมีองค์ประกอบของ α -tocopherol และ γ -tocotrienols ซึ่งเป็นสารกันหืนธรรมชาติทำให้น้ำมันปาล์มมีความคงทนต่อ

ปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงเมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ น้ำมันปาล์มนิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทอด เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเนื่องจากไม่มีกลิ่นที่อุณภูมิห้อง มีคุณค่าทางโภชนาการ (มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นองค์ประกอบร้อยละ 50) ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย และคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มโอเลอินกับน้ำมันที่ผ่านการเติมไฮโดรเจน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดฝ้าย พบว่า น้ำมันปาล์มโอเลอิน จะมีความคงทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า น้ำมันชนิดอื่น ๆ และมีคุณภาพในการยอมรับที่ดี (Hui, 1996)

2) รูปร่างของอาหาร อาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อมวลมากจะทำให้มีการดูดซึมของ ปริมาณน้ำมันมากขึ้น และพื้นที่ผิวของอาหาร และปริมาณของน้ำมันมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้น อาหาร ที่มีพื้นที่ผิวขรุขระทำให้มีพื้นที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณของน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้นด้วย สาเหตุนี้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตอาหารทอดมีการตัดผิวหน้าของอาหารให้เรียบเพื่อลดการดูดซึม ของน้ำมัน (Saguy and Pinthus, 1995)

3) ปริมาณความชื้นในอาหาร

Saguy and Pinthus (1995) กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และเวลาที่ใช้ ในการทอด พบว่า ความชื้นที่สูงสูญเสียไปเป็นสัดส่วนกับสแควร์รูทของเวลาที่ใช้ในการทอด การดูดซึม ของน้ำมันในอาหารเกิดขึ้นขณะที่ความชื้นเคลื่อนที่ออกจากอาหาร

Moreira *et al.* (1997) ได้ศึกษาถึงปัจจัยในการเพิ่มขึ้นของน้ำมันใน Tortilla chips ใน กระบวนการทอดแบบ Deep-fat frying โดยศึกษาถึงสภาวะที่แตกต่างในการทอด พบว่าปริมาณ ความชื้นเริ่มต้นและขนาดของตัวอย่างมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่าง มีความชื้นที่สูงและมีขนาดเล็กจะมีการดูดซับน้ำมันปริมาณสูง ปริมาณน้ำมันในขั้นสุดท้ายกับปริมาณ น้ำที่เคลื่อนที่ออกจากตัวอย่าง พบว่ามีความสัมพันธ์กับอุณภูมิที่ใช้ในการทอด Tortilla chips ที่ ทอดในน้ำมันที่ผ่านการใช้มาแล้วมีผลทำให้มีน้ำมันปริมาณมากสะสมอยู่ในบริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง มากกว่า Tortilla chips ที่ทอดในน้ำมันที่ใหม่

4) กรรมวิธีก่อนการทอด กรรมวิธีก่อนกระบวนการทอดที่แตกต่างกันไปจะมีความสามารถ ในการลดปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกันไปด้วย โดยทั่วไปการนำผลิตภัณฑ์ไปแช่แข็งเพื่อลดปริมาณ ความชื้นของอาหารก่อนการนำไปทอดทำให้ปริมาณน้ำมันภายหลังการทอดลดลง การนำผลิตภัณฑ์ ไปแช่แข็งก่อนการนำไปทอดทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น (นุช, 2545) กระบวนการลวกหรือกระบวนการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลงก่อนการที่จะนำไปทอด พบว่ามีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่นำไปทอดจะมีปริมาณน้ำมันที่ลดลง การทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เปียก ด้วยน้ำมัน จากนั้นให้ความร้อนโดยไอน้ำและทำอย่างนี้ซ้ำไปซ้ำมาหลายๆ ครั้ง พบว่า วิธีนี้มี ประสิทธิภาพในการลดการดูดซึมของน้ำมัน การนำมันฝรั่งที่ทอดไปแช่แข็งก่อนกระบวนการทอดทำ ให้มีปริมาณน้ำมันที่ลดลง (Saguy and Pinthus, 1995)

5) การเคลือบที่ผิวหน้า

Saguy and Pinthus (1995) กล่าวว่ามีการใช้สารประเภทไฮโดรคอลลอยด์เคลือบผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันในขณะทำการทอด โดยปกติแล้วการใช้สารประเภทไฮโดร คอลลอยด์นี้ในผลิตภัณฑ์ชุบทอดได้มีการจดสิทธิบัตรไว้แล้ว นอกจากการใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อ ป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันแล้วยังมีการใช้อะมิโลสเคลือบมันฝรั่งเพื่อต้านการเพิ่มของปริมาณน้ำมัน

การเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วย Batter ก่อนการทอดมีผลทำให้มีการสูญเสียความชื้นน้อยลง ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันที่ดูดซับไว้น้อยด้วย และถ้ามีการนำ Long-fiber cellulose ผสมใน batter หรือในส่วนผสมของโดนต์ พบว่ามีการลดลงของปริมาณน้ำมันที่ดูดซับ

2.5 ข้าวตอก

ข้าวตอกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวเปลือกมาทำการปรับความชื้นให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมคือร้อยละ 14 ซึ่งเหมาะกับการแตกตัวของเมล็ดข้าว หลังจากนั้นนำมาให้ความร้อน ข้าวที่เหมาะสมกับการแตกตัวเป็นข้าวตอกนั้นจะต้องมีเมล็ดที่พองบาง และเยื่อหุ้มเมล็ดไม่หนา ข้าวเปลือกที่ทำการลดความชื้นลงระหว่างการเก็บนั้นจะเป็นผลดีต่อการรักษาเปลือกหุ้มเมล็ดและความหยาบของเนื้อ แต่จะไม่เหมาะกับการแตกตัวเป็นข้าวตอก การนำเอาข้าวเปลือกมาแช่ในสารละลายเกลือร้อยละ 2 จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแตกตัวเป็นข้าวตอกให้พองได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้าแช่นานเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการแตกตัวเป็นข้าวตอกลดลง สารละลายเกลือจะช่วยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดและ endosperm มีความอ่อนนุ่มขึ้น เมล็ดข้าวเปลือกที่ได้รับความร้อนที่เหมาะสมน้ำจะกลายเป็นไอและความดันไอจะทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดและ endosperm ขยายตัวและระเบิดออก ข้าวตอกที่ได้จะมีลักษณะพองสีขาวปนน้ำตาล ข้าวเหนียว เมื่อนำมาคั่วจะแตกตัวได้มากและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเปราะบางกว่าข้าวเจ้า การพองและการขยายตัวจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะรูปร่างของเมล็ดข้าวและอัตราส่วนของ amylase และ amylopectin ในเมล็ดข้าว ข้าวตอกเป็นข้าวที่มีการพองตัวด้วยไมโครเวฟ ซึ่งการพองตัวโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟนั้น น้ำที่ไส่ลงจะต้องกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณความชื้นควรควบคุมในเกณฑ์ร้อยละ 12 – 26 เมื่อนำไปเข้าเตาไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในส่วนผสมจะระเหยออก และทำให้เกิดการพองตัว (กษมา และวรางคณา, 2545)

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว (Muragesan and Bhattacharya, 1986)

1) ความชื้นของข้าวก่อนการพอง

ข้าวที่มีความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้พองตัวได้น้อย เนื่องจากความดันไอน้ำพองที่จะทำให้เกิดการระเบิด และถ้าข้าวมีความชื้นสูงเกินไปก็จะทำให้คุณภาพการพองตัวของข้าวต่ำ ดังนั้นจึงต้องหาความชื้นที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้คุณภาพการพองตัวที่ดี โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมของข้าวก่อนการพองตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 13.5 - 14.5 ความชื้นนอกจากมีผลต่อปริมาณแล้วยังมีผลต่อสีของข้าวพอง โดยข้าวที่มีการพองตัวน้อยจะมีสีขาวสว่างกว่า เนื่องจากการพองตัวของข้าวจะทำให้ข้าวเกิดรูพรุน มีช่องว่างเล็กๆจำนวนมากในข้าวแต่ละเมล็ด ดังนั้นข้าวที่มีการพองตัวสูงค่าความสว่างจึงน้อย

2) อุณหภูมิที่ใช้ในการพองตัว

หากอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไปอาจทำให้ข้าวไม่เกิดการพองตัวหรือพองตัวได้น้อย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวที่ได้ก็จะต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ข้าวไหม้ก่อนที่จะพองตัวได้หมด อุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้ข้าวมีคุณภาพในการพองตัวสูง และเมื่อใช้วิธีการผลิตเดียวกัน ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน

3) เกลือ

เกลือโซเดียมคลอไรด์จะช่วยให้มีการขยายตัวของข้าวพองเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะสมคือร้อยละ 2 นอกจากเกลือโซเดียมคลอไรด์แล้วเกลืออื่นๆ เช่น CaCl_2 ก็สามารถเพิ่มอัตราส่วนการพองตัวของข้าวได้เช่นกัน