บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์หญ้า (family Gramineae) สายพันธุ์ (tribe) โอไรซี (Oryzae) มีอยู่ประมาณ 25 ชนิด (species) แบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการกำเนิดคือ ข้าวป่า (wild rice) และ ข้าวปลูก (cultivated rice) (ชาญ, 2536) ในจำนวนนี้ข้าวปลูกที่ใช้เพื่อบริโภคยังแบ่งได้อีก 2 ชนิด คือ *Oryza glaberrima* ที่ปลูกกันในบางส่วนของทวีปแอฟริกา และ *Oryza sativa* ปลูกกันแพร่หลายในประเทศผู้ปลูกข้าวตั้งแต่ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย ภาคเหนือของประเทศบังคลาเทศ ภาคเหนือของจีน ด้านตะวันออกเฉียงใต้ของจีน ภาคตะวันตกเฉียงใต้ ภาคใต้ของจีน ทางตอนล่างด้านตะวันออกของเชิงเขาหิมาลัย ตอนบนของพม่า ภาคเหนือของไทย ลาว เวียดนามเหนือไปจนถึงบริเวณภาคตะวันตกเฉียงใต้ และภาคใต้ของจีน (ไพศาล, 2543) ข้าว *Oryza sativa* สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 กลุ่ม (sub species) โดยอาศัยความแตกต่างในด้านสัณฐานวิทยา และการปรับตัวในการเจริญเติบโตที่สภาพแวดล้อมแตกต่างกัน (ตารางที่ 1)

กลุ่มข้าวอินดิกา (Indica) ข้าวกลุ่มนี้จะปลูกโดยทั่วไปในบริเวณเขตร้อน เช่น ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย พม่า ลาว เวียดนาม อินเดีย และฟิลิปปินส์

กลุ่มข้าวจาปอนิกา (Japonica) ข้าวกลุ่มนี้จะปลูกโดยทั่วไปบริเวณเขตกึ่งร้อน เขตอบอุ่น และเขตที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และจีนตอนเหนือและตะวันออก

กลุ่มข้าวจาวานิกา (Javanica) ข้าวกลุ่มนี้จะปลูกโดยทั่วไปในบริเวณเส้นศูนย์สูตร เช่น อินโดนีเซีย และพม่า โดยเมล็ดข้าวกลุ่มนี้จะมีลักษณะผสมระหว่างกลุ่มข้าวอินดิกาและกลุ่มข้าวจาปอนิกา

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทอินดิกา จาปอนิกา และจาวานิกา

ลักษณะ	ชนิดข้าว		
	อินดิกา	จาปอนิกา	จาวานิกา
รูปร่างและสีใบ	กว้าง สีเขียวอ่อน	แคบ สีเขียวแก่	กว้าง แข็ง สีเขียวอ่อน
เมล็ด	ยาว ค่อนข้างแบน	สั้น กลม	กว้าง หนา
การแตกกอ	แตกกอมาก	แตกกอปานกลาง	แตกกอน้อย
ลำต้น	สูง อ่อน	เตี้ย แข็ง	สูง แข็ง
หางของเมล็ด	สั้นมาก	สั้นมาก-ยาว	สั้นมาก-ยาว
ขนของข้าวเปลือก	สั้น	ขนมากและยาว	ขนยาว
การร่วงของเมล็ด	เมล็ดร่วงง่าย	เมล็ดร่วงยาก	เมล็ดร่วงยาก
ร้อยละของอะไมโลส	23-31	20-25	10-24

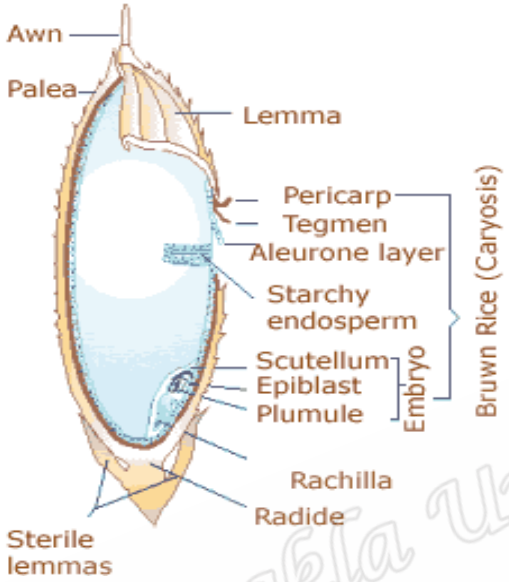
ที่มา : ประพาส (2526) ; อ้างโดย ชาญ (2536)

ในประเทศไทยมีการรวบรวมพันธุ์ข้าวในท้องถิ่นต่างๆ ตั้งแต่ปี 2460 วัตถุประสงค์เพื่อนำมาตรวจคัดเลือกและปลูกศึกษาพันธุ์ที่ดี ซึ่งรวบรวมตัวอย่างข้าวได้ถึง 4,764 ตัวอย่าง โดยศูนย์ปฏิบัติการและเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวแห่งชาติได้รวบรวมพันธุ์ข้าวปลูก(*Oryza* spp L.) ไว้จำนวน 23,903 ตัวอย่าง (Gennetic stock number) โดยจัดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองจำนวน 17,093 พันธุ์ ข้าวสายพันธุ์ดีจำนวน 2,335 พันธุ์ ข้าวสายพันธุ์ต่างประเทศจำนวน 3,339 พันธุ์ ข้าวป่า (*Oryza* spp.) จำนวน 1,065 พันธุ์ และข้าวพันธุ์ *Oryza gluberina* อีกจำนวน 19 พันธุ์ (สงกรานต์, 2544) สำหรับการเก็บรวบรวมพันธุ์ข้าวในภาคใต้เริ่มต้นครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 ได้ปรากฏในบัญชีรายชื่อแหล่งเก็บในท้องถิ่นต่างๆ รวมประมาณ 285 พันธุ์ (สำเริง, 2547) ซึ่งการรวบรวมและอนุรักษ์พันธุ์ข้าวอย่างเป็นระบบนั้นเริ่มพร้อมๆ กับงานโครงการบำรุงพันธุ์ข้าวโดยมีเป้าหมายเพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวไทย ให้มีคุณภาพเมล็ดดีและเป็นพันธุ์ที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง และเป็นการรวบรวมพันธุ์ข้าวในท้องถิ่นต่างๆ ทั่วประเทศเพื่อเก็บไว้เป็นข้อมูลเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวในประเทศไทย

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.1.1 โครงสร้างเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนต่างๆ (ดังรูปที่ 1) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 โครงสร้างเมล็ดข้าว

ที่มา : http://sandstonethailand.com/production_process.html (ออนไลน์ 29 กันยายน 2552)

2.1.1.1 แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (racahilla) และกลีบรองดอก (sterile lemmae) เปลือกใหญ่จะปกคลุมอยู่ 2 ใน 3 ของเนื้อที่เมล็ด เปลือกเล็กจะยึดแน่นอยู่ภายในส่วนของเปลือกใหญ่ด้วย โครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตะขอ (hooklike structure) ดังนั้นเปลือกข้าวจึงปิดแน่น (กัญญา, 2545) แกลบจะมีประมาณ 18-20 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก ทำหน้าที่ป้องกันการทำลายจากแมลงต่างๆ และป้องกันไม่ให้เมล็ดข้าวสูญเสียความชื้น (Lorenz and Kulp, 1991)

2.1.1.2 ข้าวกล้อง หรือส่วนที่บริโภคได้ (cargo rice, loonzain rice, brown rice, husked rice) แบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ดังนี้

2.1.1.2.1 เปลือกหุ้มผล (pericarp) มีประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ของข้าวกล้อง (พิชยา, 2541) ประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างแท่งตามความยาวของผลที่มีผนังเซลล์บางเป็นชั้นนอก ชั้นถัดมามีรูปร่างหลายเหลี่ยม ซึ่งรูปร่างลักษณะของเซลล์เหล่านี้จะแตกต่างกันตามชนิดของธัญชาติ จำนวนชั้นก็อาจแตกต่างและคล้ายคลึงกันได้ เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้องที่พัฒนามาจากผนังรังไข่ของดอกข้าว หนาประมาณ 10 ไมโครเมตร และมีท่ออาหารอยู่ทางด้านหลัง

Prince of Songkla University Pattani Campus

(dorsal) ของเมล็ด อาจมีสารสีอยู่ เช่น ข้าวแดง หรือข้าวเหนียวดำ (งามชื่น, 2539) องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มผลส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงร่าง เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน นอกจากนี้ก็มีแร่ธาตุต่างๆ (เถ้า) โปรตีน และไขมัน เป็นต้น (อรอนงค์, 2532)

2.1.1.2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) และชั้นเยื่อโปร่งใส (hyaline layer) มีประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ของข้าวกล้อง เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากชั้นเปลือกหุ้มผลเข้ามาภายในมีส่วนสารที่เป็นไข (thick cuticle) เป็นเซลล์ชั้นเดียวมีความหนาประมาณ 0.5 ไมโครเมตร (พืชยา, 2541) มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียว หรือส่องแถวหรือมากกว่า เซลล์ชั้นในมีสารให้สีอยู่ด้วย ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ เช่น ขาว แดง ม่วงแดง ส้ม ดำ เป็นต้น มีคุณสมบัติในการป้องกันไม่ให้เข้าสู่ภายในเมล็ด ส่วนชั้นเยื่อโปร่งใสจะอยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใส ในชั้นทั้งสองนี้นอกจากจะมีสารให้สีแล้ว ยังประกอบด้วยโปรตีน แร่ธาตุ มีแพนโทแซน เซลลูโลส และไขมันน้อยกว่าเปลือกหุ้มผล (อรอนงค์, 2532)

2.1.1.2.3 ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) ชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีผนังเซลล์หนา มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง เป็นชั้นที่สำคัญอุดมด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด ภายในเซลล์แอลิวโรนยังมีเมล็ดแอลิวโรน (aleurone grian) ขนาดเล็กอยู่มากมายซึ่งภายในเป็นกรดไฟติก (สารประกอบของธาตุฟอสฟอรัส) หรือมีเกลือโพแทสเซียมและแมกนีเซียม รวมทั้งโปรตีนอยู่ด้วยในข้าวมีเซลล์ในชั้นแอลิวโรนตั้งแต่ 1 ถึง 7 แถว ผนังหนา ประกอบด้วยเมล็ดแอลิวโรน (แหล่งสะสมโปรตีนชนิดที่มีรูปร่างกลม) และไขมันที่มีขนาดกลม (อรอนงค์, 2532) เป็นชั้นที่ห่อหุ้มทั้งเนื้อเมล็ด เมื่อรวมกับเยื่อหุ้มเมล็ดมีประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ของข้าวกล้อง (พืชยา, 2541)

2.1.1.2.4 เนื้อเมล็ด (endosperm) มีประมาณ 89-94 เปอร์เซ็นต์ของข้าวกล้อง (พืชยา, 2541) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นเซลล์ที่มีผนังบาง มีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ ส่วนที่อยู่ถัดไปจะมีรูปร่างเซลล์ยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดศูนย์กลางเมล็ด มีผนังเซลล์บาง ภายในเซลล์จะประกอบด้วยสตาร์ช และโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ข้าวมีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กเป็นเหลี่ยมอยู่รวมกันเป็นกลุ่มถึง 150 เม็ด มองไม่เห็นไฮลัม เม็ดเกาะรวมกัน ขนาดเม็ดเดี่ยวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-12 ไมโครเมตร โปรตีนที่พบในเซลล์เนื้อเมล็ดนั้นจะอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ชใน 2 ลักษณะคือ เกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบในชั้นติดกับแอลิวโรนของข้าว 3 แบบคือ รวมตัวขนาดกลมใหญ่ ขนาดกลมเล็ก และมีลักษณะเป็นผลึก ส่วนลักษณะของโปรตีนอีกลักษณะจะเกาะเกี่ยวกันเป็นร่างแหกับเม็ดสตาร์ช (อรอนงค์, 2532)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.1.1.2.5 คัพภะ (germ หรือ embryo) คือส่วนที่เรียกว่าจมูกข้าว (ชาญ, 2536) มีประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ของข้าวกล้อง (พีชยา, 2541) เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด มีชั้นแอลิวโรนล้อมรอบอยู่ภายในคัพภะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนสกูเทลลัม (scutellum) ซึ่งเป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และคัพภะที่พร้อมจะเจริญเป็นยอดอ่อน ต้น และรากของพืชต่อไป ทำให้ส่วนคัพภะนี้อุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามิน เพื่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะโปรตีน (ในรูป protein bodies) และไขมัน (ในรูป lipid bodies) มีมากในคัพภะ และวิตามินบีหนึ่งมีมากในส่วนของสกูเทลลัม (อรอนงค์, 2532)

2.2 ข้าวมีสี (Pigmented rice)

ข้าวมีสี หมายถึง ข้าวที่มีรงควัตถุในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด เช่น รงควัตถุ สีดำ แดง ม่วง หรือสีน้ำตาลแดง รงควัตถุที่ให้สีดังกล่าวเป็นสารกลุ่มของแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) เป็นหลัก และแกมมาโอริซานอล (Gamma Oryzanol) ซึ่งจะสะสมอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดข้าวบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอกจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นใน (Koh *et al*., 1996) แอนโธไซยานินจัดเป็นสารในกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยการไปยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระในร่างกาย ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคหลอดเลือดอุดตันและเป็นตัวเริ่มต้นในการเกิดโรคมะเร็งที่อวัยวะต่างๆ (Amen, 1983; Ishihara and Hirano, 2002; Klauning and Kamendulis, 2004) ตัวอย่างข้าวมีสีที่พบในภาคเหนือ ได้แก่ ก่ำดอยสะเก็ด ข้าวกำน่าน และก่ำดอยมูเซอร์ พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ดออีก่ำ 87009 เหนียวดำ 88028 และ ข้าวก่ำ 88168 พบในภาคกลาง ก่ำสุพรรณ และก่ำไร่ พบในภาคใต้ ได้แก่ สังข์หยดทางหวาย หอมกระดังงา หอมกุหลาบแดง และหอมนิล นอกจากนี้ยังรวมไปถึงข้าวเหนียวดำชนิดต่างๆ เช่น ดำหอม ดำเปลือกดำ เป็นต้น ส่วนตัวอย่างพันธุ์ข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 2

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 2 ตัวอย่างชื่อและลักษณะของข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทย

ชื่อพันธุ์ข้าว	ชนิดข้าวสาร	สีข้าวกล้อง	แหล่งที่รวบรวม
ทางหวาย	เจ้า	แดง	อ.ท่าศาลา นครศรีธรรมราช
แหกหญ้า	เจ้า	แดง	อ.ท่าศาลา นครศรีธรรมราช
บางกอก	เจ้า	แดง	อ.เมือง นราธิวาส
สังข์หยด	เจ้า	น้ำตาล	อ.เมือง พัทลุง
หอมกระดังงา	เจ้า	แดงเข้ม	อ.ระแงะ นราธิวาส
เหนียวลูกผึ้ง	เจ้า	แดง	อ.ระแงะ นราธิวาส
เหนียวล้างปิ้ง	เหนียว	แดง	อ.สุไหงปาดี นราธิวาส
เจ๊ะแต	เหนียว	แดง	อ.เมือง ยะลา
เหนียวหลันตัน	เหนียว	แดง	อ.เมือง นราธิวาส

ที่มา : ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง (2550)

สัญชัย (2552) ศึกษาคุณภาพของข้าวมีสีพื้นเมืองภาคใต้ 8 ชนิด พบว่า สามารถจำแนกกลุ่มข้าวดังกล่าวตามสีของเมล็ดได้เป็น 2 กลุ่มคือ ข้าวที่มีรงควัตถุสีแดง ได้แก่ หอมกระดังงา กำหยาน สังข์หยด ข้าวเหนียวแดงรหัส 96060 และกรามแรด ส่วนอีกกลุ่มคือ ข้าวกล้องที่มีรงควัตถุสีม่วงได้แก่ ข้าวเหนียวดำรหัส 96044 ข้าวเหนียวดำรหัส 96025 และช่อไม้ไผ่ และพบว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และเถ้าของข้าวกล้องมีค่าเท่ากับ 6.63-8.46, 1.44-2.17, 0.16-0.35 และ 1.35-2.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับปริมาณโพลีฟีนอล พบว่า ข้าวเหนียวดำรหัส 96044 มีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุดรองลงมาคือ ข้าวเหนียวดำรหัส 96025 ช่อไม้ไผ่ ข้าวเหนียวแดงรหัส 96060 สังข์หยด หอมกระดังงา กรามแรด และกำหยาน เท่ากับ 320.24, 280.15, 208.42, 84.43, 82.01, 80.44, 80.17 และ 58.89 มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากข้าวกล้องมีสีสูงขึ้นความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH$^{\cdot}$ (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) สูงขึ้นด้วย โดยสารสกัดจากข้าวเหนียวดำรหัส 96044 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH$^{\cdot}$ มากที่สุดโดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารโพลีฟีนอลในสารสกัดดังกล่าว และความสามารถในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{+}$ (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)) ของข้าวกล้องมีสีทั้ง 8 ชนิดอยู่ในช่วง 0.22-0.10 มิลลิโมลาร์ต่อกรัมตัวอย่าง แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูล DPPH$^{\cdot}$ และ $ABTS^{+}$ ของสารสกัดที่ได้จากข้าวกล้องกับสารมาตรฐาน Trolox พบว่า สารมาตรฐาน

Prince of Songkla University Pattani Campus

Trolox มีความสามารถกำจัดอนุมูลทั้งสองได้ดีกว่าแม้ใช้ในความเข้มข้นต่ำๆ (0-20 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) เนื่องจากสารมาตรฐานมีความบริสุทธิ์สูงและสามารถรีดิวซ์ได้ดีกว่าสารสกัดจากข้าวมีสี

สุพิศา (2547) ศึกษาผลของพีเอช อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินสกัดจากแป้งข้าวพันธุ์หอมนิล พบว่า สารละลายแอนโธไซยานินมีสีแดงเข้มที่สุดในสภาวะที่เป็นกรด และไม่มีสีในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนและเป็นกลาง ในสภาวะที่เป็นด่างพีเอช 9 และ 11 พบว่า แอนโธไซยานินจะมีสีน้ำตาลแก่ และสลายตัวอย่างรวดเร็วได้เป็นสารละลายสีเหลืองอ่อน ระยะเวลา และอุณหภูมิการเก็บรักษา มีผลต่อความคงตัว และความเข้มสีของแอนโธไซยานิน ความเข้มสีของแอนโธไซยานินจะลดลงหลังจากการเก็บเป็นเวลา 60 วัน ทั้งที่อุณหภูมิ 6 และ 30 องศาเซลเซียส โดยที่ 6 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงช้าและน้อยกว่าที่ 30 องศาเซลเซียส

Choi *et al*. (2007) ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระของธัญพืชบางชนิดที่พบในประเทศเกาหลี โดยสกัดด้วยสารละลายเมธานอล และวิเคราะห์หาชนิดและประมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มของ โพลีฟีนอล แคโรทีนอยด์ และวิตามินอี ซึ่งสกัดโดยวิธี Folin-Ciocalteo, วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ตามลำดับ พบว่า ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่างในกลุ่มของ polyphenol มีปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวมีสีดำ ซึ่งพบในปริมาณเท่ากับ 733 และ 313 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณของสารกลุ่ม แคโรทีนอยด์ นั้นจะพบมากในถั่วเขียว ซึ่งพบในปริมาณเท่ากับ 102 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม และได้นำสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วย $DPPH^{\cdot}$ และ $ABTS^{+}$ assays ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก และ reducing power ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่าง และข้าวมีสีดำมีความสามารถในการต้านการเกิดอนุมูลอิสระในกรดไลโนเลอิก และ reducing power สูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในข้าวขาว ข้าวบาร์เลย์ และถั่วเขียว เป็นต้น

Yawadio *et al*. (2007) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกในข้าวมีสีและสามารถนำไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลโดสรีดักเตส โดยสกัดด้วยตัวทำละลายผสมของกรดไฮโดรคลอริกกับเมธานอล วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และวิเคราะห์โครงสร้างของแอนโธไซยานินด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปี(H NMR, C NMR และ MALDI MASS) พบว่าแอนโธไซยานินที่พบในข้าวมีสีคือ Cyanidin-3-glucoside และ Peonidin-3-glucoside และพบว่า Cyanidin-3-glucoside สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลโดสรีดักเตสได้มากกว่า Peonidin-3-glucoside

Prince of Songkla University Pattani Campus

Zhang *et al.* (2006) ศึกษาการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวมีสีดำโดยใช้สารสกัดที่มีขั้วต่างกัน คือ น้ำ ปิโตรเลียมอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เอทิลอะซิเตท และบิวทิวแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปแยกสารต้านอนุมูลอิสระด้วย Sephadex LH-20 resin และวิเคราะห์โครงสร้างด้วย Ultraviolet-vis, infra-red, ESI-MS, ^{1}H-NMR และ ^{13}C-NMR พบว่า การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้น้ำและบิวทิวแอลกอฮอล์จะได้ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือเท่ากับ 383 และ 392 กิโลยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่า จากการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระโดยส่วนใหญ่จะพบสารต้านอนุมูลอิสระคือ Anthocyanin (Malvidin), Pelargonidin-3,5-diglucoside, Cyanidin-3-glucoside และ Cyanidin-3,5-diglucoside โดยจะพบในปริมาณเท่ากับ 976, 878, 1134 และ 1087 กิโลยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในข้าวมีสีนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มของแอนโธไซยานิน

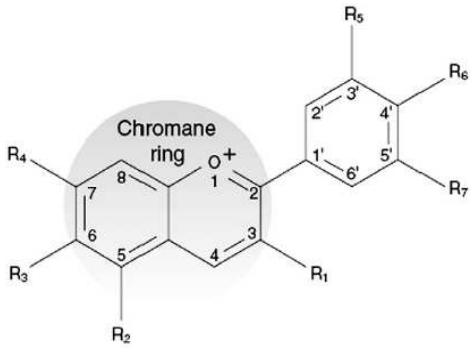
Keneda *et al*. (2006) ศึกษาสารประกอบที่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระในส่วนที่สกัดจากรำข้าวสีดำที่ปลูกในประเทศญี่ปุ่น พบว่า สารประกอบที่สกัดจากรำข้าวสีดำในรูปของ cyanidin-3-glucoside มีประสิทธิภาพสูงในการทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระและยังมีผลในการป้องกันการแทรกผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลตบนเซลล์ผิวหนังได้ดีด้วย

Ichikawa (2001) ศึกษาผลของสารแอนโธไซยานินที่สกัดได้จากข้าวสีม่วงดำกับการทำหน้าที่ต่อต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สารประกอบแอนโธไซยานินชนิด cyanidin-3-glucoside ที่ทำให้บริสุทธิ์จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด Superoxide radical ได้ดีกว่า Hydroxy radical และพบว่ายังมีผลในการทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดจากผลบลูเบอร์รี่ถึงสองเท่า

2.3 แอนโธไซยานิน

แอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุสีม่วงแดงซึ่งมีอยู่ทั่วไปในพืชทั้งผัก ผลไม้ ดอกไม้ และธัญชาติ เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวฟ่าง เป็นต้น แอนโธไซยานินในเยื่อหุ้มเมล็ดของธัญชาติจะไม่พบในรูปของอะไกลโคนที่อยู่ในรูปอิสระ แต่จะพบเฉพาะที่อยู่ในรูปของไกลโคไซด์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลเอสเทอร์ส่วนที่เป็นอะไกลโคน เรียกว่า แอนโธไซยานิดิน (รูปที่ 2)

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานิดิน

ที่มา: Castaneda-Ovando *et al*. (2009)

โครงสร้างแอนโธไซยานินประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (A) ต่อกันกับวงแหวนเฮเทอโรไซคลิก (C) และมีวงแหวนอะโรมาติกหรืออาจเป็นหมู่ของ เมธอกซิล และไฮดรอกซิล มาต่ออีก 1 วง (B) สารกลุ่มแอนโธไซยานินในพืชอาจพบได้มากกว่า 500 ชนิด แต่ที่พบในบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์มีทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ Pelargonidin (Pg), Peonidin (Pn), Cyanidin (Cy), Malvidin (Mv), Petunidin (Pt) และ Delphinidin (Dp) (ตารางที่ 3) ซึ่งมีความแตกต่างกันที่โครงสร้างและจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิลหรืออาจมีหมู่ของน้ำตาลเช่น ไซโลส อะราบิโนส และแรมโส มาเกาะที่บริเวณอะไกลโคนที่แตกต่างกัน (Castaneda-Ovando *et al*., 2009)

ตารางที่ 3 ชนิดและโครงสร้างแอนโธไซยานิดินที่พบบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของธัญชาติ

Type	Abbreviations	Substitution pattern							Colour
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	
Cyanidin	Cy	OH	OH	H	OH	OH	OH	H	Orange-red
Delphinidin	Dp	OH	OH	H	OH	OH	OH	OH	Blue-red
Malvidin	Mv	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OMe	
Pelargonidin	Pg	OH	OH	H	OH	H	OH	H	Orange-red
Peonidin	Pn	OH	OH	H	OH	OMe	OH	H	
Petunidin	Pt	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OH	Blue-red

ที่มา : ดัดแปลงจาก Castaneda-Ovando *et al.* (2009)

แอนโธไซยานิน เป็นรงควัตถุกลุ่มที่สามารถละลายได้ในน้ำหรือสารละลายที่มีขั้ว เช่น เอธานอล หรือ เมธานอล และสามารถแยกออกจากกันได้โดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารกลุ่มแอนโธไซยานินนั้นได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ โครงสร้างทางเคมี แสง

Prince of Songkla University Pattani Campus

ออกซิเจน และเอนไซม์ เป็นต้น (Castaneda-Ovando *et al*., 2009) โดยที่พีเอชของสารละลายที่แอนโธไซยานินละลายอยู่ มีผลต่ออัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานิน ทำให้สีเปลี่ยนไปได้ ตัวอย่างเช่น ไซยานิดิน (cyanidin) ซึ่งเป็นสีแดงของเชอรีและแครนเบอรี จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน เมื่อพีเอชเปลี่ยนจาก 3 เป็น 11 และโครงสร้างของโมเลกุลเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงพีเอชยังอาจเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผักและผลไม้ เช่น ระหว่างการสุกของผลไม้พีเอชเกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้สีของผลไม้เปลี่ยนไปโดยเฉพาะผลไม้จำพวกเบอรี การเปลี่ยนสีเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพีเอชยังขึ้นอยู่กับเกลือของแอนโธไซยานินด้วยว่า เป็นโพแทสเซียมไอออน โซเดียมไอออน แคลเซียมไอออน หรือแอมโมเนียมไอออน รงควัตถุแอนโธไซยานินที่อยู่ในผักและผลไม้ จะถูกทำลายได้ง่ายในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร ตัวอย่างเช่น การใช้อุณหภูมิสูง ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง พีเอช กรดอะมิโน กรดแอสคอร์บิก และภาวะที่มีออกซิเจน จะมีผลเร่งอัตราเร็วของการสลายตัวของแอนโธไซยานินให้เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกัน (condensation) ของแอนโธไซยานินกับสารประกอบเหล่านี้ (นิธิยา, 2545) ธัญชาติแต่ละชนิดจะมีปริมาณ และชนิดของรงควัตถุกลุ่มแอนโธไซยานินแตกต่างกัน โดยมีปัจจัยที่มาเกี่ยวข้องเช่น พันธุ์ของธัญชาติ สภาวะในการเพาะปลูก และสารอาหาร เป็นต้น

สารให้สีกลุ่มแอนโธไซยานินที่พบส่วนใหญ่ในข้าว คือ cyanidin-3-glucoside รองลงมาคือ peonidin-3-glucoside นอกจากนี้อาจพบ cyanidin-3-gentiobioside, cyanidin-3-rhamnoside, cyanidin-3,5-diglucoside, cyanidin-3-rhamnoglucoside, malvidin-3-galactoside, peonidin-3-rhamnoglucoside และ delphinidin แต่จะพบในปริมาณน้อย ปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวต่างพันธุ์กันจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าข้าวชนิด Suwon #415 มีปริมาณแอนโธไซยานินชนิด cyanidin-3-glucoside สูงที่สุดเท่ากับ 470 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และข้าวชนิด Suwon #425 มีปริมาณแอนโธไซยานินชนิด Peonidin-3- glucoside สูงที่สุดเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (Ryu *et al*., 1998; Escribano-Bailon *et al*., 2004)

Escribano-Bailon *et al*. (2004) ศึกษาสารประกอบแอนโธไซยานินในธัญพืช โดยสกัดด้วยสารละลายเอธานอล และวิเคราะห์ชนิดสารประกอบแอนโธไซยานินด้วยเครื่อง HPLC ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Detector ที่แตกต่างกัน เช่น UV-vis spectroscopy, Mass spectrometry, Nuclear magnetic resonance และ Hydrolysis technigues พบว่า สารประกอบแอนโธไซยานินส่วนใหญ่ที่พบในข้าวโพดพันธุ์สีม่วงคือ Cyanidin-3, Pelargonidin-3, Peonidin-3 และ Delphinidin ซึ่งปริมาณของสารแอนโธไซยานินทั้งหมดที่พบในข้าวโพดพันธุ์สีม่วง โดยวิเคราะห์ในรูปของ Cyanidin-3-glucoside ปริมาณของแอนโธไซยานินในข้าวโพดพันธุ์สีม่วงเปียกและข้าวโพดพันธุ์สีม่วงแห้งมีค่าเท่ากับ 1642 และ 1779 มิลลิกรัมของ Cyanidin-3-glucoside ต่อ

Prince of Songkla University Pattani Campus

น้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม และพบว่า สารประกอบแอนโธไซยานินที่พบได้ในข้าวมีสีได้แก่ Cyanidin-3-rhamnoside, Cyanidin-3-gentioside, Cyanidin-3,5-diglucoside, Cyanidin-3-rhamnoglucoside, Malvidin-3-galactoside, Peonidin-3-rhamnoglucoside และ Delphinidin แต่ที่พบมากคือ Cyanidin-3-glucoside และ Peonidin-3-glucoside ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้าวมีสีทั้งหมด 9 สายพันธุ์ได้แก่ Suwon #415, Kilimheugmi, Suwon #425, Heugjinmi, Sanghaehyeolla, Hongmi, Suwon #405, Suwon #420 และ Jawangdo พบปริมาณของแอนโธไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 493, 266, 246, 232, 55, 36, 20, 10 และ 10 มิลลิกรัมของ Cyanidin-3-glucoside ต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าสารประกอบแอนโธไซยานินที่พบในข้าวสาลีมีสี โดยที่จะพบสารแอนโธไซยานินคือ Cyanidin-3-gentiobioside โดยจะพบอยู่ในข้าวสาลีสีฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือข้าวสาลีสีม่วง และข้าวสาลีสีแดง ซึ่งมีปริมาณของแอนโธไซยานินมากในส่วนของรำมีค่าเท่ากับ 46, 24 และ 1 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวมีสี (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง)

Rice varieties	Cyanidin-3-glucoside	Peonidin-3- glucoside
Suwon #415	470	23
Kilimheugmi	240	26
Suwon #425	206	40
Heugjinmi	200	32
Sanghaehyeolla	50	5
Hongmi	30	6
Suwon #405	16	4
Suwon #420	10	nd
Jawangdo	10	t

ที่มา : Ryu *et al*. (1998) อ้างโดย Escribano-Bailon *et al*. (2004)

หมายเหตุ nd หมายถึง ไม่สามารถตรวจพบ

t หมายถึง พบน้อยมาก

Chung and Shin (2007) ศึกษาชนิดของสารแอนโธไซยานินที่มีในข้าวมีสี 5 ชนิด พบว่า ข้าว *Oryza sativa* cv. *Heugjinjubyeo* มีสารแอนโธไซยานินชนิด Cyanidin-3-O-β-D-glucopyranoside มีผลให้ข้าวมีสีม่วงบริเวณของเยื่อหุ้มเมล็ด สารชนิดนี้มีผลในการยับยั้งเอนไซม์ที่

Prince of Songkla University Pattani Campus

สลายไกลโคเจน (glycogen phosphorylase) ในร่างกายและสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ ซึ่งสารประกอบที่มีความสามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบได้ในแอนโธไซยานินกลุ่มนี้ได้แก่ 4-carboethoxy-6-hydroxy-2-quinolone, ethyl-3,4-dihydroxybenzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxyphenylacetic acid, 3,4-dihydroxybenzoic acid และ 4-hydroxy-3-methoxy cinnamic acid ส่วนกิจกรรมในการต้านอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ของข้าวมีสีที่แตกต่างกัน 5 สายพันธุ์ (Juanbyeo, Heugjinjubye, Ilpumbyeo, Jukjinjubyeo และ Obongbyeo) สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ $DPPH^{\cdot}$ ได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์และเมื่อวิเคราะห์ข้าวมีสีต่างสายพันธุ์กัน พบว่า ข้าวมีสีต่างสายพันธุ์กันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ต่างกันดังแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในข้าวมีสีพันธุ์ต่างๆ ด้วยวิธี $DPPH^{\cdot}$

Rice varieties	$DPPH^{\cdot}$ (% inhibition)
Oryza sativa cv. *Juanbyeo*	68.2
Oryza sativa cv. *Heugjinjubyeo*	58.6
Oryza sativa cv. *Ilpumbyeo*	58.8
Oryza sativa cv. *Jukjinjubyeo*	79.1
Oryza sativa cv. *Obongbyeo*	63.5

ที่มา : Chung and Shin (2007)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.1 การวิเคราะห์สารแอนโธไซยานิน

การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโธไซยานินในเมล็ดธัญชาติ จำเป็นต้องสกัดสารดังกล่าวจากเมล็ดการสกัดสารประกอบแอนโธไซยานินจากธัญชาติ ทำได้โดยการใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วเช่น สารละลายเมธานอล เอธานอล เอธิลอะซิเตท และอะซิโตน แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือสารละลายเมธานอล เนื่องจากสารละลายเมธานอลมีความเป็นพิษต่ำจึงไม่มีผลต่อผู้ทดลอง ซึ่งจะได้สารสกัดแอนโธไซยานิน ที่สามารถนำมาวิเคราะห์ทั้งปริมาณและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของแอนโธไซยานิน สามารถวิเคราะห์ในรูปของสารประกอบโพลีฟีนอลิกทั้งหมดหรืออาจวิเคราะห์ปริมาณของแอนโธไซยานิน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี (ตารางที่ 6) โดยวิธีที่นิยมใช้มากคือวิธี Folin-Ciocaltue หรือ Vanillin และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectroscopy เทียบกับสารละลายมาตรฐานเช่น gallic acid หรือ

Catechin ส่วนการระบุชนิดของแอนโธไซยานินและการวิเคราะห์ปริมาณของแอนโธไซยานินในธัญชาตินั้น สามารถใช้เทคนิค HPLC (high performance liquid chromatography) ร่วมกับ UV-vis spectroscopy และ Mass spectrometry ซึ่งจะจำแนกชนิดของแอนโธไซยานินตามความแตกต่างของโครงสร้างในสารประกอบแอนโธไซยานิน สำหรับความยาวคลื่นในการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับชนิดของแอนโธไซยานินที่มีอยู่ในธัญชาติ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินในตัวอย่างข้าวโพดสีม่วง จะใช้เทคนิคทางโครมาโทรกราฟฟีร่วมกับ diote array spectrometry และ mass spectrometry และใช้ความยาวคลื่นเท่ากับ 520 นาโนเมตร (Escribano-Bailon *et al*., 2004)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 6 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในธัญชาติ

Method	Standard	Reagents	Extraction	Time	Assayed compounds	References
Prussian blue	Catechin	FeCl3 in HCl	Methanol	1 min	phenolic compounds	Price *et al.* (1979)
Folin-Ciocaltueu	Catechin or gallic acid	Folin-Ciocaltueu reagent	Methanol	1 h	phenolic compounds	Kaluza *et al.* (1980)
Folin-Denis	Tannic acid	Folin-Denis Vanilin reagent	water	5 h	All reducing compound	Maxson and Rooney (1972)
Vanillin	Catechin	4% HCl, 1% vanillin in methanol	Methanol	24 h	Leucoanthocyanidins, proanthocyanidins	Nip and Burns (1971)
Acid butanol	Purified proanthocyani-dins	HCl in butanol	Methanol	20 min	proanthocyanidins	Porter *et al*. (1986)
International Standardization Organization (ISO)	Tannic acid	Ferric ammonium - citrate, NH3	Dimethylformamide	1 h	proanthocyanidins	ISO 9648 (1988)
Relative-degree of polymerization	-	HCl in butanol; 4% HCl, 0.5% vanillin in acetic acid	Methanol; 1% HCl in methanol	15 min	Leucoanthocyanidins, anthocyanidins, proanthocyanidins	Butler (1982)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.2. การสกัดแอนโธไซยานินและปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด

วิธีการสกัดแอนโธไซยานิน มีหลายวิธีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างที่ใช้ โดยมากจะใช้ตัวทำละลายในการสกัดและทำการสกัดในสภาวะที่เป็นกรด ซึ่งประสิทธิภาพในการสกัดแอนโธไซยานินนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ กัน ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย ชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัดหรือความเป็นกรด-ด่าง ดังนี้

2.3.2.1 ชนิดของตัวทำละลาย การใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมกับวัตถุดิบจะมีผลต่อปริมาณของแอนโธไซยานินที่สกัดได้ และวัตถุดิบที่ต่างชนิดกันก็เหมาะสมกับตัวทำละลายต่างชนิดกัน

Metivier *et al*. (1980) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินจากกากองุ่นที่ได้จากการทำไวน์ โดยใช้ตัวทำลายคือ กรดในเมธานอล กรดในเอธานอล และกรดในน้ำ ชนิดของกรดต่างๆ ที่ใช้ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก ซิตริก ทาร์ทาริก ฟอร์มิก อะซิติก และโพรพิโอนิก พบว่าเมธานอลเป็นตัวสกัดที่ดีที่สุดซึ่งสกัดได้มากกว่าเอธานอลและน้ำ 20 และ 73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการสกัดด้วยเมธานอลที่มีกรดไฮโดรคลอริก 10 เปอร์เซ็นต์ จะให้ปริมาณของแอนโธไซยานินสูงสุด ส่วนการใช้กรดอินทรีย์ในเมธานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่า กรดซิตริกเป็นตัวสกัดที่ดีที่สุด รองลงมาคือ กรดทาร์ทาริก ฟอร์มิก อะซีติก และโพรพิโอนิก ตามลำดับ แต่การสกัดด้วยแอลกอฮอล์จะเกิดการระเหยไปในอากาศได้ ดังนั้นจึงอาจใช้น้ำเป็นตัวสกัดแทนและควรมีกรดอะซิติกด้วย เพราะให้ประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุด รองลงมาคือกรดซิตริก ทาร์ทาริก และไฮโดรคลอริก ถึงแม้ว่าการสกัดด้วยสารละลายกรดในน้ำจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการสกัดด้วยกรดในเมธานอลและเอธานอล

Chiriboga and Francis (1970) สกัดแอนโธไซยานินจากกากของผลแกรนเบอร์รี่ด้วยตัวทำละลายต่างๆ กัน 8 ชนิดได้แก่ น้ำ อะซีโตน เอธิลลีนไกลคอล โพรพีลีนไกลคอล เมธิลเอธิลคีโตน เมธานอล และ เอธานอล พบว่า เมธานอลและเอธานอลมีประสิทธิภาพการสกัดสูงกว่าตัวทำละลายอื่นๆ และเมื่อใช้ร่วมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.03 เปอร์เซ็นต์กรด ในเมธานอล จะทำให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงขึ้น ถ้าต้องการใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเอธานอลจะได้รับความนิยมมากกว่าเมธานอล เนื่องจากปริมาณสารตกค้างในผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยกว่า นอกจากนี้ความชื้นของวัตถุดิบมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์จะมีผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลง นอกจากนี้พบว่า เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณแอนโธไซยานินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นจาก 19 เปอร์เซ็นต์ เป็น 49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อุณหภูมิในการสกัด พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาณแอนโธไซยานินที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่

Prince of Songkla University Pattani Campus

เนื่องจากแอนโธไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยความร้อน ทำให้เกิดการเสื่อมเสียไปเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการสกัดจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัด

สิรินาถ (2545) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินจากดอกกระเจี๊ยบแดง โดยใช้ดอกกระเจี๊ยบสดต่อน้ำในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วแยกกากออกและระเหยน้ำจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเป็น 20 องศาบริกซ์ เพื่อใช้เป็นสารให้สีในเยลลี่เปรียบเทียบกับสีสังเคราะห์ได้แก่ ยองโซ 4 อาร์ 35 เปอร์เซ็นต์ คาร์โมอีซีน 4 เปอร์เซ็นต์ และทาร์ทราซีน 1.8 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เยลลี่ที่ใช้สีจากแอนโธไซยานินของดอกกระเจี๊ยบมีความคงตัวของเจลสูงกว่าที่ใช้สีสังเคราะห์ และได้รับผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยรวมสูงกว่าเยลลี่ที่ใช้สีสังเคราะห์ นอกจากนี้ ภัทราภรณ์ (2545) ได้สกัดแยกสารแอนโธไซยานินในดอกกระเจี๊ยบโดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิดคือ น้ำกลั่น เมธานอล และเมธานอลผสมกรดไฮโดรคลอริก (99:1 โดยปริมาตร) พบว่า การสกัดด้วยเมธานอลผสมกรดไฮโดรคลอริกจะให้ปริมาณแอนโธไซยานินสูงที่สุดรองลงมาคือ น้ำกลั่นและเมธานอล ตามลำดับ

2.3.2.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด การใช้เวลาในการสกัดมากจะได้ปริมาณของแอนโธไซยานินมากขึ้นด้วย สุภาพรรณและอรไท (2529) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินจากเปลือกมังคุด ซึ่งใช้เวลาในการสกัด 3 ระดับคือ 1, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะสกัดแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ รัตนาและระมน (2532) ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงแห้งโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 0.1 เปอร์เซ็นต์ใน 95 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายเอธานอล โดยใช้เวลาในการสกัด 0, 0.5, 1, 2, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณของแอนโธไซยานินที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.3.2.3 อุณหภูมิในการสกัด การเพิ่มอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดจะทำให้ได้ปริมาณแอนโธไซยานินมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปอาจจะไปทำลายแอนโธไซยานินได้ (ยุพาพร, 2547) โดย Kirca *et al.* (2007) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของแอนโธไซยานินโดยสกัดที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิมีผลให้แอนโธไซยานินเกิดการสลายตัว อัตราการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและมีปริมาณของแข็งเพิ่มสูงขึ้น

2.3.2.4 อัตราส่วนระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลาย อัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ได้ปริมาณแอนโธไซยานินมากขึ้น และอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่ใช้ยังเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการสกัด เนื่องจากจะมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างวัตถุดิบกับตัวทำละลายตลอดจนความเข้มข้นและปริมาณสุดท้ายของสารละลายที่สกัดได้ (ยุพาพร, 2547)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Bronnum-Hansen and Flink (1986) สกัดแอนโธไซยานินจากผลเอลเดอเบอร์รี่ โดยแปรอัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย (สารละลายกรด 0.1 M HCl) ในช่วง 2.5 ถึง 40 พบว่า ที่อัตราส่วนต่ำๆ คือ 2.5 ถึง 5 จะทำให้สารละลายแอนโธไซยานินที่ได้จากการสกัดครั้งแรกมีความเข้มข้นสูง แต่แอนโธไซยานินในการสกัดครั้งแรกต่ำคือ ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ และต้องสกัด 3-4 ครั้ง เพื่อให้ได้แอนโธไซยานินรวมใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่ออัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายสูงขึ้น การสกัดครั้งแรกจะได้เปอร์เซ็นต์แอนโธไซยานินสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาตรรวมของสารละลายที่ใช้ก็จะเพิ่มด้วย ดังนั้นการเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ต้องพิจารณา รวมถึงจำนวนครั้งในสารสกัดและปริมาตรรวมของตัวทำละลายที่ใช้

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานิน

2.3.3.1 กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี มีผลต่อความคงทนของแอนโธไซยานิน โดยสามารถลดปริมาณแอนโธไซยานินทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยการ ออกซิไดส์สารประกอบแอนโธไซยานินภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือสภาวะบรรยากาศที่มีไนโตรเจน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการจางลงของสีแอนโธไซยานิน ดังนั้นจึงถือได้ว่ากรดแอสคอร์บิกเป็นเหมือนตัวเหนี่ยวนำทำให้เกิดการสูญเสียแอนโธไซยานินได้ นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกสามารถเกิดการรวมตัวกัน (condensation) กับแอนโธไซยานินได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่คงตัวและเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีต่อไป (Skrede *et al*., 1992)

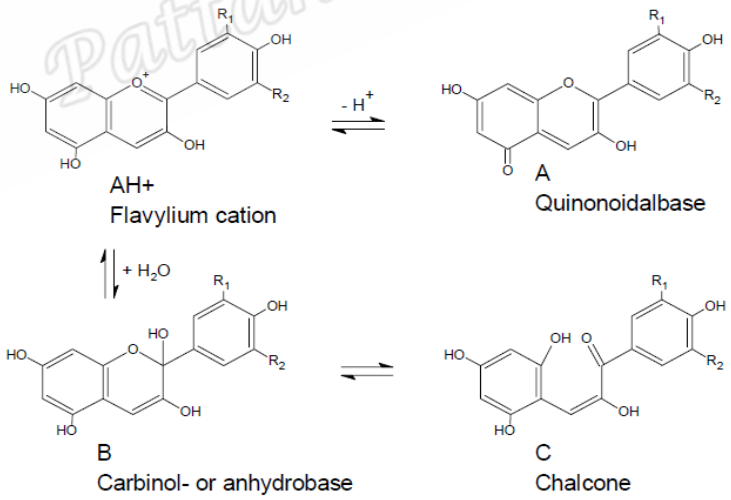
Choi *et al*. (2002) ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกในน้ำผลไม้ต่อความคงตัวของรงควัตถุในน้ำส้มระหว่างการเก็บเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, และ 7 สัปดาห์ โดยทำการเปรียบเทียบน้ำส้มที่เติมกรดแอสคอร์บิก 23.1 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร และไม่มีการเติมกรดแอสคอร์บิก พบว่า ในสภาวะที่มีกรดแอสคอร์บิก และเมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้น จะมีผลให้ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินลดลง

Garcia and Bridle (1999) ศึกษาอิทธิพลของแอสคอร์บิกต่อโครงสร้างและความคงตัวของแอนโธไซยานินและเกลือฟลาวีเลียม (flavylium) โดยการเพิ่มกรดแอสคอร์บิกลงไปในสารสกัดแอนโธไซยานินให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 330 มิลลิกรัมต่อลิตร และเปรียบเทียบกับสารสกัดแอนโธไซยานินที่ไม่มีการเพิ่มกรดแอสคอร์บิก พบว่า อัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และอัตราการสูญเสียของแอนโธไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีกรดแอสคอร์บิกเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ส่วนเกลือฟลาวีเลียม ก็ให้ผลเช่นเดียวกับ

Prince of Songkla University Pattani Campus

แอนโธไซยานินคือ เมื่อมีกรดแอสคอร์บิกในองค์ประกอบจะทำให้เกิดการสลายตัวได้มากขึ้นมีผลทำให้ความคงตัวลดลง

2.3.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช) พีเอชมีผลต่อสีของแอนโธไซยานินคือ เมื่อแอนโธไซยานินอยู่ในสภาพสมดุลในสารละลายที่เป็นกรดมาก จะอยู่ในรูปของ flavylium cation (สีแดง) เพียงชนิดเดียวซึ่งทำให้สารละลายมีสีแดง เมื่อพีเอชสูงขึ้นจนอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลางปริมาณ flavylium cation จะลดลง เนื่องจากเปลี่ยนรูปไปเป็น anhydrobase anion, anhydrobase, carbinol base, และ chalcone ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา hydration ของโครงสร้าง flavylium cation ทำให้มีการแลกเปลี่ยนประจุของไฮโดรเจน ซึ่งจะเกิดสมดุลที่ pK เท่ากับ 4.25 (Brouillard and Delaport, 1977; Rein, 2005) จากรูปที่ 3 แอนโธไซยานินจะมีความคงตัวต่ำเมื่อเปลี่ยนแปลง พีเอชของสารละลาย และในสารละลายกรดจะมีความคงตัวที่สูงกว่าในสารละลายที่เป็นด่าง ในสารละลายที่เป็นกรดสูง (พีเอชน้อยกว่า 2) แอนโธไซยานินจะอยู่ในรูปของ flavylium cation โดยจะแสดงความเป็นสีแดง เมื่อพีเอชในสารละลายลดลงทำให้โครงสร้างสูญเสียโปรตอนและมีผลให้ตำแหน่งของพันธะคู่บริเวณวงเหวนถูกเปิดออกและเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็น quininoidal base เกิดเป็นสีม่วงหรือสีน้ำเงิน ขณะเดียวกัน flavylium cation สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้เกิด carbinol หรือ pseudobase จากนั้นเปลี่ยนก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chalcone ที่ไม่มีสีได้ (Rein, 2005; Cavalcanti *et al*., 2011)



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโธไซยานินเมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอช
ที่มา: Rein (2005)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Cabrita *et al*. (2000) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานิน 6 ชนิด คือ pelargonidin, delphinidin, cyanidin, petunidin, peonidin และ malvidin ในสารละลายที่มีพีเอชต่างกันตั้งแต่ 1-12 นาน 60 วัน พบว่า สารดังกล่าวทั้ง 6 ชนิดมีความคงตัวในช่วงพีเอช แต่เมื่อเข้าใกล้สภาวะที่เป็นกลางความคงตัวจะลดลงจนกระทั่งเกิดการสลายตัวหมด แต่มีแอนโธไซยานิดินบางชนิดเช่น pelargonidin, cyanidin, peonidin และ malvidin ความคงตัวจะเพิ่มขึ้นในสภาวะที่เป็นเบส (พีเอช 7-10) ด้วยแต่ก็ไม่สูงเท่ากับในสภาวะที่เป็นกรด แสดงว่าพีเอชที่แตกต่างกันส่งผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานิดินแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน โดยปกติพีเอชต่ำซึ่งเป็นสภาวะที่เป็นกรดความคงตัวจะมากกว่าในสภาวะที่พีเอชสูงซึ่งเป็นเบส

2.3.3.3 อุณหภูมิ แอนโธไซยานินจะถูกทำลายด้วยความร้อนระหว่างผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น การอบรำข้าวสาลีสีม่วงที่อุณหภูมิ 177 องศาเซลเซียส มีผลให้เกิดการสูญเสียแอนโธไซยานินเท่ากับ 10.38 เปอร์เซ็นต์ (Li *et al*., 2007) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูงถึง 177 องศาเซลเซียส สามารถที่จะตรวจพบสารแอนโธไซยานินได้แต่ก็เกิดการสูญเสียปริมาณสารดังกล่าวด้วยนอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาวะที่อุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มของแอนโธไซยานินยิ่งลดลงมากขึ้นด้วย อัตราการสูญเสียของแอนโธไซยานินระหว่างกระบวนการให้ความร้อนจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนและพีเอชในสารละลาย โดยเมื่อเพิ่มความคงตัวของพีเอชจะมีผลให้มีความคงตัวระหว่างกระบวนการให้ความร้อนมากขึ้น และโครงสร้างของแอนโธไซยานินที่มีปริมาณเมธอกซิลสูง ก็จะมีความคงตัวที่สูงกว่าแอนโธไซยานินที่มีหมู่ไฮดรอกซิล การให้ความร้อนจะมีผลให้โครงสร้างของแอนโซยานินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ chalcone มากขึ้น แต่ปฏิกิริยาสามารถเกิดย้อนกลับได้เมื่อลดอุณหภูมิ การเปลี่ยนโครงสร้างของแอนโธไซยานินเนื่องจากความร้อน เกิดได้จากการเปลี่ยนรูปของ flavylium cation ไปอยู่ในรูปของ quinonoidal base และสารประกอบอื่นๆ เช่น coumarin น้ำตาลแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ flavylium cation สามารถเปลี่ยนโครงรูปไปเป็น carbinol base และเปลี่ยนรูปเป็น chalcone ซึ่งไม่มีสีสามารถเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่นเกิดเป็นผลิตภัณฑ์สีน้ำตาลได้ (Cavalcanti *et al*., 2011)

Brouillard (1982) กล่าวว่าการเกิดสมดุลของปฏิกิริยาระหว่างโครงสร้างของแอนโธไซยานินเป็นแบบดูดความร้อนแสดงดังสมการ นั่นคือสมดุลจะเปลี่ยนจากซ้ายไปขวาดังนั้นเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งโครงสร้างของแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนโครงรูปจาก quinonoid ไปเป็น chalcone แต่สมการสามารถเกิดย้อนกลับเมื่อเวลาผ่านไปได้แต่การเปลี่ยนโครงรูปกลับจะเกิดได้ช้ากว่า และเนื่องจากการวัดความเข้มข้นของแอนโธไซยานินทั้งหมดนั้น นิยมวัดเมื่อแอนโธไซยานินอยู่ในรูปของ flavylium ดังนั้นถ้าศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเสื่อมสลายของแอนโธไซยานินจะวัดเฉพาะแอนโธไซยานินที่อยู่ในโครงรูปของ flavylium เท่านั้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

blue-Quinonoid ◄► red-Flavylium ◄► colorless-Carbinol base ◄► colorless-chalcone

โครงสร้างของแอนโธไซยานินที่ต่างกัน โดยมีชนิดและน้ำตาลมาเกาะที่ตำแหน่งของคาร์บอนต่างกันมีผลต่อการสลายตัวของแอนโธไซยานินด้วยความร้อน กล่าวคือ จากโครงสร้างของแอนโธไซยานินที่มีหมู่ไฮดรอกซิล และน้ำตาลมาจับกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 หรือ 7 ของโครงสร้าง flavylium มีผลให้ระดับการเกิดการสลายตัวต่างกันด้วย นอกจากนี้ถ้าแอนโธไซยานินชนิดเดียวกันแต่จำนวนน้ำตาลที่มาเกาะไม่เท่ากัน เช่น 3,5-diglycosides จะใช้เวลาในการเกิดสมดุลระหว่าง chalcone กับ flavylium ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นานถึง 12 ชั่วโมง แต่ถ้าเป็นน้ำตาล 3-glycosides จะใช้เวลา 6 ชั่วโมง โดยการสลายตัวของแอนโธไซยานินระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนนั้น จะเกิดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสลายของพันธะโควาเลนท์ระหว่างโครงสร้าง จึงมีผลให้ระดับการสลายตัวแตกต่างกันด้วย การให้ความร้อนในการแปรรูปที่ต่างกัน ก็จะมีผลต่อการสลายตัวของแอนโธไซยานินต่างกันด้วย (Patras *et al*., 2009)

Brownmiller *et al*. (2008) พบว่า การให้ความร้อนน้ำบลูเบอร์รี่เข้มข้นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีจะมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลง 43 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับผลบลูเบอรรี่สด ส่วน Hager *et al*. (2008) พบว่า การแปรรูปเบอร์รี่บรรจุกระป๋องในน้ำและน้ำเชื่อมจะมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลง 42 และ 51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ Volden *et al*. (2008) พบว่า การแปรรูปกะหล่ำปลีสีแดงด้วยการลวก ต้ม และนึ่ง จะมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินลดลงเท่ากับ 59, 41 และ 29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Cabrita *et al*. (2000) พบว่า การเสื่อมของแอนโธไซยานินในสารละลายแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้นจาก 30 เปอร์เซ็นต์ เป็น 60 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บไว้ 60 วัน เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการเก็บจาก 10 องศาเซลเซียส เป็น 23 องศาเซลเซียส ในกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อให้มีปริมาณแอนโธไซยานินสูงสุด (Jackman and Smith, 1996) แนะนำให้ใช้กระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนสูงเวลาสั้น (High-temperature short-time)

Fossen *et al*. (1998) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานิน (petanin และ cyanidin-3-glucoside) ที่พีเอช 1-9 โดยเก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 23 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง, 1, 2, 5, 8, 15 และ 60 วัน พบว่า ที่ทุกระดับพีเอชในสภาวะที่มีอุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้นจะมีผลให้ปริมาณของแอนโธไซยานินลดลง ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลให้ปริมาณแอนโธไซยานินลดลงอย่างรวดเร็ว

Prince of Songkla University Pattani Campus

Maccarone *et al*. (1985) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินในน้ำส้มที่เก็บในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ คือ 15, 25 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราการเสื่อมเสียเกิดเป็น 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส

Palamidis and Markakis (1975) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินในเครื่องดื่ม โดยเก็บที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 38 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน ในที่มืด พบว่า อุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้นมีผลให้ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินลดลง และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่า ในสภาวะที่มีแสงจะมีผลทำให้ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินลดลง

2.3.3.4 แสง การเสื่อมสลายของแอนโธไซยานินโดยเฉพาะแอนโธไซยานินที่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-5 จะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเนื่องจากแสงได้มากกว่าแอนโธไซยานินที่ไม่มีหมู่ hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-5 นอกจากนี้แสงยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายจากความร้อน (ยุพาพร, 2547)

Palamidis and Markakis (1975) ศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินในเครื่องดื่มเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่า ในสภาวะที่มีแสงทำให้ความเข้มข้นของแอนโธไซยานินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Morais *et al*. (2002) ศึกษาผลของสภาวะการเก็บต่อความคงตัวของแอนโธไซยานิน โดยเก็บในสภาวะที่ไม่มีแสงและมีแสงเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 24, 32 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ที่สภาวะการเก็บเดียวกัน อัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแสง

2.3.3.5 โปรตีน สารสกัดแอนโธไซยานินจากองุ่นบางตัวจะทำปฏิกิริยากับโปรตีน เช่น เจลาติน ซึ่งทำให้เกิดการเป็นตะกอน แต่ปฏิกิริยานี้มักเกิดจากสารประกอบชนิดอื่นที่ไม่มีรงควัตถุ เช่น สารประกอบฟีโนลิก (phenolic) มากกว่าที่จะเกิดจากแอนโธไซยานิน เนื่องจากแอนโธไซยานินที่มีความบริสุทธิ์เท่านั้นที่จะทำปฏิกิริยากับเจลาติน (Hendry, 1996)

2.4 ประโยชน์เชิงสุขภาพของแอนโธไซยานิน

แอนโธไซยานินแสดงคุณสมบัติที่มีศักยภาพในเชิงประโยชน์ต่อสุขภาพ คือการเป็นสารต่อต้านการเกิดออกซิเดชันที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง การต่อต้านการอักเสบของเนื้อเยื่อ การต่อต้านการแข็งตัวของเส้นเลือด และโรคหัวใจ (Bridle and Timberlake, 1996; Harbone and Grayer, 1988; Wang *et al*., 1999) การเกิดการสลายตัวหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโธไซยานิน ส่งผลให้ประโยชน์เชิงสุขภาพของสารดังกล่าวลดลง ธิติพร (2547) กล่าวว่า การบริโภคไวน์แดงในระดับในระดับปานกลางจะมีความสัมพันธ์กับการลด

Prince of Songkla University Pattani Campus

ความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ ซึ่งเป็นผลมาจากสารประกอบโพลีฟีนอล เช่น แอนโธไซยานิน, แคเธชิน และฟีนอลิกอื่นๆ จากการศึกษา in vitro ของไวน์แดงต่อความตึงหลอดเลือด ซึ่งแสดงผลโดยการเพิ่มการเคลื่อนแคลเซียมเข้าในเซลล์ และการเคลื่อนไหวหมุนเวียนของแคลเซียมที่ถูกเก็บไว้ในเซลล์ นอกจากนี้ยังยับยั้งการเกาะกันของเกร็ดเลือด นอกจากนี้แอนโธไซยานินยังกระตุ้นให้เกิดการหลั่งอินซูลินได้ โดยแอนโธไซยานินที่อยู่ในผลไม้จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการลดภาวะโรค coronary heart disease และถูกนำไปใช้ในการเตรียมเป็นยารักษาโรคเบาหวาน ซึ่งแอนโธไซยานินมีความสามารถที่จะกระตุ้นการหลั่งอินซูลินจากตับอ่อนของหนูเพิ่มขึ้นถึง 1.4 เท่าที่ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดหนู 4 mM

Ling *et al*. (2001) พบว่า ข้าวสีดำพันธุ์ Heuginmi จากประเทศเกาหลีสามารถลดการอุดตันของเส้นเลือด และเพิ่มสภาวะต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidation status) ในกระต่าย และพบว่า สารควิโนโลนอัลคาลอยด์ (quinolone alkaloid) ในข้าวสีดำมีกิจกรรมต่อต้านการเกิดออกซิเดชันปานกลาง

Espin *et al*. (2000) ศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูล (Radical Scavenger Capacity; RSC) ของแอนโธไซยานินซึ่งสกัดจากผลไม้ ได้แก่ แบลค โชคเบอรี (black chokeberry) แบลค-ธอน (black-thorn) และสตรอเบอร์รี เปรียบเทียบกับสีสังเคราะห์พองโซ 4 อาร์ แอนติออกซิแดนท์ในธรรมชาติคือ แอลฟา-โทโคฟีรอล แอนติออกซิแดนท์สังเคราะห์คือ บีเอชที และบีเอชเอ ศึกษาโดยใช้อนุมูล 2,2-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮดราซิล (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical; $DPPH^{\cdot}$) ในการหาค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูล พบว่า แอลฟา-โทโคฟีรอลเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ที่ดีที่สุด รองลงมาคือ แบลค โชคเบอรี บีเอชเอ แบลค-ธอน บีเอชที และสตรอเบอร์รี ตามลำดับ ส่วนสีสังเคราะห์พองโซ 4 อาร์ไม่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล

Wang *et al*. (1997) ศึกษาความสามารถในการดูดซับอนุมูลออกซิเจน (Oxygen Radical Absorbing Capacity; ORAC) ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน โดยได้ทำการทดลองนำแอนโธไซยานิน 14 ชนิดมาวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับอนุมูลออกซิเจน พบว่า แอนโธไซยานินมีความสามารถในการต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน และแอนโธไซยานินที่ประกอบด้วยแอนโธไซยานิดินที่แตกต่างกัน มีน้ำตาลที่มาเอสเทอริไฟด์ (esterified) ต่างกันจะมีผลให้ความสามารถในการดูดซับอนุมูลออกซิเจนแตกต่างกัน ซึ่งสัมพันธ์กับคุณสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์

Tamura and Yamagami (1994) ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการต่อต้านการเกิดออกซิเดชันของแอนโธไซยานินกับแอนติออกซิแดนท์ตัวอื่นๆ ได้แก่ นารินจีนิน (naringenin) แอลฟา-โทโคฟีรอล (α-tocopherol) คาเทชิน (catechin) และบีเอชที (BHT) พบว่า แอนโธไซยานิน

มีคุณสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิเดชันสูงกว่านารินจีนิน แอลฟา-โทโคฟีรอล และคาเทชิน แต่น้อยกว่าบีเอชที

2.5 ผลของกระบวนการแปรรูปต่อความคงทนของแอนโธไซยานิน

การบริโภคข้าวจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแปรรูปหรือทำให้สุกก่อนเช่น การหุง การต้ม หรือการนึ่ง ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในข้าว รวมทั้งแอนโธไซยานินซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Zhang and Hamauzu, 2004)

Lamberts *et al.* (2007) ศึกษาผลของกระบวนการขัดสีต่อคุณภาพของข้าวพันธุ์ Puntal โดยมีการควบคุมระยะเวลาของการขัดสีเท่ากับ 0-100 วินาที และระดับในการขัดสีเท่ากับ 0-25 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่ระดับการขัดสีต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวถูกขัดเอารำออกไป ที่ระดับการขัดสีเท่ากับ 9-15 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวถูกขัดเอารำและเอนโดเสปร์มชั้นนอกออก และที่ระดับการขัดสีเท่ากับ 15-25 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวถูกขัดเอารำ เอนโดสเปร์มชั้นนอกและชั้นกลางออกไป ผลการวิเคราะห์สีของเมล็ดข้าวด้วยเครื่องวัดสี พบว่า รำของข้าวมีค่าสีเหลืองและสีแดงมากกว่าในส่วนของเอนโดสเปร์ม และค่าสีจะลดลงเมื่อมีระดับของการขัดสีเพิ่มขึ้น รงควัตถุจะอยู่ในส่วนของเอนโดสเปร์มชั้นกลาง ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวยังคงมีสีเหลืองและแดงอยู่เมื่อผ่านการขัดที่ระดับต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์

Dlamini *et al.* (2007) ศึกษาผลของชนิดข้าวฟ่าง การขัดสี และกระบวนการแปรรูปแบบเอกซ์ทรูชันต่อปริมาณและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ข้าวฟ่างต่างชนิดกันมีปริมาณฟีนอลทั้งหมดแตกต่างกัน ข้าวฟ่างที่มีแทนนินจะมีปริมาณฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วงเท่ากับ 20-25 mg catechin/g ซึ่งมากกว่าข้าวฟ่างที่ไม่มีแทนนินโดยจะอยู่ในช่วงเท่ากับ 2.7-5.3 mg catechin/g ข้าวฟ่างที่มีแทนนินจะมีกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวฟ่างที่ไม่มีแทนนิน การขัดสีมีผลให้ปริมาณฟีนอลทั้งหมดในข้าวฟ่างทั้งกลุ่มที่มีแทนนินและไม่มีแทนนินลดลง โดยข้าวฟ่างที่มีแทนนินจะมีการสูญเสียปริมาณฟีนอลมากกว่าข้าวฟ่างที่ไม่มีแทนนิน โดยสูญเสียประมาณ 65-80 เปอร์เซ็นต์ และการขัดสียังมีผลให้ปริมาณแทนนินของข้าวฟ่างกลุ่มที่มีแทนนินลดลง ซึ่งพบว่ามีการสูญเสียเท่ากับ 79-92 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการขัดสีเอาส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดออกก็จะทำให้สารดังกล่าวหลุดออกไปด้วย และพบว่า กิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่างจะลดลง ซึ่งจะลดลงได้ประมาณ 73-87 เปอร์เซ็นต์ การแปรรูปด้วยวิธี extrusion นั้นจะมีผลให้ปริมาณฟีนอลทั้งหมดและแทนนินของข้าวฟ่างทั้งที่ผ่าน และไม่ผ่านการขัดสีลดลงประมาณ 62-80 และ 95-99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่ข้าวฟ่างที่ไม่ผ่านการขัดสีจะมีปริมาณฟีนอลทั้งหมด

Prince of Songkla University Pattani Campus

และแทนนินลดลงมากกว่าข้าวฟ่างที่ผ่านการขัดสี และมีผลให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของทุกชุดการทดลองจะลดลงถึง 86 เปอร์เซ็นต์

Li *et al*. (2007) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของรำข้าวสาลีสีม่วง นำรำข้าวสาลีสีม่วงไปอบที่อุณหภูมิ 177 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และนำรำข้าวสาลีสีม่วงไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มัฟฟินจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 177 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7-12 นาที สกัดสารละลายด้วยสารละลายเอธานอลต่อกรดไฮโดรคลอริก (85:15 v/v) วิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินโดยใช้วิธีความแตกต่างของ พีเอช ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของแอนโธไซยานินชนิด cyanidin-3-glucoside และวิเคราะห์กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี $DPPH^{\cdot}$ พบว่า ความร้อนจากการอบมีผลให้ปริมาณ cyanidin-3-glucoside ในรำข้าวสาลีสีม่วงลดลง โดยก่อนอบและหลังการอบจะมีปริมาณ cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 1.155 และ 1.035 mg/g ตามลำดับ ผลของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์มัฟฟินต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า รำข้าวสาลีสีม่วงที่ผ่านการให้ความร้อนมีกิจกรรมการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ได้สูงกว่าผลิตภัณฑ์มัฟฟินและรำข้าวสาลีสีม่วงดิบ นอกจากนี้พบว่า รำข้าวสาลีสีม่วงที่ผ่านการอบจะมีกิจกรรมในการกำจัดอนุมูล $DPPH^{\cdot}$ สูงสุดเท่ากับ 71 เปอร์เซ็นต์

Pozo-Infran *et al*. (2006) ศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวโพดสีขาว (white dented corn, WDC) และข้าวโพดสีม่วง 2 ชนิดคือ blue Mexico corn (BMC) และ blue American corn (BAC) และศึกษาผลของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ tortilla และ chip ต่อปริมาณโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ข้าวโพด BMC จะมีปริมาณแอนโธไซยานินสูงกว่าข้าวโพด BAC โดยเมื่อผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ nixtamal tortilla และ tortilla chips จะมีปริมาณแอนโธไซยานินลดลงไปเท่ากับ 37, 54 และ 75 ตามลำดับ และพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการเติมกรด จะมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวโพดที่เป็นวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเติมกรด ส่วนประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ข้าวโพด BMC มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้สูงสุด และเมื่อผ่านการผลิตผลิตภัณฑ์ nixtamal ข้าวโพดทั้ง 3 ชนิดจะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเท่ากับ 72 เปอร์เซ็นต์และเมื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ tortilla และ tortilla chips จะมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลงเท่ากับ 53 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.6 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

เครื่องดื่ม (Beverage) หมายถึง สิ่งที่จัดเตรียมสำหรับดื่ม และมักจะมีน้ำ เป็นส่วนประกอบหลัก บางประเภทได้คุณค่าทางโภชนาการ บางประเภทดื่มแล้วไปกระตุ้นระบบประสาท และบางประเภทดื่มเพื่อดับกระหาย แบ่งออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ น้ำดื่มสะอาด น้ำผลไม้ นม น้ำอัดลม เครื่องดื่มบำรุงกำลัง ชาและกาแฟ และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังจัดประเภทของเครื่องดื่มเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอลล์ (alcoholic drinks) เครื่องดื่มประเภทนี้จะมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน รวมทั้งขั้นตอนการหมักเพื่อให้เกิดแอลกอฮอล์โดยใช้เวลาในการหมักอย่างน้อย 2-3 เดือน เช่น เบียร์ ไวน์ เป็นต้น และเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ (soft drinks) ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ (Varnam and Sutherland, 1994)

- เครื่องดื่มที่มีคาร์บอเนต (carbonated drinks) เป็นเครื่องดื่มที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงโดยการเจือจางหรือผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันซึ่งนำมาจาก มะนาวผง หรือน้ำมะนาว และประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ โคล่า และส่วนผสมในเครื่องดื่มอื่นๆ เช่น น้ำเชื่อม สารให้ความหวาน สารเพิ่มความเป็นกรด สารสี สเตบิไลเซอร์ เป็นต้น (Varnam and Sutherland, 1994)
- เครื่องดื่มที่ไม่มีคาร์บอเนต (non-carbonated soft drinks) เป็นเครื่องดื่มที่ทำการคั้นสดๆ จากผลไม้หรือผักต่างๆ แล้วนำมาเติมความหวานหลังจากทำการเจือจางและผ่านกระบวนการให้ความร้อนจากนั้นนำไปบรรจุใส่ขวด ส่วนใหญ่เป็นเครื่องดื่มที่นำมาบริโภคทันทีหลังจากการผลิตเสร็จใหม่ๆ เช่น น้ำผลไม้ เป็นต้น (Varnam and Sutherland, 1994)
- เครื่องดื่มผสมชนิดผง (powdered drink mixes) เป็นเครื่องดื่มที่ได้จากผงของส่วนผสมต่างๆ ที่นำมาผสมกัน เช่น น้ำมะนาวผง การบริโภคเครื่องดื่มประเภทนี้จะต้องผสมกับน้ำและคนให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนการบริโภค ซึ่งเครื่องดื่มชนิดนี้จะมีอายุการเก็บรักษาที่นานแต่ต้องเก็บในที่ที่มีสุขลักษณะที่ดีและมีสภาวะที่เหมาะสม ข้อดีของเครื่องดื่มชนิดผง คือ ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวสูง มีน้ำหนักเบา และง่ายต่อการบริโภค เป็นต้น (Varnam and Sutherland, 1994)

2.6.1 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าว

ดวงจงกล (2550) ศึกษาการพัฒนาเครื่องดื่มสุขภาพชนิดผงจากข้าวกล้องหอมมะลิงอกสำหรับผู้สูงอายุ โดยใช้แป้งข้าวหอมมะลิที่เพาะที่ระยะเวลาการงอก 5 วัน และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ด้วยไอน้ำร้อน จากนั้นนำข้าวเปลือกหอมมะลิไปกะเทาะเปลือกเป็นข้าวกล้อง แล้วนำไปหุงสุกอบให้แห้งและบดให้ละเอียดเป็นแป้ง สูตรเครื่องดื่มที่พัฒนาโดยใช้เทคนิคเชิงเส้นตรงนั้นประกอบด้วย แป้งข้าวหอมมะลิงอก น้ำตาลทรายป่น นมผงขาดมันเนย วานิลาผง และอินนูลิน เท่ากับ 20, 20, 44.6, 5.4 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเสริมสารอาหารเพื่อผู้สูงอายุ

ด้วยวิตามินบี 6 วิตามินบี 12 กรดโฟลิก และสารแอลคาร์นิทีน พบว่า คุณค่าทางโภชนาการของเครื่องดื่มต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (35 กรัม) ประกอบด้วยพลังงาน 120 กิโลแคลอรี โปรตีน 5.64 กรัม ใยอาหาร 3.72 กรัม คาร์โบไฮเดรต 24 กรัม ไขมัน 0.18 กรัม วิตามินบี 6 1 มิลลิกรัม วิตามินบี 12 0.82 ไมโครกรัม กรดโฟลิก 59.3 ไมโครกรัม และแคลเซียมเท่ากับ 203 มิลลิกรัม ผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับ 0.280 และมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

ฉัตรแก้ว (2550) ศึกษาการพัฒนาเครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากปลายข้าวกล้องหอมมะลิ และถั่วอะซูกิโดยเตรียมข้าวกล้องหอมมะลิผง โดยย่อยแป้งข้าวกล้องด้วยเอนไซม์อัลฟาอะมัยเลส (BAN 480L) แล้วทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ใช้อุณหภูมิเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ผลการพัฒนาสูตรเครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากปลายข้าวกล้องหอมมะลิโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงร่วมกับการประเมินคุณภาพต่างๆ ได้สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย ธัญญาหารอบกรอบ น้ำตาลทราย ครีมเทียม นมผงขาดมันเนย ถั่วอะซูกิผง ข้าวหอมมะลิผสมอินนูลิน วานิลาผง และซูคราโลสเท่ากับ 23.66, 22.83, 3.94, 25.63, 13.64, 13.64, 6.25, 1.41 และ 0.0062 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นผงละเอียดมีธัญญาหารอบกรอบผสม มีค่าวอเตอร์แอติวิตี้เท่ากับ 0.261 ดัชนีการละลายน้ำเท่ากับ 73.25 เปอร์เซ็นต์ และมีคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ 30 กรัมประกอบด้วยพลังงาน 102 กิโลแคลอรี ไขมัน 0.7 กรัม ไม่มีคอเลสเตอรอล โปรตีน 5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 19 กรัม ใยอาหาร 2.7 กรัม น้ำตาล 5 กรัม วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินอีเท่ากับ 52, 37, 39 และ 36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

รักษ์ (2548) ได้ผลิตเครื่องดื่มจากน้ำนมข้าว โดยน้ำนมข้าวเป็นน้ำจากเมล็ดข้าวเกิดขึ้นในระยะที่ต้นข้าวเริ่มตั้งท้องเป็นระยะ 90 วัน ช่วงนี้ของเมล็ดข้าวยังเป็นน้ำนมเป็นช่วงที่มีสารอาหารสูง เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินอี และแคลเซียม เป็นต้น เมล็ดข้าวมีความชื้นสูง หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวที่อยู่ในระยะน้ำนมแล้วจากนั้นนำมาสู่กระบวนการคัดทำความสะอาดแล้วทำการบดเพื่อสกัดน้ำ ซึ่งลักษณะคล้ายกับการคั้นกะทิระหว่างบดตักน้ำสะอาดใส่ลงไปเล็กน้อยเพื่อช่วยในการบด เมื่อบดเสร็จก็จะได้น้ำนมออกมาแล้วนำไปปรับแต่งรสชาติ

สุพัตรา (2546) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวงอกจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยเตรียมให้เป็นแป้งข้าวงอกดิบจากนั้นนำแป้งดังกล่าวเข้าเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง สูตรที่ได้ในการพัฒนาเครื่องดื่มผงประกอบด้วย แป้งข้าวงอก 33.65 เปอร์เซ็นต์ นมผง 14.42 เปอร์เซ็นต์ ครีมเทียม 9.62 เปอร์เซ็นต์ กัมอะราบิก 9.62 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลปน 28.85 เปอร์เซ็นต์ และผงโกโก้ 3.84 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงที่ได้มีสีน้ำตาลมีค่าสี L* a* b*เท่ากับ 69.18, 6.52 และ 12.11 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับ 0.478 มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 60-80 เมส มีปริมาณโปรตีน ไขมันทั้งหมด ใยอาหารรวม เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 13.44, 4.82, 1.25, 2.06 และ

Prince of Songkla University Pattani Campus

74.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณวิตามินบี 1 และบี 2 เท่ากับ 0.65 และ 0.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

2.6.2 เครื่องดื่มจากข้าวมีสี

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ผลิตจากข้าวมีสี พบว่า ผลิตในรูปของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ (Chang, 2005, Dung *et al*., 2006) และเครื่องดื่มประเภทน้ำนมข้าว ซึ่งเป็นการใช้ข้าวทั้งเมล็ด แต่ยังไม่พบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากน้ำสกัดของข้าวมีสีที่ผลิตในลักษณะของเครื่องดื่มสกัดที่มีลักษณะใส วางจำหน่ายในท้องตลาด และไม่พบรายงานการศึกษาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทยเพื่อเป็นเครื่องดื่มสกัดจากข้าวมีสี จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้นักวิจัยได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าว และเป็นการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพได้

Prince of Songkla University Pattani Campus