บทที่ 2
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าว เป็นธัญพืชที่อยู่ที่อยู่ในวงศ์หญ้า (Gramineae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. เป็นแหล่งอาหารหลักที่ให้คาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในการดำรงชีวิตของประชากรโลก เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนเปลือกที่ห่อหุ้มอยู่ภายนอก ถัดเข้าไปจะเป็นชั้นรำที่เป็นเยื่อบางๆ ห่อหุ้มเมล็ดข้าวขาว และจมูกข้าว หรือคัพภะไว้ (embryo) ตัวเมล็ดข้าวขาวที่เราบริโภคกันประกอบขึ้นจากโมเลกุลของแป้งที่อัดกันแน่นเป็นอนุภาคเล็กๆนับล้านล้านอนุภาค และส่วนของคัพภะจะอยู่ปลายเมล็ดเป็นส่วนของต้นอ่อนที่จะเจริญงอกงามเป็นต้นข้าวต่อไป ซึ่งเป็นแหล่งของเอนไซม์ วิตามิน และแร่ธาตุ ที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด (Saif *et al*., 2004)

2.1.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าว (rice grain) เป็นผลชนิดคาริออปซิส (caryopsis) เนื่องจากส่วนที่เป็นเมล็ดเดี่ยว (single seed) ติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่ หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) เมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ (อรอนงค์, 2547) ดังนี้

2.1.1.1 เปลือกข้าว หรือเรียกว่า แกลบ (Hull or Husk) ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palca) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas) โดยเปลือกข้าวมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก

2.1.1.2 ส่วนของเมล็ด หรือเมล็ดข้าวกล้อง (Caryopsis or brown rice) คือส่วนที่เอาเปลือกหรือแกลบออกไปแล้วแต่ยังไม่ผ่านการขัดสี เป็นส่วนที่รับประทานได้ ประกอบด้วย

1) เยื่อหุ้มผล (Pericarp) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ epicarp mesocarp และ endocarp มีลักษณะเป็นเส้นใยผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses)

2) เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไปประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นที่อยู่ของสารประเภทไขมัน

3) เยื่อแอลิวโรน (Aleurone layer) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดเข□าไป เยื่อแอลิวโรนจะห่อหุ้มเนื้อเมล็ด (endosperm) และคัพภะ องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโปรตีน นอกจากนี้ยังประกอบด้วย ไขมัน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) เนื้อเมล็ด (Endosperm) อยู่ชั้นในสุดของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ แป้งในเมล็ดข้าวมีอยู่ 2 ชนิด คือ แอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งมีสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดของข้าว นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยโปรตีน ไขมัน และเส้นใย ประมาณร้อยละ 7.8 0.5 และ 0.4 ตามลำดับ

5) คัพภะ (Embryo) อยู่ติดกับเนื้อเมล็ดทางด้านเปลือกใหญ่ที่หุ้มเมล็ดเป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นต่อไป คัพภะประกอบด้วย ต้นอ่อน (plumule) รากอ่อน (radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptiles) เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhizae) ท่อน้ำอาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) คัพภะเป็นส่วนที่มีโปรตีน และไขมันสูง

2.1.2 การจำแนกชนิดของข้าวตามลักษณะส่วนประกอบของแอมิโลส และแอมิโลเพคติน

2.1.2.1 ข้าวเหนียว (Glutinous rice) ประกอบด้วยแอมิโลเพคตินร้อยละ 95 มีแอมิโลสน้อยมากถึงไม่มีเลย เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวขุ่น เมื่อนึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่จับตัวติดกันเหนียวแน่น และมีลักษณะใส ข้าวเหนียวมี 2 สี คือ สีขาว และสีดำ (คนภาคเหนือเรียกว่า ข้าวเหนียวก่ำ หรือข้าวเหนียวดำ) ซึ่งในข้าวเหนียวก่ำมีรงควัตถุที่ทำให้เกิดสี คือ แอนโทไซยานิน ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (อรอนงค์, 2547)

2.1.2.2 ข้าวเจ้า (Non-glutinous rice) เมล็ดข้าวสารจะมีสีขาวใส มีปริมาณแอมิโลสเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20-34 ที่เหลือเป็นแอมิโลเพคติน ซึ่งมีผลให้ข้าวสารที่นำไปหุงเป็นข้าวสุกจะมีสีขาวขุ่น มีลักษณะร่วนไม่เกาะติดกัน อัตราส่วนของส่วนประกอบของแอมิโลส และแอมิโลเพคตินทั้งสองชนิดนี้ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ ข้าวมีคุณลักษณะการหุงต้มที่ต่างกัน คือ ข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะดูดน้ำ และขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้ม ได้มากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำทำให้ข้าวที่สุกแล้วมีลักษณะร่วน ส่วนข้าวที่มีแอมิโลสต่ำจะดูดน้ำ และขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวที่มีแอมิโลสสูง ข้าวที่สุกแล้วจะมีลักษณะเหนียว และนุ่มกว่า (อรอนงค์, 2547)

2.2 ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้อง (brown rice or unpolished rice) คือ เมล็ดข้าวที่กะเทาะออกเฉพาะเปลือกแต่ยังไม่ได้ขัดสี เมล็ดข้าวยังมีจะมีคัพภะอยู่บริเวณโคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ และมีเยื่อรำติดอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหาร และมีประโยชน์ต่อร่างกาย ในส่วนคัพภะประกอบด้วย โปรตีน วิตามิน ไขมัน แร่ธาตุ และกรดแอมิโน (amino acid) ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ข้าวกล้องจะมีสีเดียวกับเยื่อหุ้มผล และเยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งเป็นส่วนที่มีเส้นใยอาหารสูง โดยทั่วไปข้าวกล้องจะมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 7-12 และถ้าขัดสีข้าวกล้องจนมีสีขาวจะทำให้โปรตีนสูญหายไปประมาณร้อยละ 30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวกล้องงอก (germinated unpolished rice or germinated brown rice) คือข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำที่อุณหภูมิต่างๆ แล้วนำไปเพาะจนกระทั่งจมูกข้าวงอกออกมา ในระหว่างการงอกของข้าว สารอาหารในข้าวกล้องจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยสารอาหารหลักที่เพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอก คือ เส้นใยอาหาร กรดแกมมา-แอมิโนบิวทิริก (gamma- aminobutyric acid, GABA) แกมมา-โอรีซานอล (gamma-oryzanol) วิตามินอี วิตามินบี1 และวิตามินบี 6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องงอก และไม่ผ่านการงอก พบว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น 10 เท่า เส้นใยอาหาร และวิตามินอี เพิ่มขึ้น 4 เท่า ส่วนวิตามินบี 1 และบี 6 เพิ่มขึ้น 3 เท่า (Kayahara and Tsukahara, 2000) นอกจากนี้ Moongngarm and Saetung (2010) ได้รายงานว่าข้าวกล้องที่ผ่านการงอกมีแกมมา-โอรีซานอลเพิ่มขึ้น 1.3 เท่า และสารประกอบประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (total phenolic compounds) เพิ่มขึ้น 1.2 เท่า ซึ่งนอกจากจะได้ประโยชน์จากการที่มีปริมาณสารอาหารที่สูงขึ้นแล้ว ยังทำให้ข้าวกล้องงอกที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม รับประทานได้ง่ายกว่าข้าวกล้องธรรมดาอีกด้วย จึงง่ายแก่การหุงรับประทานได้โดยไม่ต้องผสมกับข้าวขาวตามความนิยมของผู้บริโภค

เมล็ดข้าวเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีการเจริญเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงจะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว โดยจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงานเมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกสารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนั้นโปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดแอมิโนและเปปไทด์ (peptide) รวมทั้งยังพบการการสะสมสารเคมีสำคัญต่างๆ เช่น แกมมา-โอรีซานอล โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และโดยเฉพาะ GABA (Ito and Ishikawa, 2004)

2.3 ข้าวเหนียวก่ำ

ข้าวเหนียวก่ำ หรือข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa* L.) เป็นการเรียกลักษณะของเมล็ดข้าวที่มีสีม่วงดำ หรือแดงก่ำตามภาษาพื้นเมืองทางภาคเหนือ ข้าวเหนียวก่ำนิยมปลูกในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีปลูกทั่วไปในประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สาธารณรัฐเวียดนาม อินเดีย ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาชนจีน (Itani, 2000) ด้วยลักษณะเมล็ดข้าวมีสีม่วงดำ หรือแดงก่ำทำให้เป็นพันธุ์ข้าวที่ไวต่อแสง ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปีมีความสามารถในการทนแล้ง และการฟื้นตัวจากแล้งได้ดี ต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว (วิไลลักษณ์, 2541) ลักษณะเด่นที่สามารถสังเกตได้ชัดเจนแตกต่างไปจากข้าวที่นิยมปลูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั่วไป คือ ข้าวเหนียวก่ำจะมีสีม่วงดำที่แสดงบนส่วนต่างๆ ของต้นข้าว และเมล็ด เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และ เยื่อหุ้มเมล็ด เป็นต้น (ดำเนิน และศันสนีย์, 2543) สารที่ทำให้เกิดสีนี้เป็นรงควัตถุ (pigment) ที่เรียกว่าแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งสารประกอบประเภทนี้จะให้สีแตกต่างกันไปตามพันธุ์ สีจะเข้มแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณแอนโทไซยานินของแต่ละพันธุ์ที่สามารถสะสมได้ โดยส่วนใหญ่จะพบในในทุกส่วนของต้นข้าวทั้งที่เป็นส่วนของลำต้น ยกเว้นในส่วนของคัพภะที่ไม่มีสีของแอนโทไซยานิน การปลูกข้าวเหนียวก่ำในอดีตมิได้ปลูกเพื่อบริโภค แต่ปลูกเพื่อเป็นสมุนไพรใช้ในการรักษาโรคเท่านั้น โรคที่ใช้ข้าวเหนียวก่ำรักษา คือ การตกเลือดของหญิงคลอดลูก กล่าวกันว่าหญิงสตรีใดคลอดลูก และมีการตกเลือดไม่หยุด จะนำเอาต้นข้าวเหนียวก่ำมาต้มกับใบชาให้รับประทาน ดังนั้นการเก็บเกี่ยวจึงเก็บเกี่ยวไว้ทั้งต้น และมัดห้อยไว้จนกว่าจะนำมาใช้เป็นสมุนไพร

ข้าวเหนียวก่ำมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบไปด้วย เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 1.77 10.07 3.08 1.24 และ 83.84 ตามลำดับ (พันทิพา และคณะ, 2547) และ ธีรพงษ์ (2538) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารของข้าวเหนียวก่ำ พบว่าประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ทั้งในส่วนของเปลือก และข้าวกล้อง โดยส่วนใหญ่แล้วข้าวเหนียวก่ำมีปริมาณธาตุอาหารทั้ง 5 ชนิดสูงกว่าข้าวที่ขัดสี ซึ่งสอดคล้องกับ ดำเนิน และศันสนีย์ (2543) ที่พบว่าข้าวเหนียวก่ำมีโปรตีนโดยรวมสูงกว่าข้าวขัดสี และยังพบว่าข้าวเหนียวก่ำประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระได้แก่ แกมมา-โอรีซานอล และสารแอนโทไซยานินเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ช่วยลดการเกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว (Wen *et al*., 2002) ยับยั้งการเจริญ และการลุกลามของเซลล์มะเร็ง (Anne *et al*., 2000; Chen *et al*., 2006) รวมทั้งช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน (Teltathum, 2004)

2.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญในข้าวเหนียวก่ำกล้องงอก

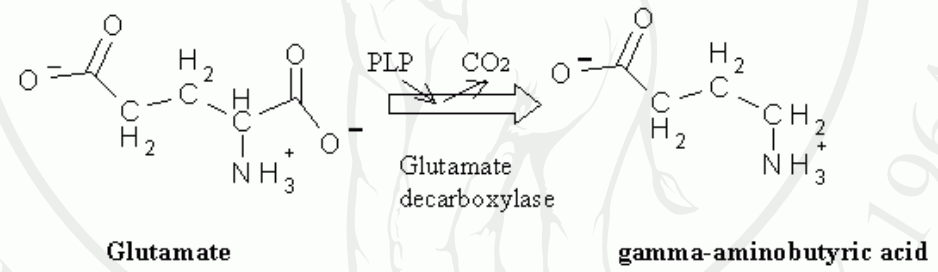
2.4.1 กรดแกมมา- แอมิโนบิวทิริก (Gamma- aminobutyric acid, GABA)

กรดแกมมา-แอมิโนบิวทิริก คือ กรดแอมิโนที่ไม่ได้นำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีน มีทั้งประจุบวก และลบในโมเลกุล (zwitterionic) สมบัติทางกายภาพของ GABA ได้แก่ มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 203 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายน้ำเท่ากับ 1.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศา ค่าคงที่การแตกตัว (pKa dissociation constant) เท่ากับ 4.03 และ 10.56 (Shelp *et al*., 1999)

GABA ถูกผลิตขึ้น โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decaboxylase, GAD) เปลี่ยนจากกรดแอล-กลูตามิก (L-glutamic acid) ไปเป็น GABA โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) (รูป 2.1) (Komatsuzaki *et al.,* 2007) ซึ่งเกิดขึ้นมากในระหว่างกระบวนการแช่ และการงอกของข้าว สำหรับ GABA ในมนุษย์เป็นจุดประสานประสาทแบบยับยั้ง (inhibitory synapses) ช่วยให้สมองเกิดการผ่อนคลาย ลดอาการนอนไม่หลับ และลดอาการซึมเศร้า (Hayakawa *et al*., 2004; Sunte *et al*., 2007) ส่วน GABA ในสัตว์มีความเกี่ยวข้องในระบบประสาท และกล้ามเนื้อ (neuromuscular system) ซึ่งทำให้สัตว์สามารถรอดพ้นความเครียดจากสภาวะแวดล้อมได้ และ GABA ในพืชมีผลต่อกลไกในการตอบสนองทางเคมีเพื่อบรรเทาความเครียด โดยทั่วไปปริมาณ GABA ในพืชมีอยู่ในระดับต่ำ 0.03-2.00 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสด แต่ปริมาณจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสิ่งกระตุ้น เช่น ภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ (hypoxia) ทำให้ความเข้มข้นของ GABA ในข้าวงอกเพิ่มขึ้นถึง 8 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสด (Shelp *et al*., 1999) ปริมาณ GABA ที่เพิ่มขึ้นยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งได้แก่ ชนิดและสายพันธุ์ข้าว ขนาดคัภพะ อุณหภูมิ และเวลาการเพาะเมล็ด และกระบวนการอบแห้ง (ศุภนุช, 2554)



รูป 2.1 กลไกการเกิด GABA

ที่มา: Goto *et al.*, (1994)

นอกจากนี้ GABA ยังถูกนำมาใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการลดความดันโลหิต (Okada *et al*., 2000) ลดอาการติดสุราเรื้อรัง (Oh *et al*., 2003) และยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว และกระตุ้นการตายของเซลล์มะเร็งได้ (Komatsuzaki *et al*., 2007) จึงได้มีการนำ GABA มาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดเพื่อให้มีผลป้องกันโรคดังกล่าว เช่น ยอดชาเสริม GABA ที่ถูกผลิตโดยการบ่มในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นการบ่มในสภาวะที่มีออกซิเจน 1 ชั่วโมง และบ่มในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอีกครั้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการสะสมของ GABA ในคัพภะโดยการแช่น้ำ เป็นต้น (Sawai *et al*., 2001)

Wang *et al.* (2009) ได้ศึกษาความคงตัวของปริมาณสาร GABA ของอาหารต่อความร้อน พบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน และความแตกต่างของกรด-ด่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(pH) มีผลต่อปริมาณ GABA เมื่อทำให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ที่ค่าความเป็น pH เท่ากับ 5 และ 4.5 ทำให้ปริมาณ GABA ลดลงจากปริมาณเริ่มต้นร้อยละ 16.8, 22.2 ตามลำดับ เมื่อทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที ค่าความเป็น pH 4.5 พบว่ามี GABA ลดลงร้อยละ 30.4 และทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 และ 93 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที พบว่า GABA ลดลงน้อยกว่าร้อยละ 10 แสดงว่า GABA มีความเสถียรในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาสั้น และที่ค่าความเป็น pH เท่ากับ 5 มากกว่าค่าความเป็น pH 4.5

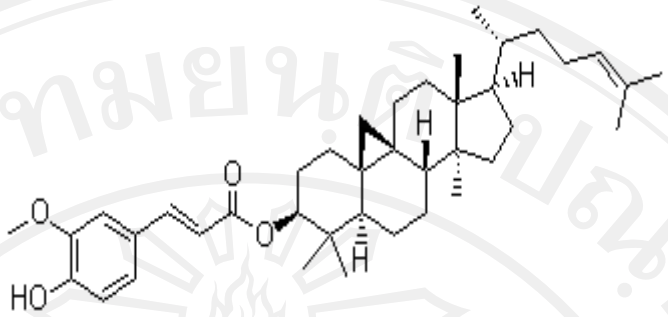
ขนิษฐา และคณะ (2553) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA ระหว่างการผลิตข้าวเหนียวดำงอกพอง โดยนำข้าวเปลือกเหนียวดำไปเพาะให้งอก แล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ 15 นาที อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จึงนำมากะเทาะเปลือกออก และทอดที่อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส นาน 5 วินาที จะได้ข้าวเหนียวดำงอกพอง พบว่าปริมาณ GABA ลดลงโดยคิดเปรียบเทียบกับ GABA เริ่มต้น โดยมี GABA เริ่มต้น 8.07 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อผ่านการทอดมี GABA เท่ากับ 3.52 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ทำให้สูญเสีย GABA ร้อยละ 56.38

ศุภนุช (2554) ได้ศึกษาปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจะทำให้มี GABA เพิ่มขึ้นตาม และเปรียบเทียบ GABA ก่อน และหลังผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน พบว่า หลังผ่านกระบวนเอ็กซ์ทรูชันมีปริมาณ GABA ลดลงร้อยละ 3.99

2.4.2 แกมมา-โอรีซานอล (Gamma -oryzanol)

แกมมา-โอรีซานอล เป็นสารประกอบของสเตอรอลเอสเทอร์ (sterol ester) ของกรดเฟรูลิค (ferulic acid) (รูป 2.2) มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือสีขาวออกเหลือง ไม่มีกลิ่น ละลายดีในตัวทำละลายน้ำมัน และสารละลายคลอโรฟอร์ม (chloroform) เช่น อีเทอร์ (ether) เฮปเทน (heptane) เป็นต้น แต่ไม่ละลายน้ำ มีจุดหลอมเหลวประมาณ 161.2 องศาเซลเซียส (Scavariello and Arellano, 1998) เป็นสารประกอบที่พบมากในรำข้าว แกมมา-โอรีซานอลมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยังสามารถลดระดับคอเลสเตอรอล (cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์(triglycerol) ในเลือด (Sugano and Tsuji, 1997; Gerhardt and Gallo, 1998) เพิ่มระดับของฮอร์โมนอินซูลินในเลือดของคนเป็นโรคเบาหวาน (Aoki *et al*., 2003) และลดโอกาสในการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Teltathum, 2004) นอกจากนั้นแล้วแกมมา-โอรีซานอล ยังทำหน้าที่ในการต้านการหืนของไขมันในรำข้าว ซึ่งแกมมา-โอรีซานอล มีคุณสมบัติต้านการหืนได้ดีกว่าวิตามินอี (Xu *et al*., 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.2 สูตรโครงสร้างของแกมมา-โอรีซานอล

ที่มา: Lioy, Siebenmorgen and Beers (2000)

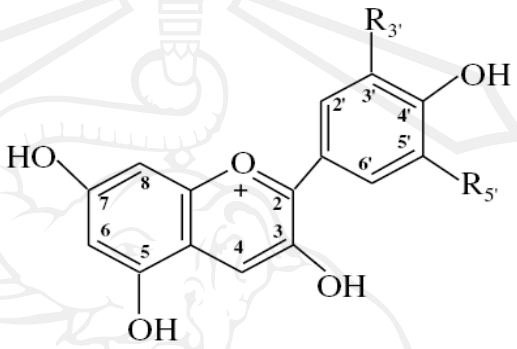
จากสมบัติที่มีประโยชน์ของแกมมา-โอรีซานอลจึงมีงานวิจัยที่แพร่หลายมากขึ้น โดยงานวิจัยของ Boonsit *et al.* (2011) ได้ศึกษาแกมมา-โอรีซานอลในข้าวเหนียวก่ำกล้อง 13 พันธุ์ เปรียบเทียบกับข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ 105 พบว่าข้าวเหนียวก่ำทั้ง 13 พันธุ์มีปริมาณสูงกว่าในข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ 105 โดยพบปริมาณแกมมา-โอรีซานอลในข้าวเหนียวก่ำทุกพันธุ์เฉลี่ยที่ 55.58 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง ขณะที่ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ 105 พบเพียง 30.68 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง โดยข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด และก่ำมูเซอ มีปริมาณแกมมาโอรีซานอลสูงสุดคือ 72.95 และ 70.16 นอกจากนี้พันทิพา และคณะ (2547) ได้ศึกษาแกมมา-โอรีซานอลในข้าวเหนียวก่ำ 4 พันธุ์เปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ข้าวโพด งา เมล็ดสีด ถั่วเหลือง และรำข้าวสาลี พบว่าข้าวเหนียวก่ำทั้ง 4 พันธุ์มีปริมาณแกมมา-โอรีซานอลสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวเหนียวก่ำ พบว่า ข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด และก่ำน่านมีปริมาณแกมมา-โอรีซานอลใกล้เคียงกันคือร้อยละ 2.85 และ 2.69 ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ก่ำอมก๋อยมีค่าแกมมา-โอรีซานอล ต่ำที่สุดในบรรดาข้าวเหนียวก่ำคือ ร้อยละ 1.882 อย่างไรก็ตาม ข้าวเหนียวก่ำทุกพันธุ์มีสารแกมมา-โอรีซานอล สูงกว่าผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดต่างๆที่นำมาวิเคราะห์

2.4.3 แอนโทไซยานิน (Anthocyanins)

แอนโทไซยานิน เป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ที่ให้สีตั้งแต่สีแดงไปจนถึงสีน้ำเงิน มีโครงสร้างหลักซึ่งเป็นอนุพันธ์ พอลีไฮดรอกซี (polyhydroxy) และพอลีเมทอกซี (polymethoxy) ของ เกลือฟลาวิลเลียม (flavylium salt) (รูป 2.3) โมเลกุลประกอบด้วยแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) หรือเรียกว่า อะไกลโคน (aglycone) เชื่อมต่อกับน้ำตาลด้วยพันธะเบต้า-ไกลโคไซด์ (β-glycoside) (Markakis, 1982) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์ (alcohol) และสามารถละลายได้ในน้ำ (Xu and Lin, 2003) สารแอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงสีตาม pH เมื่อ pH ต่ำจะมีสีแดง pH ปานกลางจะมีสีน้ำเงิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ม่วง เมื่อ pH สูงจะมีสีเหลืองซีด (Mazza and Miniati, 1993) ในธรรมชาติพบแอนโทไซยานิดินมากกว่า 15 ชนิดเรียกชื่อแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl, OH) หมู่เมทอกซิล (methoxyl, OCH_3) สารประกอบแอนโทไซยานิดินที่พบมาก อยู่ในรูปของออกโซเนียมไอออน (oxonium ion) คือ ที่ออกซิเจนอะตอมมีประจุบวก ได้แก่ ไซยานิดิน (cyanidin) พีลาร์โกนิดิน (pelargonidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) พีโอนิดิน (peonidin)



รูป 2.3 สูตรโครงสร้างของแอนโทไซยานิน
ที่มา: Wilska and Jeszka (2007)

แอนโทไซยานิดินในผัก และผลไม้ต่างๆ จะมีอัตราส่วนและปริมาณที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแอนโทไซยานิดินมักจะอยู่ในรูปอิสระในเซลล์ของพืช ส่งผลต่อความคงตัวของสีเมื่อเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ความคงตัวของสีจากแอนโทไซยานินจะขึ้นกับโครงสร้าง ความเข้มข้นของรงควัตถุ pH อุณหภูมิ แสง โลหะ เอนไซม์ ออกซิเจน กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) และน้ำตาล (Mazza and Miniati, 1993) สารแอนโทไซยานินนี้มีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ช่วยป้องกันโรคความดันโลหิตสูง ป้องกันการจับตัวของเกล็ดเลือด ลดอาการอักเสบของแผล และโรคเบาหวาน (Kong *et al*., 2003) และโรคเบาหวาน (Morimitsu *et al*., 2002)

แอนโทไซยานินเป็นสารที่มีความไวต่อปฏิกิริยามาก เนื่องจากผลของการขาดอิเล็กตรอนของโมเลกุลแอนโทไซยานินจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสี โดยในการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากสภาวะต่าง ๆ ในกระบวนการแปรรูปและในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ๆ Henry (1996) ได้รายงานไว้ว่า แอนโทไซยานิน ละลายน้ำได้ ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน แสง เมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป สีก็เปลี่ยนไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrution)

เอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่รวมเอาหน่วยปฏิบัติการหลายหน่วยเข้าด้วยกัน ได้แก่ การผสมการทำให้สุก การนวด การเฉือน การขึ้นรูป และการทำให้เกิดรูปร่าง โดยเครื่องจะอัดอาหารให้ออกมาในรูปกึ่งเหลว อาหารนี้จะถูกอัดผ่านหน้าแปลน (die) ที่ปลายเกลียว สกรู ถ้ามีการให้ความร้อนแก่อาหารด้วยจะเรียกกระบวนการนี้ว่า การดันผ่านเกลียวอัดโดยใช้ความร้อน การใช้เทคนิคนี้มีข้อดีมากมายโดยเฉพาะทำให้กระบวนการขึ้นรูปง่ายขึ้น พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ โดยการทำงานของเครื่องเอง คือขณะวัตถุดิบเคลื่อนที่ผ่านเครื่องจะได้รับพลังงานเชิงกล และความร้อนในระยะเวลาที่สั้น แต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และองค์ประกอบของอาหาร จึงมีการประยุกต์ใช้เพื่อผลิตเป็นอาหารต่างๆ มากมาย โดยมีวัตถุประสงค์หลักของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันคือ การเพิ่มความหลากหลายของอาหาร เพื่อเพิ่มชนิดของอาหารจากส่วนผสมพื้นฐานให้มี รูปร่าง สี กลิ่น รส แบบต่างๆ กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง และเวลาสั้น (high temperature short time, HTST) โดยจะลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และทำลายเอนไซม์ ผลิตภัณฑ์จะผ่านการอบแห้งหรือทอด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำลง (รุ่งนภา, 2541)

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นที่นิยมมากเนื่องจาก ทำให้เกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ได้โดยมีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของอาหาร หรือเปลี่ยนสภาวะการทำงานของเครื่อง กระบวนการมีความยืดหยุ่นสูง สามารถดัดแปลงให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งตรงกับความต้องการของผู้บริโภคได้ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการผลิตวิธีอื่น อัตราการผลิตสูง ผลิตได้ต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ ความสามารถในการผลิตสูง และไม่มีของเสียจากกระบวนการ ซึ่งเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวเป็นเครื่องที่ใช้มากสุดในอุตสาหกรรมจนถึงปัจจุบัน (วิไล, 2545)

เอ็กซ์ทรูชันแบบทำให้สุกจัดเป็นกระบวนการ HTST เพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ทำลายการทำงานของเอนไซม์ และลดปริมาณน้ำ รวมทั้งวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, a_w) ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำให้เอ็กซ์ทรูชันแบบทำให้สุกเป็นกระบวนการแปรรูปที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีข้อดี คือ

1) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากมายหลายรูปแบบ (versatility) โดยการเปลี่ยนส่วนผสมรอง (minor component) และสภาวะที่ใช้ในการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถปรับกระบวนการดังกล่าวเพื่อทำผลิตภัณฑ์ใหม่ ตามความต้องการของผู้บริโภคได้ง่าย และที่สำคัญคือ ไม่สามารถใช้กระบวนการอื่นใดในการผลิตผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดต (extrudate) ได้

2) สามารถลดค่าใช้จ่ายในการแปรรูป และได้จำนวนผลิตภัณฑ์ (productivity) มากกว่ากระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีอื่นๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ให้อัตราการผลิตสูง และสามารถทำการผลิตในลักษณะแบบต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ เช่น ความสามารถในการผลิตขนมขบเคี้ยว ด้วยอัตราการผลิตสูงถึง 315 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือผลิตอาหารสัตว์แห้งแบบพอง ได้สูงถึง 9,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

5) ต้นทุนการผลิตต่ำ จำนวนคนงาน และพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบเอ็กซ์ทรูชันต่อหนึ่งหน่วยการผลิตนั้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตวิธีอื่น

6) ประหยัดพลังงาน ระบบเอ็กซ์ทรูชันสามารถทำงานได้ที่วัตถุดิบความชื้นต่ำทำให้ลดปริมาณความร้อนในการหุงต้ม และการอบแห้งผลิตภัณฑ์

2.5.1 ประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

ได้มีการจำแนกประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ตามรูปแบบของสกรูออกเป็น 4 ประเภท (Frame, 1993) คือ

2.5.1.1 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 1 อัน ขับเคลื่อนอยู่ภายในบาร์เรล (barrel) โดยสกรูมีลักษณะเป็นฟันเกลียวหมุนรอบแกนโลหะที่อยู่ภายในบาร์เรลทรงกระบอก ทำหน้าที่ในการลำเลียง ให้ความร้อนแก่ส่วนผสม และทำให้ส่วนผสมนั้นเป็นเนื้อเดียวกัน

2.5.1.2 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบนวดผสม (Co-kneaders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวที่ถูกออกแบบมาสำหรับส่วนผสมที่ไวต่ออุณหภูมิ และแรงเฉือน ป้องกันการหมุนของส่วนผสมในบาร์เรล โดยมีการติดตั้งใบนวดในผนังบาร์เรล ทำให้ส่วนผสมได้รับแรงเฉือนต่ำ เคลื่อนที่แบบขึ้นลง เกิดการผสมที่ทั่วถึง และเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น

2.5.1.3 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูสองตัวหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน (Counter-rotating twin-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 2 อัน มีความยาวเท่ากัน ขับเคลื่อนในทิศทางตรงข้ามกันอยู่ภายในบาร์เรล ทิศทางการหมุนของสกรูช่วยในการผสม และป้องกันการหมุนของส่วนผสมในบาร์เรลเหมาะในการแปรรูปอาหารที่ไม่ข้นหนืด โดยใช้ความเร็วรอบต่ำ และต้องการเวลาอยู่ภายในบาร์เรลนานๆ

2.5.1.4 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูสองตัวหมุนในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating twin-screw extruders) เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบด้วยสกรู 2 อัน มีความยาวเท่ากัน ขับเคลื่อนในทิศทางเดียวกันอยู่ภายในบาร์เรล ทิศทางการหมุนของสกรูทำให้ส่วนผสมเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ดี มีการผสมอย่างทั่วถึง และสม่ำเสมอ นอกจากนั้นยังมีระบบการทำความสะอาดด้วยตัวเอง จัดเป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถผลิตอาหารได้หลากหลายชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 ขั้นตอนกระบวนการผลิตโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชัน

เริ่มจากการชั่งวัตถุดิบตามสูตรส่วนผสม ผสมให้เข้ากันดีในเครื่องผสมเสร็จแล้วนำออกมาจากเครื่องผสมบรรจุลงในถุงพลาสติก หรือภาชนะที่ใช้บรรจุ จากนั้นนำไปป้อนเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ประกอบส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว ป้อนวัตถุดิบผสมเข้าไปตรงส่วนที่รับวัตถุดิบ (feed port) วัตถุดิบจะถูกพาเข้าสู่ช่วงของการผลิต ซึ่งแบ่งได้ 3 ช่วง ดังนี้ (ประชา, 2544)

2.5.2.1 ช่วงการป้อน และการผสม (Feeding and mixing zone) เป็นช่วงที่ส่วนผสมถูกพาให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องตามร่องเกลียวสกรู และช่องว่างระหว่างสันเกลียวสกรูกับผนังบาร์เรลด้านใน ซึ่งในระหว่างนี้ส่วนผสมจะถูกนวด บด และอัดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันอุณหภูมิในช่วงนี้จะยังไม่สูงมาก

2.5.2.2 ช่วงการนวด (Kneading zone) เป็นช่วงที่ส่วนผสมถูกอัด นวด และเสียดสีมากขึ้น เนื่องจากสกรูส่วนนี้ถูกออกแบบให้เป็นสกรูที่มีร่องเกลียว และความลึกที่แคบ ตื้นกว่าสกรูช่วงแรก ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ส่วนผสมมีความเหนียวหนืด ยืดหยุ่นได้เหมือนโด (dough) ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปยังช่วงที่ 3 ต่อไป

2.5.2.3 ช่วงการหุงต้มหรือช่วงที่ทำให้ร้อนจนสุก (Final cooking zone) สกรูส่วนนี้จะออกแบบพิเศษ เช่น ร่องเกลียวต้องตื้น มุมลาดเอียง องศาของเส้นเกลียวจะมีความชันน้อยลงมีรอยตัด หรือบากที่เส้นเกลียว จำนวนเส้นเกลียวมีมากขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มแรงเฉือนทำให้การผสมดียิ่งขึ้น สกรูที่มีลักษณะพิเศษนี้จักทำให้แป้งเหนียว หนืด นี้เปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นของเหลวที่ไม่มีรูปพรรณสัณฐานเป็นของเหลวไหลได้ที่เรียกว่าเจล (gel) หรือแป้งสุก เมื่อถูกอัดผ่านพ้นรูเปิดหน้าแปลนออกมา และด้วยความแตกต่างของความดันบรรยากาศที่ภายนอกกับความดันสูงที่เกิดขึ้นภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ จะทำให้น้ำที่อยู่ในส่วนผสมอาหารที่หลอมเหลวเป็นเจลระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยตัวออกไปพร้อมกับดึงเอาส่วนโครงสร้างที่เป็นแป้งเหลวสุกนี้ยืดขยายตัวออกและคงสภาพความพองไว้ที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอกขณะเดียวกันก็ถูกตัดเป็นชิ้น หรือท่อนตามขนาดที่ต้องการด้วยใบมีด จากนั้นนำไปอบแห้งแล้วเคลือบกลิ่นรสตามแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำ

2.5.3 วัตถุดิบที่ใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการผลิต

2.5.3.1 ข้าวโพดบดหยาบ (Corn grit) เป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากข้าวโพด (*Zeamays* L.) โดยการโม่ข้าวโพดแบบแห้ง (dry milling) ซึ่งเป็นการบดส่วนต่างๆรวมกัน อาจแยกคัพภะออกเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น หรือนำคัพภะไปสกัดน้ำมันข้าวโพด ส่วนใหญ่ข้าวโพดบดหยาบที่ผลิตได้นิยมนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์พองกรอบที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัว มีเนื้อสัมผัสกรอบ และมีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขึ้นกับชนิดข้าวโพด แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของข้าวโพดบดหยาบเพียงอย่างเดียวจะทำให้มีเนื้อสัมผัสแข็ง และมีความหนาแน่นสูง (รองรัตน์, 2546)

2.5.3.2 ปลายข้าวหอมมะลิ (Broken jasmine rice) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวหอมมะลิ (*Oryza Sativa* L.) เมื่อข้าวผ่านการสีจะได้ส่วนของปลายข้าวประมาณร้อยละ 15 เมล็ดมีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไปแต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว ซึ่งรวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นชิกที่มีเนื้อเหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ดด้วย (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร และอาหารแห่งชาติ, 2546) จากการนำปลายข้าวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารธัญชาติ โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่กรอบแต่เปราะกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวโพดบดหยาบมีความหนาแน่นและการพองตัวดี ให้สี และกลิ่นรสที่อ่อนเหมาะแก่การใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเคลือบกลิ่นรสต่างๆ อีกทั้งยังมีความคงตัวในการเก็บรักษาที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวโพดบดหยาบด้วย นอกจากนี้ปลายข้าวยังมีราคาถูก และให้พลังงานสูง ดังนั้นหากนำมาเสริมในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารธัญชาติจะเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านความหนาแน่น การพองตัว สี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งยังสามารถนำไปปรุงรสเพื่อเพิ่มความหลากหลาย และสร้างความน่าสนใจให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้มากยิ่งขึ้น (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543)

การผลิตอาหารธัญชาติพองกรอบโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน นิยมใช้วัตถุดิบหลักที่เป็นพวกแป้งที่ได้มาจากเมล็ดธัญชาติเช่น ถั่วแบบฝัก ถั่วเหลือง และถั่วลูกไก่ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวัตถุดิบอื่นๆเป็นวัตถุดิบในการผลิตเช่น งา ใบบัวบก และข้าวกล้องงอก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

2.5.4.1 ปัจจัยด้านวัตถุดิบ

1) สตาร์ช (Starch) ในส่วนผสมของวัตถุดิบต้องมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักและมีปริมาณมากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น เพราะสตาร์ชมีความสำคัญต่อการขยายตัว ลักษณะปรากฏเนื้อสัมผัส และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ปริมาณสตาร์ชที่น้อยกว่าร้อยละ 60 จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวน้อย มีเนื้อสัมผัสแข็งและแน่น (Sunderland, 1996)

2) แอมิโลส (Amylase) และแอมิโลเพคติน (Amylopectin)สำหรับในแป้งข้าวโพดนั้นอัตราส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพคตินมีอิทธิพลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยแอมิโลเพคตินช่วยในการพองตัวทำให้น้ำหนักเบา แต่ถ้ามีแอมิโลสมากจะทำให้การพองตัวลดลง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวโพดมีการขยายตัวสูงขึ้นเมื่อปริมาณแอมิโลสต่ำลง และความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หนาแน่นก็มีแนวโน้มลดลงด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเหนียว จะมีความเหนียวสูง และการขยายตัวต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (Pan *et al*., 1991)

3) ไขมัน (Fat) ปริมาณไขมันในวัตถุดิบมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าว เมื่อวัตถุดิบมีปริมาณไขมันสูงขึ้น ไขมันจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและไปลดความหนืดของโด (dough) ที่อยู่ภายในบาร์เรล ส่งผลให้อัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง ความหนาแน่น และแรงที่ใช้ในการตัดมีค่าสูงขึ้น สำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันไม่เกินร้อยละ 4 จะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณไขมันสูงขึ้น เนื่องมาจากไขมันมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

4) ความชื้น (Moisture)น้ำ หรือความชื้นมีผลอย่างมากต่อการสุกของผลิตภัณฑ์ทั้งในระบบที่มีปริมาณน้ำมากเกินพอ และระบบที่มีน้ำน้อยหรือจำกัดในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน น้ำทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายเทความร้อน และเป็นสารหล่อลื่น ช่วยในการควบคุมความดัน และแรงเฉือนภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ สำหรับวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวลดลง ส่วนวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำจะส่งผลให้แรงเฉือนเนื่องจากการหมุนของสกรูภายในบาร์เรลสูงขึ้นมีผลให้โดภายในบาร์เรลมีความหนืดสูงขึ้นทำให้แรงดันสูง ดังนั้นอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จึงสูงขึ้นตามด้วย อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบต่ำเกินไปส่งผลให้สตาร์ชแตกตัวจากแรงเฉือนเนื่องจากการหมุนของสกรูทำให้อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง (Chinnaswamy and Hanna, 1988)

5) ขนาดอนุภาค (Particle size) การใช้แป้งข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการขยายตัวต่างกัน เมื่อขนาดอนุภาคของแป้งข้าวโพดใหญ่ขึ้นจะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคต่ออนุภาคลดลง ทำให้มีแรงเสียดทานต่อกันต่ำลง อุณหภูมิของโดจึงลดลงส่งผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยโพรงอากาศภายในโครงสร้างจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่จำนวนของโพรงอากาศลดลง อีกทั้งการผสมใยอาหารที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงในแป้งข้าวโพดก็มีผลต่อการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านยาว และแนวรัศมี (Mohamed, 1990)

6) เส้นใยอาหาร (Fiber) เส้นใยอาหารมีผลต่อโครงสร้าง และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพราะจะทำหน้าที่เหมือน solid filler ทำให้ลักษณะการพองของโมเลกุลของแป้งพองตัวได้ยากขึ้น (Stojesska *et al*., 2008) ดังนั้นความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น สุลาลักษณ์ (2549) นัทธียา (2552) Naivikul *et al*., 2002 และ Altan et al. (2008) ได้การศึกษาเพิ่มเส้นใยในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มี ความหนาแน่น และอัตราการพองลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4.2 ปัจจัยด้านกระบวนการผลิต

1) อัตราการป้อนวัตถุดิบ (Feed rate) เมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบสูงขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการขยายตัวในแนวรัศมีมากขึ้น ในขณะที่การป้อนวัตถุดิบในอัตราลดลงโดยที่ความเร็วรอบของสกรูมีค่าคงที่ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการขยายตัวลดลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวโพดที่มีแอมิโลสร้อยละ 25 มีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบ อัตราการป้อนวัตถุดิบที่เหมาะสมคือ 60 กรัมต่อนาที แต่อย่างไรก็ตามอัตราการพองตัวจะลดลงเมื่ออัตราการป้อนวัตถุดิบมากเกินกว่า 60 กรัมต่อนาที (Pan *et al*., 1991)

2) ความเร็วรอบสกรู (Screw speed) ความเร็วรอบสกรูส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ต่างกัน โดยการเพิ่มความเร็วรอบจาก 80 เป็น 150 รอบต่อนาที ส่งผลให้อัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบขึ้นไปอีกจะทำให้การขยายตัวลดลง และขนาดโพรงอากาศจะเล็กลงด้วย เนื่องจากที่ความเร็วรอบสกรูสูงๆ ทำให้โดมีเวลาอยู่ภายในบาร์เรลสั้นลง การเกิดเจลาติไนซ์เซชัน (gelatinization) ของสตาร์ชต่ำลงเนื่องมาจากการสุกที่ไม่สมบูรณ์ และทำให้เกิดการทำลายเม็ดแป้งมากขึ้นด้วย (Chinnaswamy and Hanna, 1988)

3) อุณหภูมิของบาร์เรล (Barrel temperature) อุณหภูมิที่ตั้งไว้ตลอดความยาวของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ถ้าอุณหภูมิทางออกของเครื่องมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวทันที เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่พองทันทีหลังออกจากเครื่อง เกิดเนื่องจากการลดอุณหภูมิช่วงใกล้ทางออกลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส (Pan *et al*., 1991)

การผลิตอาหารธัญชาติพองกรอบโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน นิยมใช้วัตถุดิบหลักที่เป็นพวกแป้งที่ได้มาจากเมล็ดธัญชาติ พืชหัว และถั่วชนิดต่างๆ (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543) และจากการศึกษา จตุพร (2550) ได้ศึกษาการเพิ่มงาในสูตรพื้นฐานซึ่งประกอบไปด้วย ข้าวโพดบดหยาบและปลายข้าวหอมมะลิบดหยาบ (อัตราส่วน 1:1) พบว่าสามารถเพิ่มงาได้ถึงร้อยละ 4 จากสูตรพื้นฐานทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น และยังศึกษาสภาวะการผลิตของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์โดยศึกษา 3 ปัจจัยคือ ความชื้น ความเร็วรอบสกรู และอุณหภูมิส่วนสุดท้ายของบาร์เรล พบว่า สภาวะการผลิตที่เหมาะสมได้แก่ ความชื้นร้อยละ 14.51 ความเร็วรอบสกรู 247 รอบต่อนาที และอุณหภูมิส่วนสุดท้าย 169 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสดี เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม

Ding *et al*., (2004) ได้ศึกษาสภาวะของเอ็กซ์ทรูชันต่อลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว โดยการเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีการขยายตัวสูง มีการละลายตัวในน้ำต่ำลง และมีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แข็งแรงมากขึ้น ส่วนการเพิ่มอัตราการเติมน้ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีความหนาแน่นสูง มีการขยายตัวต่ำ มีการดูดซับน้ำสูงแต่มีการละลายตัวในน้ำต่ำลง และมีความแข็งแรงมากขึ้นแต่มีความเปราะลดลง การใช้อุณหภูมิสูงบริเวณบาร์เรล จะช่วยเพิ่มการขยายตัวการดูดซับน้ำ แต่ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะลดลง และระดับความเร็วของสกรูนั้นไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

2.5.5 การเปลี่ยนโครงสร้างของแป้งในระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเกี่ยวข้องกับการทำให้ส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนสุก ทำให้เกิดรูปร่าง เนื้อสัมผัส และเกิดการพองอย่างเต็มที่ (puffing) หรือเกิดการขยายตัว กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแตกต่างจากกระบวนการอื่นๆ คือขั้นตอนต่าง ๆของการแปรรูปเหล่านี้ เกิดขึ้นที่ความชื้นค่อนข้างต่ำ ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ และแรงเฉือนมากเป็นเวลาสั้น ๆ ซึ่งภายใต้สภาวะเช่นนี้ แป้ง และโปรตีนที่ยังมีลักษณะธรรมชาติจะมีการเปลี่ยนรูปเพื่อให้ได้อาหารที่มีโครงสร้างใหม่ (รุ่งนภา, 2541)

แป้งเป็นส่วนผสมหลักในการทำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผ่านการเอ็กซ์ทรูชัน และในธัญชาติที่พร้อมรับประทาน (ready-to-eat, RTE) ในหลายผลิตภัณฑ์ กริท (grit) ของธัญชาติที่สกัดเอาเจิมออก (degermed cereal grits) แล้วใช้เป็นวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มากกว่าการใช้แป้งบริสุทธิ์เพื่อให้โปรตีน ไขมัน และเส้นใยบางส่วนที่มีอยู่ในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง

แป้งเป็นไบโอโพลิเมอร์ (biopolymer) ของกลูโคสที่ใหญ่มาก โดยทั่วไปกลูโคส 1 โมเลกุลจะเชื่อมปลายด้านหนึ่งของกลูโคสอีกหน่วยหนึ่งไปเรื่อยๆ เกิดเป็นแอมิโลสของแป้ง เมื่อลักษณะการต่อของกลูโคสเป็นกิ่งก้าน จะเรียกโมเลกุลของแป้งนี้ว่าแอมิโลเพกตินซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับพุ่มไม้หนาทึบ แป้งในธัญชาติส่วนใหญ่มักจะมีแอมิโลสอยู่ร้อยละ 25-30 ส่วนที่เหลือจะเป็นแอมิโลเพกติน แป้งในรูปที่เป็นธรรมชาติโมเลกุลของแป้งมักเป็นผลึก และอยู่ในรูปของกรานูลทรงกลม(granule) แต่ถ้ามีการทำให้สุกที่ความชื้นสูง แป้งในกรานูลเหล่านี้จะขยายตัว ดูดซับ และจับโมเลกุลของน้ำไว้จำนวนมากเกิดเป็นเพสท์ (paste) ที่ข้นภายใต้สภาวะที่มีความชื้นต่ำที่ใช้สำหรับกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน การเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับผลร่วมกันของความร้อนและแรงเฉือนทางกล เม็ดแป้งจะถูกเฉือนขณะที่ผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ การกระทำทางกลนี้จะเปิดกรานูล ภายในเม็ดแป้งออก (รุ่งนภา, 2541) การไหลของส่วนผสมต่าง ๆ ที่เหนียวในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ต้องอาศัยพลังงานทางกลจำนวนมากเพื่อใช้หมุนสกรู ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของแป้งที่ใหญ่กว่าบางโมเลกุลจะแตกออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง เรียกว่าเดกซ์ตริไนเซชัน (dextrinization) เนื่องจากการเฉือนทำให้ความสามารถในการละลายน้ำได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มมากขึ้น ผลของการเจลาติไนเซชัน และเดกซ์ตริไนเซชันคือ ได้โดที่เหนียว และโดที่หลอม ซึ่งสามารถเอ็กซ์ทรูดผ่านหน้าแปลน (die) เพื่อขึ้นรูป และพองเมื่อความชื้นภายในโดซึ่งมีอุณหภูมิสูงเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำหลังออกจากหน้าแปลนแล้ว

ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันขึ้นกับปริมาณของการเปลี่ยนรูปของแป้งระหว่างกระบวนการให้ความร้อนในเอ็กซ์ทรูเดอร์ ผลิตภัณฑ์ที่มีเมทริกซ์ที่แข็งกว่าเบากว่า และมีขนาดของรูใหญ่กว่าซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการทำให้สุกด้วยแรงเฉือนต่ำภายใต้สภาวะความชื้นที่สูงกว่า ความเสียหายของแป้งจะลดลงเมื่อให้พลังงานกลแก่วัตถุอาหารน้อยลง และให้ปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการพ่นไอน้ำหรือการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของบาร์เรล ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการให้ความร้อนในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีแรงเฉือนสูงจะมีลักษณะนุ่ม และมีความสามารถในการดูดน้ำ (hydratable) ดีกว่า มีแนวโน้มที่จะเหนียวติดฟันเมื่อรับประทาน และมีขนาดของรูภายในเอ็กซ์ทรูเดตที่เล็กกว่า และผนังเซลล์บางกว่า

ความก้าวหน้าของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันสามารถควบคุมสภาวะของการเฉือนระหว่างกระบวนการทำให้สุกเพื่อให้ได้ความหนาแน่น ลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อชิม และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การควบคุมสภาวะการเฉือนต่อการสุก เป็นผลจาการออกแบบสกรูต่าง ๆ อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ความเร็วสกรู แหล่งของความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิผลิตภัณฑ์แบบของหน้าแปลน และความชื้นของส่วนผสมของอาหาร

2.6 เครื่องดื่มผง

เครื่องดื่ม (beverage) เป็นประเภทผลิตภัณฑ์อาหารประเภทหนึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ รวมกันมากมายขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องดื่ม เครื่องดื่มพอจำแนกได้ดังนี้ เครื่องดื่มน้ำผลไม้เข้มข้น เครื่องดื่มเนคต้า เครื่องดื่มสควอส เครื่องดื่มคอร์เดียล และเครื่องดื่มสมุนไพร (ไพโรจน์, 2535) ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องดื่มให้มีความหลากหลายทั้งชนิด รูปแบบ และภาชนะบรรจุ บางชนิดได้มีการผลิตมาตั้งแต่อดีตเป็นระยะเวลานานแต่ก็ยังคงได้รับความนิยมอยู่ บางชนิดก็เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่ไม่เคยมีมาก่อน

การผลิตเครื่องดื่มผงได้รับความสนใจอย่างมาก ทั้งนี้เพราะการผลิตเครื่องดื่มที่มีความชื้นสูงย่อมเสื่อมคุณภาพได้ง่ายกว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ เช่น เครื่องดื่มน้ำผลไม้ เครื่องดื่มสมุนไพร เป็นต้น ดังนั้นการทำเครื่องดื่มเป็นผงจึงเป็นการลดปริมาณความชื้นในอาหารลง ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ อีกทั้งการแปรรูปเครื่องดื่มผงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา และขนส่งได้สะดวก ตลอดจนการบริโภคได้ง่าย โดยการชงด้วยน้ำร้อนหรือน้ำเย็นก็สามารถบริโภคได้ (ไพโรจน์, 2535)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งได้แก่ ข้าวกล้องงอก ผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูเดอร์ และเครื่องดื่มผงชงจากข้าวกล้องงอก โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 ข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกรรมวิธีผลิตการเพิ่มปริมาณ GABA จากข้าวมีอย่างแพร่หลายมากขึ้นโดยผลงานวิจัยของ Oh (2003) ได้ศึกษาการกระตุ้นกิจกรรมการสังเคราะห์ GABA ในข้าวกล้อง โดยการแช่ข้าวกล้องในสารละลายผสมประกอบด้วย Chitosan (50 ppm) ผสมกับ Glutamic Acid (5 mM) และ Chitosan (50 ppm) ผสมกับ lactic acid (5 mM) แล้วนำไปเพาะที่อุณหภูมิ 25-26 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ GABA พบว่าการแช่ข้าวที่สารละลายผสม Chitosan (50 ppm) ผสมกับ Glutamic Acid (5 mM) มีปริมาณ GABA สูงสุดเท่ากับ 2,011 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด สำหรับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอกมี GABA เท่ากับ 154 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งจะเห็นว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณ GABA มากกว่าในข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอกถึง 13 เท่า นอกจากนี้ Komatsuzuki *et al*. (2005) ยังพบว่าข้าวกล้องงอก เมื่อนำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ร่วมกับการทรีตด้วยก๊าซนาน 21 ชั่วโมง ทำให้มี GABA ในข้าวกล้องงอกเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีการแช่น้ำเพียงอย่างเดียว

วรนุช (2551) ได้ทำการศึกษาข้าวกล้องงอก พันธุ์ชัยนาท และพันธุ์หอมมะลิ 105 โดยนำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเพาะให้งอกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ให้ปริมาณ GABA สูงที่สุดทั้ง 2 พันธุ์ โดยมี GABA เท่ากับ 7.63 และ 5.36 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบก่อน และหลังการเพาะข้าวพบว่า หลังการเพาะข้าวมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น 19.6 และ 16.7 เท่า ตามลำดับ

เมธาวี (2552) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA ในข้าวมันปูงอก โดยนำเมล็ดข้าวกล้องมันปูมาแช่น้ำในอัตราส่วน ข้าวต่อน้ำ 1:3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเพาะให้งอกในที่มืดในเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวไปวิเคราะห์ GABA ทุก 8 ชั่วโมง พบว่า มีสภาวะการงอกที่ให้ปริมาณ GABA สูงสุด ที่เวลา 32 ชั่วโมง มีปริมาณ GABA เท่ากับ 21.32 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมี GABA เพิ่มขึ้น 10 เท่า จากนั้นนำข้าวกล้องมันปูงอก ที่สภาวะการงอกที่ให้ปริมาณ GABA สูงสุดเป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณ GABA เท่ากับ 4.09 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

อุทุมพร (2554) ได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส (alpha-amylase) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวเหนียวก่ำกล้องงอก โดยนำข้าวเหนียวก่ำกล้องพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด ไปแช่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำไปเพาะให้งอกในตู้ควบคุมอุณหภูมิแตกต่างกัน 3ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง (21-25 องศาเซลเซียส) 35 และ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเพาะแตกต่างกัน 8 ระดับ คือ 0, 24, 32, 40, 48, 56, 64 และ 72 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการการเพาะ คือ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 56 ชั่วโมง โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาสภาวะของปริมาณ GABA สูงที่สุด

Moongngarm and Saetung (2010) ได้ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกที่ไม่ผ่านการงอก โดยใช้สายพันธุ์ข้าวเหนียว กข 6 ไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเพาะให้งอกที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณ สารประกอบฟีโนลิคทั้งหมด และแกมมา-ออรีซานอล ในข้าวกล้องงอกมากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอกเท่ากับ 1.2 เท่า และ 1.3 เท่า ตามลำดับ

Jiamyangyuen and Jiarapong (2012) ได้ศึกษาแอนโทไซยานิน และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี Trolox Equivalent Antioxidative Capacity (TEAC) ในข้าวเหนียวก่ำกล้องงอก เมื่อเปรียบเทียบข้าวเหนียวก่ำกล้องก่อน และหลังงอก พบว่า ข้าวเหนียวก่ำกล้องหลังงอกมีแอนโทไซยานิน และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลง เนื่องจากแอนโทไซยานินได้สูญเสียระหว่างการแช่น้ำ และช่วงระหว่างการงอก ซึ่งแอนโทไซยานินมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อแอนโทไซยานินสูญเสีย จึงทำให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลง

2.7.2 ผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูเดอร์

นอกจากการศึกษางานวิจัยกรรมวิธีการเพิ่มปริมาณ GABA ในข้าว และยังพบว่ามีการนำข้าวที่ผ่านการงอกเป็นส่วนประกอบในการผลิตอาหารโดยผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยผลงานวิจัยของ Ohtsubu *et al*. (2005) โดยนำข้าวกล้องพันธุ์ Koshihikari มาเพาะให้งอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่ามี GABA เท่ากับ 11.02, 27.73, 69.21 และ 149.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อ GABA เพิ่มมากขึ้นด้วย และยังได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ โดยใช้ข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาการเพาะ 72 ชั่วโมง มาบดเป็นแป้งแล้วนำมาทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 แล้วนำไปวิเคราะห์ GABA พบว่าขนมปังที่มีส่วนผสมของข้าวกล้องงอกมี GABA (30.01 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) มากกว่าขนมปังที่มีส่วนผสมจากข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอก (8.60 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานการวิจัยของ Suzuki *et al*. (2003) ที่แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ข้าวกล้องงอกเป็นวัตถุดิบจะมี Funtional Components เช่น แกมมา-โอรีซานอล กรดแอมิโน และ GABA ในปริมาณที่สูงกว่าข้าวกล้องที่ยัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเช่นเดียวกัน นอกจากนั้นได้มีการนำข้าวกล้องงอกมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเบเกอรี หรือผลิตภัณฑ์ขนมอบกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น โดยนำมาทำเป็นแป้งข้าว เพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีในกระบวนการผลิต ซึ่งเมื่อศึกษาถึงผลต่อลักษณะของโด และคุณภาพของขนมปังพบว่า การใช้แป้งข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์นั้น จะได้โดที่มีความเหนียวนุ่ม และขนมปังจะเกิดกลิ่นเหม็นอับช้าลง (Watanabe *et al*., 2004)

วรนุช (2551) ได้ทำการศึกษาข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท และพันธุ์หอมมะลิ 105 โดยนำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเพาะให้งอกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส 20 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ให้ GABA สูงที่สุด พบว่า ข้าวกล้องงอกมี GABA สูงกว่าข้าวกล้องที่ยังไม่งอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท และพันธุ์หอมมะลิ 105 มี GABA เท่ากับ 7.63 และ 5.36 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนข้าวกล้องที่ยังไม่งอกพันธุ์ชัยนาท และพันธุ์หอมมะลิ 105 มี GABA เท่ากับ 0.39 และ 0.32 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท และพันธุ์หอมมะลิ 105 และนำไปผลิตขนมอบพองโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิออกจากหน้าแปลน 165 องศาเซลเซียส โดยมีส่วนผสม แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท และพันธุ์หอมมะลิ 105 พบว่า ในสูตรที่มีปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท และพันธุ์หอมมะลิ 105 มากจะมี GABA มากตาม และสูตรที่เหมาะสมมากที่สุดคือ ปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมมะลิ 105 ร้อยละ 33.33 แป้งข้าวโพดร้อยละ 33.33 และแป้งสาลีร้อยละ 33.33 ซึ่งมี GABA เท่ากับ 2.48±0.11 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ขนมอบพองจากข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกพันธ์หอมมะลิ มีอัตราการพองตัว ดรรชนีการละลายน้ำ และดรรชนีการดูดน้ำมากกว่าข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขนมอบพองจากข้าวกล้องงอกแต่ละสายพันธุ์มีความหนาแน่นน้อยกว่าขนมอบพองจากข้าวกล้อง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.7.3 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงชงจากข้าวกล้องงอก

สุพัตรา (2546) ได้ศึกษาพันธุ์ข้าว 4 พันธุ์ (ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 หอมนิล ปทุมธานี 1 และข้าวเหนียวดำ ระยะเวลาในการเพาะที่เหมาะสมเพื่อนำไปพัฒนาเป็นเครื่องดื่มผงชงจากข้าวกล้องงอก ทำการเพาะข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ที่อุณหภูมิห้อง นาน 48 ชั่วโมง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ใช้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ วิตามินบี 1 บี 2 ธาตุเหล็ก และแคลเซียม เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ พบว่าข้าวกล้องหอมมะลิงอก 105 เป็นข้าวที่ได้รับการคัดเลือกเนื่องจากมีปริมาณสารอาหารสูง และหาได้ง่าย นำข้าวกล้องหอมมะลิงอก 105 มาบดให้เป็นแป้งแล้วนำไปอบแห้งแบบลูกกลิ้งจึงได้ข้าวกล้องงอกหอมมะลิงอกผง จากนั้นผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นมผง ครีมเทียม กัมอาระบิก น้ำตาล และผงโกโก้ นำไปหาสูตรที่เหมาะสมโดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design พบว่าสูตรที่เหมาะสมประกอบไปด้วยข้าวหอมมะลิกล้องงอกผงร้อยละ 33.6 นมผงร้อยละ 14.42 ครีมเทียมร้อยละ 9.62 กัมอะราบิกร้อยละ 9.62 น้ำตาลร้อยละ 28.85 และผงโกโก้ร้อยละ 3.84 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้ประกอบไปด้วย ปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.44 ไขมันร้อยละ 4.82 ใยอาหารร้อยละ 1.25 เถ้าร้อยละ 2.06 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 74.26 วิตามินบี 1 และบี 2 เท่ากับ 0.65 และ 0.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ดวงจงกล (2550) ได้ทำการศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องหอมมะลิงอกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ การผลิตแป้งข้าวกล้องงอกนั้นได้จากข้าวกล้องหอมมะลิที่เพาะนาน 5 วัน จากนั้นนำไปหุงสุก อบให้แห้ง และบดให้ละเอียดได้เป็นแป้งข้าวกล้องหอมมะลิงอก ที่มีปริมาณโปรตีน 9.03 กรัมต่อ100 กรัม ใยอาหาร 3.52 กรัมต่อ100 กรัม และ GABA 7.62 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม แล้วนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ นมผง น้ำตาล ครีมเทียม พบว่าเครื่องดื่มที่พัฒนาได้ประกอบด้วย นมผงขาดมันเนยร้อยละ 44.6 แป้งข้าวกล้องหอมมะลิงงอกบดผงร้อยละ 20 น้ำตาลทรายร้อยละ 20 อินนูลินร้อยละ 10 และวานิลลาผงร้อยละ 5.4 คุณค่าทางโภชนาการของเครื่องดื่มต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (35 กรัม) ประกอบด้วย พลังงาน 120 กิโลแคลอรี โปรตีน 5.64 กรัม ใยอาหาร 3.72 กรัม วิตามินบี6 1 มิลลิกรัม วิตามินบี12 0.86 ไมโครกรัม และแคลเซียม 203 มิลลิกรัม

กฤษณา (2554) ทำการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องงอกของข้าวพันธุ์หอมดอกมะลิ 105 โดยเตรียมแป้งจากข้าวกล้องที่นำไปเพาะให้งอก เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอก มีสูตรพื้นฐานในการทำเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอก คือ แป้งข้าวกล้องงอก:น้ำตาล:น้ำ ในอัตราส่วน 1:2:36 โดยน้ำหนัก และเติมนมถั่วเหลืองร้อยละ 10 โดยปริมาตร ปรับปรุงสูตรเพิ่มเติมโดยผสมแป้งข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ ในอัตราส่วน ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคคือ แป้งข้าวกล้องงอกข้าวขาวดอกมะลิ 105:แป้งข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ เท่ากับ 3:1 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกในรูปแบบเครื่องดื่มผงชง โดยนำข้าวกล้องงอกมาทำให้เป็นเกล็ดหรือผง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dry) ได้สูตรเครื่องดื่มข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปดังนี้ ข้าวกล้องงอกอบแห้ง 7 กรัม ถั่วเหลืองอบแห้ง 2 กรัม ลูกเดือยอบแห้ง 1 กรัม ครีมเทียม 6 กรัม นมผง 4 กรัม และน้ำตาล 10 กรัม ต่อน้ำร้อน 150 มิลลิลิตร ผลจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปของข้าวกล้องพันธุ์หอมดอกมะลิ 105 พบว่า มีความชื้นร้อยละ 4.70 โปรตีนร้อยละ 6.77 ไขมันร้อยละ 3.38 ใยอาหารร้อยละ 1.77 เถ้าร้อยละ 1.50 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 81.88 และมีปริมาณสาร GABA 4.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปรับปรุงสูตรเพิ่มเติมโดยผสมข้าวกล้องงอกอบแห้งของข้าวเหนียวดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในอัตราส่วนที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคคือ ข้าวกล้องงอกอบแห้งของข้าวหอมดอกมะลิ 105:ข้าวเหนียวดำ เท่ากับ 2.5:1 โดยน้ำหนัก ผลจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมข้าวเหนียวดำ พบว่า มีความชื้นร้อยละ 4.79 โปรตีนร้อยละ 6.12 ไขมันร้อยละ 4.23 ใยอาหารร้อยละ 2.65 เถ้าร้อยละ 1. 41 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 80.80 และมีปริมาณสาร GABA 4.23 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved