

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ภาพที่ 2.1) ได้มาจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากการพัฒนาพันธุ์ข้าวพิเศษ โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและให้ประโยชน์สูงสุดแก่ผู้บริโภคคุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการของข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี โฟเลตสูง มีดัชนีน้ำตาลต่ำ ปานกลาง ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้ นอกจากจะรับประทานเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ทางการแพทย์ยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารโภชนบำบัดอีกด้วย



ภาพที่ 2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ตารางที่ 2.1 สารอาหารสำคัญที่พบในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่

สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่		
สารอาหาร	ปริมาณ	ประโยชน์ต่อร่างกาย
โอเมกา -3	25.51 mg/kg	กรดไขมันจำเป็น มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับและระบบประสาท ลดระดับคอเรสเตอรอล
ธาตุสังกะสี	31.9 mg/kg	ช่วยสังเคราะห์โปรตีน สร้างคอลลาเจน รักษาผิว ป้องกันผมร่วง กระตุ้นรากผม
ธาตุเหล็ก	13-18 mg/kg	สร้างและจ่ายพลังงานในร่างกาย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบินใน เม็ดเลือดแดง และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจน ในร่างกาย และสมอง
วิตามินอี	678 ug/100g	ชะลอความแก่ ผิวพรรณสดใส ลดอัตราเสี่ยงของโรคที่เกี่ยวข้องหลอดเลือด สมองและหัวใจ
วิตามินบี1	0.42 mg/100g	จำเป็นต่อการทำงานของสมอง ระบบประสาท ระบบย่อย ป้องกันโรคเหน็บชา
เบต้า-แคโรทีน (สารตั้งต้นของวิตามินเอ)	63 ug/100g	ชะลอความแก่ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง บำรุงสายตา
ลูทีน	84 ug/100g	ป้องกันจอประสาทตาเสื่อม บำรุงการไหลเวียนของเลือดในเส้นเลือดฝอยที่หล่อเลี้ยงตา
โพลีฟีนอล	113.5 mg./100 g	ทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง
แทนนิน	89.33 mg/100g	แก้ท้องร่วง แก้บิด สมานแผล แผลเปื่อย
แกมมา โอโรซานอล	462 ug/100g	ลดระดับคอเรสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ในหลอดเลือด ทำให้เลือดหมุนเวียนไปเลี้ยงอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายได้อย่างเป็นปกติ ลดอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง สมองเสื่อม
เส้นใยอาหาร (Fiber)	มีอยู่ปริมาณมาก ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่	ช่วยลดระดับไขมันและคอเรสเตอรอล ป้องกันโรคหัวใจ ช่วยควบคุมน้ำหนัก ช่วยระบบขับถ่าย
สารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำ	47.5 mg ascorbic acid equivalent /100g	
สารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำมัน	33.4 mg ascorbic acid equivalent /100g	

ในสารสีม่วงของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารประกอบที่สำคัญ คือ "แอนโทไซยานิน" ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่พบมาก ในองุ่นแดงและพ룬 โดยที่ข้าวหอมมะลิสีนิลก็มีสารนี้อยู่มากด้วยเช่นกัน สารแอนโทไซยานินที่มีในข้าวหอมมะลิสีนิล ช่วยในการลดการหลุดร่วง แดกหักของเส้นผม และช่วยให้เส้นผมดำเงางาม รากผมแข็งแรง และช่วยให้เลือดไหลเวียนดีขึ้น ป้องกันไม่ให้เจ็บป่วยง่าย ช่วยให้ร่างกายแข็งแรง สุขภาพดีและดูอ่อนกว่าวัย จากรายงานการวิจัยของประเทศญี่ปุ่น ในการทดสอบกับสัตว์ทดลอง พบว่า สารแอนโทไซยานินสามารถกระตุ้นการเจริญของเส้นผมได้เร็วขึ้นถึง 2 เท่า แอนโทไซยานินยังช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อช่วยลดการอุดตันของไขมันในเส้นเลือดช่วยป้องกันโรคเบาหวาน เพิ่มประสิทธิภาพการมองเห็น และบำรุงสายตา ป้องกันมะเร็งทรวงอก มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งเม็ดเลือดขาว

นอกจากนี้ยังพบสารอาหารที่มีประโยชน์จำนวนมากที่มีของสีของเมล็ดข้าว ดังนั้น การบริโภคข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นทางเลือกที่ดีเยี่ยมสำหรับการมีสุขภาพที่ดี สารอาหารที่มีในเมล็ดข้าวนี้มีส่วนช่วยในการป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ และมะเร็งกระเพาะอาหาร ป้องกันการดูดซึมไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

2. ข้าวอินทรีย์

2.1 ความหมายของข้าวอินทรีย์

ข้าวอินทรีย์ (Organic Rice) เป็นข้าวที่ได้จากการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเป็นวิธีการผลิตที่หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีหรือสารสังเคราะห์ต่างๆ เป็นต้นว่า ปุ๋ยเคมี สารควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุมและกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดโรค แมลงและศัตรูข้าวในทุกขั้นตอนการผลิตและในระหว่างการเก็บรักษาผลผลิต หากมีความจำเป็นแนะนำให้ใช้วัสดุจากธรรมชาติ และสารสกัดจากพืชที่ไม่มีพิษต่อคนหรือไม่มีสารพิษตกค้างปนเปื้อนในผลผลิต ในดินและในน้ำในขณะเดียวกันก็เป็นการรักษาสภาพแวดล้อม ทำให้ได้ผลิตผลข้าวที่มีคุณภาพดี ปลอดภัยจากอันตรายของผลตกค้าง ส่งผลให้ผู้บริโภคมีสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจและเชื่อถือในระบบการผลิตและผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องผ่านการตรวจสอบและรับรองจากหน่วยตรวจสอบที่ได้มาตรฐาน

2.2 หลักการผลิตข้าวอินทรีย์

การผลิตข้าวอินทรีย์ เป็นระบบการผลิตข้าวที่ไม่ใช้สารเคมีทางการเกษตรทุกชนิด เป็นต้นว่า ปุ๋ยเคมี สารควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุมและกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดโรค แมลง

และศัตรูข้าว ตลอดจนสารเคมีที่ใช้รมเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวในโรงเก็บ การผลิตข้าวอินทรีย์ นอกจากจะทำให้ได้ผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพสูงและปลอดภัยจากสารพิษแล้ว ยังเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและเป็นการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืนอีกด้วย

การผลิตข้าวอินทรีย์เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่เน้นเรื่องของธรรมชาติเป็นสำคัญ ได้แก่ การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติ การรักษาสมดุลธรรมชาติและ การใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ เพื่อการผลิตอย่างยั่งยืน เช่น ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการปลูกพืชหมุนเวียน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในไร่นาหรือจากแหล่งอื่น ควบคุมโรค แมลงและศัตรูข้าวโดยวิธีผสมผสานที่ไม่ใช้สารเคมี การเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมมีความต้านทานโดยธรรมชาติ รักษาสมดุลของศัตรูธรรมชาติ การจัดการพืช ดิน และน้ำ ให้ถูกต้องเหมาะสมกับความต้องการของต้นข้าว เพื่อให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดี มีความสมบูรณ์แข็งแรงตามธรรมชาติ การจัดการสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการระบาดของโรค แมลงและศัตรูข้าว เป็นต้น การปฏิบัติเช่นนี้ก็สามารถทำให้ต้นข้าวที่ปลูกให้ผลผลิตสูงในระดับที่น่าพอใจ การผลิตข้าวอินทรีย์ มีขั้นตอนการปฏิบัติเช่นเดียวกับการผลิตข้าวโดยทั่วไป จะแตกต่างกันที่ต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในทุกขั้นตอนการผลิต

3. ปลายข้าว (Rice broken)

ปลายข้าว คือ ข้าวส่วนที่เป็นเมล็ดแตกหักในระหว่างการสีข้าว โดยเฉพาะในช่วงการขัดสีเอารำข้าว ประกอบด้วยเศษข้าวส่วนปลายที่หักและจมูกข้าวบางส่วน ปลายข้าวทั่วไปมีโปรตีนประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ มีไขมันและเยื่อใยต่ำ ปลายข้าวมี 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่หรือที่เรียกกันว่าข้าวท่อน ปลายข้าวขนาดเล็กมักมีส่วนของจมูกข้าวซึ่งเป็นต้นอ่อนที่มีโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุมากกว่าส่วนอื่นของเมล็ดจึงนิยมนำมาเลี้ยงสัตว์และทำใจัก

4. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

4.1 อนุมูลอิสระ

เป็นสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ในวงนอกของอะตอมหรือโมเลกุล มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา โดยรับอิเล็กตรอนจากสารอื่นๆ ใกล้เคียงมีผลให้ตัวมันเองเสถียรมากขึ้นในขณะเดียวกันก็

ชักนำให้สารที่ให้อิเล็กตรอนไปนั้นมีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่จนอาจการกลายเป็นสารที่มีความรุนแรง ซึ่งถ้าเกิดขึ้นในระบบสิ่งมีชีวิต อาจทำอันตรายส่วนสำคัญต่อเซลล์รอบๆ บริเวณนั้น ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต หรือ ดีเอ็นเอ (DNA) ทำให้สารชีวโมเลกุลเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเสียหายที่การทำงาน

อนุมูลอิสระเกิดขึ้นในร่างกายจากการขนส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการเผาผลาญอาหารให้เกิดเป็นพลังงาน โดยให้ออกซิเจนในไมโทคอนเดรียอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกจับ โดยออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลของออกซิเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เรียกว่า Reactive oxygen species (ROS) ตัวอย่าง เช่น ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ซุปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide) และเพอร์ออกไซด์ (Peroxide) อนุมูลอิสระชนิดอื่นที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น Reactive nitrogen species (RNS) เช่น ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide) และเมทิล (Methyl) นอกจากการเผาผลาญอาหารที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระแล้ว แหล่งอื่นในร่างกายที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปฏิกิริยาทางเอนไซม์ เช่น แชนทีนออกซิเดส (Xanthine oxidase) พรอสตาแกลนดิน ซินเทส (Prostaglandin synthase) ลิพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) แอลดีไฮด์ออกซิเดส (Aldehyde oxidase) ปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชันของไขมัน (Lipid peroxidation) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัว สภาวะทางอารมณ์ เช่น ความเครียด และพยาธิสภาพของร่างกาย เช่น การมีไข้ การติดเชื้อ เป็นต้น แหล่งอนุมูลอิสระจากภายนอกในร่างกาย ได้แก่ รังสี ไอโซทอแกน บัณฑิต ตัวทำลายอินทรีย์ และมลภาวะต่างๆ (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552)

4.2 กลไกการเกิดออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันจัดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งมีกลไกการเกิดปฏิกิริยา 3 ระยะ คือ ระยะแรก เรียกว่าระยะเหนี่ยวนำ (Initiation) เป็นระยะที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ระยะที่สอง เรียกว่า ระยะเพิ่มจำนวน (Propagation) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลตัวอื่น และระยะสุดท้าย เรียกว่า ระยะสิ้นสุด (Termination) เป็นระยะที่มีการรวมกันของอนุมูลอิสระ 2 อนุมูลที่มีความเสถียร

4.2.1 ระยะเหนี่ยวนำ (Initiation)

ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ มักเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) แสง (Photolysis) รังสี (Radiolysis) หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) รวมถึงโมเลกุลที่มีความไวสูงในการทำปฏิกิริยา เช่น ไนตริกออกไซด์ ($\cdot\text{NO}$) และ Singlet oxygen ($^1\text{O}_2$) ซึ่งเป็นออกซิเจนในสถานะที่ถูกกระตุ้น สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น

พันธะ O-O ในโมเลกุลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นพันธะที่ไม่แข็งแรง จึงถูกสลายได้ง่ายทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ โดยในปฏิกิริยาที่มีโลหะไอออน เช่น เหล็ก และทองแดง จะช่วยในการเร่งสลายโมเลกุลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น

4.2.2 ระยะเพิ่มจำนวน

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในระยะเหนี่ยวนำจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปนี้โดยเกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ทาง คือ โดยดึงเอาอะตอมไฮโดรเจนออกจากโมเลกุลข้างเคียง หรือโดยการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจนที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่

4.2.3 ระยะสิ้นสุด (Termination)

เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น 2 อนุมูลมารวมกัน ได้เป็นสารที่มีความเสถียร จึงเป็นการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ (ซัยร์ตัน ฟิงเพียร์, 2552)

4.3 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารที่มีปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระต่างๆ ได้ สารเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับ (Scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ หรือเข้าจับ (Chelate) กับเหล็ก หรือป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระเป็นต้น มีการแบ่งกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระไว้ 5 กลุ่ม ดังนี้

4.3.1 สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ (Primary antioxidants)

เป็นสารที่หยุดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระโดยการให้อนุมูลไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่ อนุมูลอิสระโดยตรงเป็นผลให้อนุมูลนั้นกลายเป็นสารที่มีความเสถียรภาพมากขึ้น สารที่สมบัติดังกล่าว เช่น สารประกอบฟีนอลิก หรือสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxyl toluin, BHT) บิวทิลไฮดรอกซีอะนิโซล (Butylated hydroxyl anisole, BHA) และเทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรควิโนน (Tertiary butyl hydroquinone, TBHQ) เป็นต้น

4.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ (Secondary antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระประเภทนี้ไม่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอนุมูลอิสระ แต่จะทำหน้าที่สลายไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของไขมัน ให้เกิดเป็นสารที่มีความเสถียร เช่น กรดไทโอโพรพิก (Thiopropionic acid)

4.3.3 สารที่ทำหน้าที่ดักจับออกซิเจน(Oxygen scavengers)

เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน แล้วกำจัดออกไปจากระบบได้ซึ่งสารจับออกซิเจนจะช่วยเสริมฤทธิ์ หรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) กรดอีริทโรบิก (Erythrobic acid) แอสคอร์บิลปาล์มิเตต (Ascorbyl palmitate) เป็นต้น

4.3.4 เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Enzymatic antioxidants)

เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจน เช่น กลูโคสออกซิเดส (Glucose oxidase) หรือกำจัดสารที่เกิดออกซิเดชันได้ เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ ดิสมูเทส (Superoxide dismutase)

4.3.5 สารที่ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระ (Chelating agents)

เป็นสารที่ทำหน้าที่จับอนุมูลโลหะ ซึ่งอนุมูลโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารที่ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระนี้จะเป็นตัวส่งเสริมการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ ซึ่งสารเหล่านี้อาจมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเล็กน้อยหรือไม่มีเลย เช่น กรดซิตริก (Citric acid) กรดอะมิโน (Amino acid) ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) ได้แก่ เซฟาลิน (Cephalin)

4.4 กลไกการทำหน้าที่ของสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระมีกลไกการทำงานแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

4.4.1 การดักจับอนุมูลอิสระ (Radical scavenging)

สารต้านอนุมูลอิสระ (AH) เหล่านี้สามารถชะลอหรือยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระยะเพิ่มจำนวน โดยการให้อนุมูลไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ

4.4.2 การสลายเพอร์ออกไซด์ (Peroxide decomposing)

สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด หรือกรดไทโอโพรฟิโอนิก สามารถทำหน้าที่สลายเพอร์ออกไซด์ของไขมันให้เกิดเป็นสารที่มีความเสถียร เช่น แอลกอฮอล์ คีโตน หรือ แอลดีไฮด์

4.4.3 การยับยั้งการทำงานของ Singlet oxygen (Singlet oxygen quenching)

โดยปกติออกซิเจนที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) จะอยู่ในรูปของ Triplet oxygen ($^3\text{O}_2$) จะไม่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับกรดไขมัน แต่เมื่อ Triplet oxygen ได้รับพลังงานกระตุ้นจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Singlet oxygen ($^1\text{O}_2$) ซึ่งจะไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน ซึ่งสารที่มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของ Singlet oxygen นั้นอาจไปยับยั้งสารที่จะไปกระตุ้นการเกิด Singlet oxygen หรืออาจเข้าไปจับกับ Singlet oxygen โดยไม่ทำปฏิกิริยาเคมี หรืออาจทำปฏิกิริยา

เคมี Singlet oxygen สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids, Car) สามารถยับยั้งการทำงานของ Singlet oxygen โดยการเปลี่ยน Singlet oxygen ให้อยู่ในรูป Triplet oxygen และปล่อยพลังงานในรูปที่ได้ออกไปในรูปความร้อน

4.4.4 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Enzyme inhibiting)

สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแกลเลต (Gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลิพอกซีจีเนสได้โดยการเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ จึงส่งผลการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว

4.4.5 การดักจับออกซิเจน (Oxygen scavenging)

กรดแอสคอร์บิกมีสมบัติในการจับกับออกซิเจนสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับซูเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) อนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลเพอร์รอกซิล และ Singlet oxygen กรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซิง (Reducing agent) ซึ่งจะถ่ายไฮโดรเจนอะตอม (H) ให้กับออกซิเจน จึงทำให้ออกซิเจนไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกยังทำหน้าที่เป็นตัวเสริมฤทธิ์ (Synergist) ให้กับโทโคเฟอรอล (Tocopherols) โดยจะช่วยให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลแอลฟาโทโคเฟอรอล เพอร์รอกซิล (α -Tocopherol peroxy) เปลี่ยนรูปกลับไปเป็นแอลฟา-โทโคเฟอรอล (α -Tocopherol) ซึ่งมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้อีกครั้ง

4.5 แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants)

4.5.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthesis antioxidants)

เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่สังเคราะห์ขึ้น โดยในโครงสร้างจะมีการเติมหมู่แอลคิลเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการละลายในไขมันนำไปใช้เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันสารสังเคราะห์เหล่านี้ เช่น บีเอชเอ บีเอชที ทีบีเอชคิว และโพรพิลแกลเลต (Propyl gallate, PG) โดยมีการกำหนดให้บีเอชเอ บีเอชที ทีบีเอชคิวได้ในปริมาณไม่เกิน ร้อยละ 0.02

4.5.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Naturel antioxidants)

เป็นสารที่พบได้ในธรรมชาติไม่ว่าจะมาจากพืช จุลินทรีย์ หรือเนื้อเยื่อของสัตว์ มีการแบ่งกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของเอนไซม์ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมูเทส กลูตาไทโอนเพอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase) และคะตะเลส (Catalase) กลุ่มสารโมเลกุลใหญ่ เช่น อัลบูมิน(Albumin) เซรูโลพลาสมิน (Ceruloplasmin) เฟอร์ริติน(Ferritin) กลุ่มสาร

โมเลกุลเล็ก เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคเฟอรอล แคโรทีนอยด์ และโพลีฟีนอล (Polyphenol) กลุ่มของฮอร์โมนบางชนิด เช่น เอสโตรเจน (Estrogen) แองจิโอเทนซิน (Angiotensin) และ เมลาโทนิน (Melatonin) เป็นต้น

4.6 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) เป็นสารกลุ่มเมตาบอไลต์ทุติยภูมิ (Secondary metabolite) ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตการขยายพันธุ์พืช และการป้องกันจากเชื้อก่อโรค นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ให้สีหรือกลิ่นรสในผักและผลไม้ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกนั้นมีอยู่ในอาหารและเครื่องดื่มที่ได้มาจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญชาติต่าง ๆ น้ำผลไม้ ไวน์ ชา และกาแฟ เป็นต้น แต่พบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป

สารประกอบฟีนอลิกมีลักษณะโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ หรือมากกว่า พบได้ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น แทนนิน (Tannins)

4.6.1 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก ทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยการให้ออกซิเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ

เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้ไฮดรอกซิลอะตอม แก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีความเสถียร เนื่องจากเกิดการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอนใน วงแหวนเบนซีน และทำให้ไม่มีตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการเข้าจับของโมเลกุลออกซิเจน นอกจากนี้ อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย

4.6.2 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอลิก ดังนี้

4.6.2.1 ค่าพีเอช เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล ในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช จะมีผลให้หมู่ไฮดรอกซิลเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเช่นกัน

4.6.2.2 อุณหภูมิ มีผลต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิก อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกโมเลกุลเล็กๆ กระจายกลายเป็นไอได้ นอกจากนี้ อุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเช่นกัน

4.6.2.3 การเกิดออกซิเดชัน สารประกอบฟีนอลิกสามารถถูกออกซิไดส์ได้ โดยอาจเกิดจากออกซิเจน หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมัน โดยเฉพาะไฮโดรเปอร์ออกไซด์

4.6.2.4 การรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ หรืออัลคาลอยด์ และปฏิกิริยาอาจจะเป็นแบบสามารถผันกลับได้หรือไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจนไอออนโลหะ เอนไซม์ และกรด เป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในสภาวะสมดุลรวมกัน และตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนต์รวมกันเป็นสารใหม่ ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ หากปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลิกสูญเสียสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้

4.7 วิธีการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจุบันได้มีผู้คิดค้นและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระไว้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีการมีหลักการแตกต่างกันออกไป เช่น การวัดความสามารถในการดักจับอนุมูลเปอร์ออกซิล ได้แก่ ORAC และ TRAP การวัดความสามารถในการรีดิวซ์โลหะ ได้แก่ FRAP การวัดความสามารถในการจับอนุมูลอินทรีย์ ได้แก่ ABTS และ DPPH การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่ TBARS เป็นต้น (Pérez-Jiménez & Saura-Calixto, 2006) โดยการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ ได้แก่ DPPH, ABTS และ FRAP ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวใช้หลักการของการให้อิเล็กตรอนหรืออะตอมของไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ สามารถใช้ในการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากพืชสมุนไพร รวมถึงกลุ่มของผัก ผลไม้ได้ และค่าที่จากการวิเคราะห์ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันสูง เนื่องจากมีหลักการที่ใช้วิเคราะห์อยู่บนพื้นฐานเดียวกันดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น (Stratil *et al.*, 2006)

4.7.1 กิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH• (DPPH radical scavenging activity)

เป็นวิธีการวัดความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระ DPPH• ของสารที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระ DPPH• เปลี่ยนแปลงเป็นอนุมูลที่มีความเสถียร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตรจึงลดลง (Pérez-Jiménez & Saura-Calixto, 2006) โดยในการ

เกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระ DPPH• กับสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ไม่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้น จึงรายงานค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้ในรูป EC₅₀ ซึ่งหมายถึงปริมาณของสารตัวอย่างต่อ 1 มิลลิลิตร (ของสารละลาย DPPH และสารละลายตัวอย่าง) ที่ไปลดความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ DPPH• ลง ร้อยละ 50 จากความเข้มข้นของสารละลาย DPPH• เริ่มต้น ซึ่งค่า EC₅₀ ที่วัดได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ DPPH• ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากขิงโดยวัดค่า DPPH radical scavenging activity แล้วรายงานค่าได้ในรูป EC₅₀ โดยใช้ บีเอชบี เป็นมาตรฐานในการควบคุมผลเชิงบวก (Positive standard)

4.7.2 กิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} (ABTS radical scavenging activity)

เป็นการศึกษาสมบัติการรีดิวซ์อนุมูล ABTS^{•+} โดยอนุมูลดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ABTS กับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate) วิธีนี้เป็นการวัดการลดลงของสีที่เกิดจากอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} ในระบบที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระ ABTS^{•+} จะถูกรีดิวซ์ และเปลี่ยนแปลงอนุมูล ABTS^{•+} ที่มีความเสถียร ทำให้ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ลดลง คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร กับความเข้มข้นของสารมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox standard) รายงานค่าที่ได้ในรูป สมมูลย์ของโทรลอกซ์ ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากขิงโดยวัดค่า ABTS radical scavenging activity แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ รายงานค่าในรูป สมมูลย์ของโทรลอกซ์/น้ำหนักของตัวอย่าง

4.7.3 ความสามารถในการให้อิเล็กตรอน (Ferric reducing antioxidant power, FRAP)

เป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยไม่มีการสร้างอนุมูลอิสระที่เป็นสารอินทรีย์ขึ้นในระบบ แต่จะวัดความสามารถในการรีดิวซ์โลหะ โดยในระบบที่มีพีเอชต่ำ (pH~3.6) สารประกอบเชิงซ้อนของ Fe²⁺-TPTZ จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ไปอยู่ในรูปเฟอร์รัสไอออน (Fe²⁺) ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 593 นาโนเมตรเพิ่มขึ้น เดิมการคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร กับปริมาณของเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate; FeSO₄) รายงานค่าที่ได้ในรูป สมมูลย์ของเฟอร์รัสไอออน ต่อมาจึงได้มีการประยุกต์ใช้โทรลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ ซึ่งความเข้มข้นของโทรลอกซ์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับ

ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ และค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่า 2 เท่า เมื่อเทียบกับเฟอร์รัสซัลเฟต นอกจากนี้ ไทโรรลอกซ์ยังทำปฏิกิริยารวดเร็วในระบบ และใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที ก็จะถึงจุดยุติ

5. แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ โดยสีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ C6-C3-C6 ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation ที่มีด้วยกันหลายชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบบ่อย ได้แก่ pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin ในสารละลายตัวกลางแอนโทไซยานินจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) คือ ให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลางและไม่มีสีที่ pH สูง โดยปัจจัยที่มีผลต่อสีและความเสถียรของ แอนโทไซยานินคือปัจจัยทางเคมีและฟิสิกส์ เช่น โครงสร้าง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง กรดแอสคอร์บิก น้ำตาล และปัจจัยอื่นๆ แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งทางเภสัชวิทยาและชีววิทยา เช่น เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถลดอาการอักเสบ (anti-inflammatory) ช่วยปกป้องหลอดเลือด ลดคลอเลสเตอรอลในเลือดลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและต้านไวรัส แต่คุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโทไซยานิน คือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอีถึง 2 เท่า ปริมาณของแอนโทไซยานินที่มนุษย์สามารถบริโภคได้เฉลี่ยสูงสุด คือ 200 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งพบว่าผู้ที่นิยมดื่มไวน์แดงมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเกี่ยวกับหัวใจลดลง ไวน์แดงจึงได้ชื่อว่าอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติมากที่สุดชนิดหนึ่ง เนื่องจากในไวน์แดงมี superoxide radical scavenging ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL (low density lipoprotein) การวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของแอนโทไซยานินเป็นการศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ของแอนโทไซยานินในพืช เพื่อที่จะนำแอนโทไซยานินไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยแอนโทไซยานินสามารถสกัดจากพืชได้ถึง 539 โครงสร้าง โดยการใช้การสกัด การทำให้บริสุทธิ์และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีวิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้ คือ การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin-layer chromatography ; TLC) และ High performance liquid chromatography (HPLC)

แอนโทไซยานิน (anthocyanins) มีชื่อย่อมาจากรากศัพท์เดิมของกรีกคือ anthos แปลว่า ดอกไม้ และ Kyanos แปลว่า สีน้ำเงิน แอนโทไซยานินจึงหมายถึง ดอกไม้สีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water-soluble pigments) จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง โดยมีสีน้ำเงินเข้มในสภาวะที่เป็นด่าง (pH มากกว่า 7) มีสีม่วงเมื่อเป็นกลาง (pH7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้มในสภาวะที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 7) สามารถพบแอนโทไซยานินได้ทั่วไปในแควิวอลและเซลล์เนื้อเยื่อชั้นนอกของดอก ผล และใบของพืชดอก (angiosperms) ยกเว้นในพืชพวกตะบองเพชร ผักกาดหัว ผักโขมและพืชพวกสาหร่าย บางครั้งปรากฏในส่วนเนื้อเยื่อพืช (plant tissue) ได้แก่ รากหัวใต้ดินของพืช (tuber) ลำต้น หน่ออ่อน (bulbil) และพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperms) ต่างๆเช่น เฟิร์นและไบโอฟิต (bryophytes) นอกจากแอนโทไซยานินจะทำให้ดอกไม้มีสีสันสวยงามแล้วยังช่วยป้องกันพืชไม่ให้ได้รับอันตรายจากสิ่งแวดล้อมและแมลงต่างๆ แอนโทไซยานินจากธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้หลายชนิดแต่ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) จึงมีแนวโน้มนำมาประยุกต์ใช้ในด้านสุขภาพและความงามโดยช่วยลดการเกิดริ้วรอยของผิวจากรังสียูวีและมลภาวะ อีกทั้งช่วยป้องกันเซลล์เส้นผมไม่ให้อ่อนแอ

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสีและความเสถียรของแอนโทไซยานิน

การศึกษาค้นคว้าปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน พบว่า ปัจจัยทางเคมีและฟิสิกส์ ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของแอนโทไซยานิน มีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานินมากที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โลหะ น้ำตาล และออกซิเจน รวมทั้งความเข้มข้น โครงสร้างเคมีและองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1.1 โครงสร้าง (Structure) ความเสถียรและสีของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับธรรมชาติและจำนวนของน้ำตาลที่ใกล้กับ flavylium และจำนวนของกรดที่เชื่อมต่อกับ Glycosylic moiety รวมทั้งเกี่ยวข้องกับจำนวนและตำแหน่งในการแทนที่ flavylium ion ไฮดรอกซิล และเมทอกซิล ตัวอย่างเช่น 3-deoxy anthocyanin ที่มีสีแดงและเสถียรต่ำกว่ามาก นอกจากนี้ยังพบว่าแอนโทไซยานินที่ประกอบด้วย aromatic acyl groups มีความเสถียรมากกว่า unacylated pigments อาจเนื่องมาจากความเร็วในการเปลี่ยนสีจากการไฮเดรชัน (hydration) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในแอนโทไซยานินนิวเคลียส (anthocyanin nucleus)

การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซี (OH group) ในวงแหวนของแอนโทไซยานินนำไปสู่การดูดซับแสงสูงสุด ทำให้ความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนสีจากสีส้มไปเป็นสีน้ำเงิน-แดง แต่การแทนที่ด้วยหมู่เมทอกซี (OCH₃group) จะให้ผลตรงข้ามกัน หมู่ไฮดรอกซีที่ C-3 จัดว่ามีความสำคัญเนื่องจากเป็นจุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีส้มและสีแดง

5.1.2 อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง (Temperature and pH) การย่อยสลายทางความร้อน (thermaldegradation) มีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ความเสถียรของแอนโทไซยานินและรงควัตถุต่าง ๆ ในอาหารจะลดลง ตัวอย่างเช่น cyanidin 3-glucoside และ cyaniding 3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดอ่อน (pH 1-4) ทั้งสถานะที่มีและไม่มีออกซิเจนหรือความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานินที่สกัดจากเปลือกดอกทานตะวัน (sunflower hulls) จากการสกัดด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ที่อุณหภูมิ 65-95 องศาเซลเซียส และที่ pH 1-5 พบว่า การสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลายที่ได้จากสารสกัด

สีและความเสถียรของแอนโทไซยานินที่สกัดจากมะเขือเทศม่วงและแดงสด พบว่า pH และอุณหภูมิมีผลต่อความเสถียร น้อยกว่าความเข้มข้นของแครอทสีม่วงและองุ่น เยื่อราสเบอร์รี่ (raspberry pulp) จากธรรมชาติและผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ จะไม่ไวต่อการเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานินระหว่างกระบวนการผลิตและบรรจุกระป๋อง แต่สีจะจางไปภายหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 50 วัน ทั้งนี้อุณหภูมียังมีผลต่อการเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานิน เนื่องจากสัดส่วนของ cyaniding และ pelargonidin 3-glycoside ในน้ำผลไม้ราสเบอร์รี่แดงเข้มข้นและภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน พบว่า แอนโทไซยานินมีการเปลี่ยนสีอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

5.1.3 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acids) มีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานินเกิดจากการควบแน่น (condensation) ของกรดแอสคอร์บิกที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของแอนโทไซยานิน กรดแอสคอร์บิกมีความสามารถในการป้องกันแอนโทไซยานิน เนื่องจากสามารถลดการเกิด o-quinone formed ก่อนกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid degradation) มีผลทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (anthocyanin degradation) เพิ่มขึ้น กรดแอสคอร์บิกเป็นนิวคลีโอไฟล์ (nucleophiles) ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยจะเข้าทำลายที่ส่วนของประจุของโมเลกุลของแอนโทไซยานิน นอกจากนี้ยังมีกลไกของกรดแอสคอร์บิกที่มีผลต่อความเสถียรของ

แอนโทไซยานิน คือ กรดแอสคอร์บิกเป็นสาเหตุทำให้เกิด oxidative cleavage ที่ pyrilium ring จากการกระทำของอนุมูลอิสระกรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็น molecular oxygen activator ในการสร้างอนุมูลอิสระออกมาทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแอนโทไซยานินการเติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 330 มิลลิกรัมต่อลิตรในสารละลายที่มี malvidin 3- glucoside, malvidin 3,5-diglucoside และ flavylum salt จะเกิดการแทนที่ที่ต่างกันในคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 4 (pH 2) โดยโครงสร้างของ anthocyanin flavylum salt มีบทบาทสำคัญต่อความเสถียรของ anthocyanin ซึ่ง diglucoside จะทำให้สีของ anthocyanin จางลงช้ากว่า monoglucoside ทั้งนี้ชนิดของ flavylum cation ไม่มีผลต่ออัตราการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก (rate of ascorbic acid degradation) อย่างมีนัยสำคัญ

อะเซโรลา (acerola) เป็นแหล่งธรรมชาติของกรดแอสคอร์บิกที่ดีที่สุด การศึกษาส่วนประกอบของอะเซโรลาที่มีต่อความเสถียรของแอนโทไซยานินเปรียบเทียบกับอาไซอิ ที่ไม่พบกรดแอสคอร์บิกเป็นส่วนประกอบ พบว่า ความเสถียรของอะเซโรลาเกิดจากความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในผลไม้แต่การเติมกรดแอสคอร์บิกลงในสารละลายอาไซอิเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกเท่ากับอะเซโรลานั้นจะทำให้ความเสถียรของอาไซอิลดลงอย่างเห็นได้ชัดและระหว่างการเก็บรักษาน้ำผลไม้ พบว่า ไม่มีการตกค้างของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic retention) และปริมาณการสูญเสียของแอนโทไซยานินในน้ำผลไม้เลย แต่อัตราการสูญเสียของแอนโทไซยานินในน้ำผลไม้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของแอนโทไซยานิน โดยกรดแอสคอร์บิกจะสลายตัวร้อยละ 100 (ภายใน 9 วัน) เมื่อไม่มีแอนโทไซยานิน ขณะที่เมื่อมี malvidin 3-glucoside และ malvidin 3,5-diglucoside จะทำให้กรดแอสคอร์บิกสลายตัวร้อยละ 15 และ 23 (ภายใน 9 วัน) ตามลำดับ

5.1.4 น้ำตาล (Sugars) การเติมน้ำตาลมีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างความเข้มข้นของแอนโทไซยานินและชนิดของน้ำตาล โดย reducing และ non-reducing sugar มีผลในการทำลายความเสถียรของแอนโทไซยานินในแบล็ค เคอเรนธ์ (black currant) ความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานิน (anthocyanin thermostability) จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของซูโครส (concentration of sucrose) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็น 20 ขณะที่ความเข้มข้นที่ร้อยละ 40 จะมีผลดีต่อความเสถียรของรงควัตถุ ตรงข้ามกับความเสถียรทางความร้อนของรงควัตถุ (thermostability of pigments) จะลดลงแบบเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของฟรุกโตส (concentration of fructose) เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการเกิดฟูรอลดีไฮด์ (furaldehyde formation)

5.1.5 ปัจจัยอื่น แอนโทไซยานินจะมีสีจางลงที่ pH 3 โดยการเติมโซเดียมซัลไฟต์ที่ C-2 หรือ C-4 ในส่วนกำเนดสี (chromophore) ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วที่สภาวะความเป็นกรด (acidification) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ EDTA และส่วนผสมระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์และ EDTA มีผลต่อการสูญเสียแอนโทไซยานินในน้ำผลไม้สตรอเบอร์รี่น้อยมากเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 10 สัปดาห์ ในทางกลับกัน การเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินและทำให้สารประกอบพอลิเมอร์ลดลงการทดลองกับสตรอเบอร์รี่และราสเบอร์รี่ โดยใช้ความดันอุทกสถิต (hydrostatic pressure) สูงจาก 200-800 เมกะปาสคาล (mPa) ที่อุณหภูมิ 18 และ 21 องศาเซลเซียสและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4,20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่า ความเสถียรของราสเบอร์รี่มีค่ามากที่สุดที่ความดันอุทกสถิต 200 mPa (4องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ 800 mPa (4 องศาเซลเซียส)

5.2. คุณสมบัติของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นสารให้สีธรรมชาติในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกอะฟลาโวนอยด์ที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้มีความแตกต่างกันทั้งทางเภสัชวิทยาและชีววิทยา เช่น เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถลดอาการอักเสบ (anti-inflammatory) โดยเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) และกระดูกอ่อน (cartilage) จึงลดการทำลายจากอนุมูลอิสระอันตรายที่สำคัญ ได้แก่ DPPH • , O₂⁻ , OH • , O₂ และ H₂O₂ (Changlian, P., et al., 2006) นอกจากนี้ยังช่วยปกป้องหลอดเลือด (Vasoprotective) โดยการขยายหลอดเลือดและกระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ลดคอเลสเตอรอลในเลือดโดยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (lipid peroxidation) ลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งและต้านไวรัส ช่วยกระตุ้นให้เส้นผมดำ ชะลอผมหงอก ช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่งและมีฤทธิ์ต้านรังสียูวี แต่คุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโทไซยานินคือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant effectiveness) โดยแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซี และอีถึง 2 เท่า ความสนใจเกี่ยวกับแอนโทไซยานินจึงเน้นไปยังการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่มีอยู่ในบลูเบอร์รี่ (blueberries) เชอร์รี่ (cherries) ราสเบอร์รี่ (raspberries) ลูกเกด (black currants) องุ่นม่วง (purple grape) และไวน์แดง (red wine)

ปริมาณของแอนโทไซยานินที่มนุษย์สามารถบริโภคได้เฉลี่ยสูงสุด คือ 200 มิลลิกรัมต่อวันโดยชาวอเมริกันส่วนใหญ่นิยมบริโภคแอนโทไซยานิน 180-215 มิลลิกรัมต่อวัน ในไวน์แดง พบว่า มีปริมาณของแอนโทไซยานินมากกว่าไวน์ขาวและน้ำองุ่น ไวน์แดงจึงได้ชื่อว่าอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติมากที่สุดชนิดหนึ่ง อาจเป็นเพราะว่าในไวน์แดงมี superoxide radical scavenging และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL (low density lipoprotein)

แอนโทไซยานิน ยังมีบทบาทดึงดูดแมลงและนกให้ช่วยผสมเกสร (pollination) และช่วยในการกระจายเมล็ดพันธุ์ออกไป (seed dispersal) รวมทั้งมีบทบาทยับยั้งการทำลายของแมลงต่าง ๆ เมื่อแอนโทไซยานินอยู่ที่ส่วนบนของผิวหน้าใบหรือในส่วนของ epidermal cell จะมีบทบาทเกี่ยวกับการอยู่รอดทางกายภาพ (physiological survival) ของพืช

5.3 ประโยชน์ของแอนโทไซยานิน

1. ใช้เป็นสีย้อมอาหาร (food dye) เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์สีผสมอาหารแอนโทไซยานินสามารถอยู่ในรูปแบบผงและของเหลว จึงสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการของอาหาร และผสมกับส่วนของไข่ขาวเพื่อใช้เป็นสารช่วยให้ความคงตัว (stabilizer) แทนการใช้แป้ง รวมทั้งเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ต่ำ แต่ทั้งนี้สีผสมอาหารแอนโทไซยานินไม่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำมะนาว และครีมเปรี้ยว

2. ใช้เป็นส่วนผสมในแชมพู ซึ่งสารแอนโทไซยานิน จะช่วยกระตุ้นให้เซลล์รากผม (keratinocytes) สร้างผมได้มากขึ้นถึง 3 เท่า รวมทั้งเป็นส่วนผสมในครีมนวดผม

3. ใช้เป็นส่วนผสมในสารกันแดด (sunscreen) ช่วยให้ผิวหนังอุ่นกว่าวัย ชะลอความเสื่อมสภาพของผิวหนัง เนื่องจากสารแอนโทไซยานินช่วยยับยั้งความเสียหายของผิวหนังจากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ที่เกิดจากแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เมื่อใช้ร่วมกับวิตามินอีจะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ทำสบู่ได้ด้วย

4. ช่วยในการผสมเกสร โดยแมลงจะชอบสีส้มของดอกไม้ต่างกัน เช่น ผึ้งชอบดอกสีน้ำเงินหรือเหลืองและมีลายเส้นของดอกไม้ที่โดดเด่น ผีเสื้อชอบดอกสีแดง ชมพู นกชอบดอกสีแดง ส้ม ดั้วและค้างคาวชอบดอกสีไม่สดใสและไม่ฉูดฉาด

5. ช่วยดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความยาวคลื่นสั้น จึงมีพลังงานสูงและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยไปขัดขวางการจำลองแบบของดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งเป็นสารพันธุกรรม มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีนและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้

6. ช่วยดูดซับอนุมูลอิสระ โดยทำหน้าที่เป็นตัวต้านอนุมูลอิสระในกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) เช่น ในการสังเคราะห์แสงจะมีการสร้างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ขึ้น แอนโทไซยานินจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารนี้ ทำให้พิษของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หมดไป ในแง่ของโภชนาการแอนโทไซยานินช่วยลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจจุดตันโดยยับยั้งการรวมตัวของออกซิเจนกับคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDL-cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันที่ไม่พึงประสงค์ ในขณะที่เดียวกันจะเพิ่มปริมาณของคอเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นสูง (HDL-cholesterol) ที่เป็นไขมันดี ดังนั้น การดื่มน้ำองุ่นแดง วันละ 2-3 แก้วจะช่วยลดอัตราเสี่ยงการแข็งตัวของเลือดได้

6. ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นระบบคอลลอยด์ซับซ้อน (complex-colloidal system) ประกอบด้วยส่วนที่แข็งตัวได้แก่ ผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) ฟองอากาศ (air bubble) เม็ดไขมัน (partially coalescenced fat globule) และส่วนที่ไม่แข็งตัว ได้แก่ น้ำตาล โปรตีน เกลือ โพลีแซคคาไรด์ และน้ำ โดยองค์ประกอบรวมตัวอยู่ในลักษณะของระบบที่มี 3 เฟส คือ ของเหลว อากาศ และของแข็ง (Goff, 1995)

6.1 องค์ประกอบของไอศกรีม

ไอศกรีมแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักโดยทั่วไป ได้แก่

6.1.1 ไขมัน (Milk fat)

ไขมันเป็นส่วนผสมหลักของไอศกรีมมีปริมาณร้อยละ 8-20 ผันแปรตามแต่ละท้องถิ่น อาจอยู่ในรูปไขมันนมในน้ำนม ครีมสด ครีมแช่แข็ง (frozen cream) ไขมันเนย (butter oil) หรืออาจใช้น้ำมันพืช (ไอศกรีมตัดแปลงไขมัน) ได้แก่ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น ไขมันช่วยเพิ่มรสชาติ ปรับปรุงเนื้อสัมผัส ช่วยให้มึนสลิม ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อนุ่ม สร้างลักษณะ

เนื้อ (body) และความหนืดให้แก่ไอศกรีม ให้กลิ่นรสที่ดี ทำให้การขึ้นฟูลดลง ไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม แต่มีข้อจำกัด คือ ราคาแพงและให้พลังงานสูง

6.1.2 เนื่อนมไม่รวมมันเนย (Milk solid-not-fat)

เนื่อนมไม่รวมมันเนย หมายถึง องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำนมซึ่งไม่รวมไขมันและความชื้น เช่น โปรตีน แร่ธาตุและน้ำตาลแลคโตส (Lactose) ส่วนมากใช้ในรูปของนมผงขาดมันเนย (skim milk powder) ในปริมาณ ร้อยละ 8-15 เนื่อนมไม่รวมมันเนยประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 37 น้ำตาลแลคโตส ร้อยละ 55 และเกลือแร่ร้อยละ 8 โปรตีนในเนื่อนมไม่รวมมันเนยช่วยให้เนื้อสัมผัสแน่นและเรียบเนียน โดยเคซีนไมเซลล์ (casein micelle) เคลือบที่ผิวของเม็ดไขมันระหว่าง การโฮโมจิไนซ์ ทำให้มีอัลซันไอศกรีมมิคซ์เสถียร ส่งเสริมการทำงานของอิมัลซิไฟเออร์และให้ความคงตัวในไอศกรีม ถ้าต้องการให้อากาศเข้าแทรกในเนื้อไอศกรีมมากต้องเพิ่มปริมาณให้เหมาะสม ไม่เช่นนั้นไอศกรีมจะมีลักษณะเนื้อไม่แน่น และรูปร่างไม่อยู่ตัว ส่วนน้ำตาลแลคโตสช่วยให้เกิดรสหวานและเกลือแร่ให้รสเค็มซึ่งเป็นกลิ่นรสในไอศกรีม นอกจากนี้เนื่อนมไม่รวมมันเนย ยังช่วยเพิ่มความหนืด ปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส สร้างลักษณะเนื้อและการขึ้นฟูสูงขึ้น ป้องกันการเกิดเกล็ดน้ำแข็งระหว่างแช่แข็งและยี่ดระยะเวลาการละลายของไอศกรีม แต่ถ้าเติมเนื่อนมไม่รวมมันเนยมากเกินไปอาจทำให้จุดเยือกแข็งลดต่ำลงมากเกินไป และปริมาณแลคโตสสูงเกินไปมีผลให้ไอศกรีมเกิดลักษณะเนื้อทราย (sandiness) จากผลึกน้ำตาลแลคโตสได้ และมีเกลือแร่สูงเกินไปทำให้มีรสชาติเค็มและอาจมีกลิ่น cooked flavor ผู้บริโภคไม่ยอมรับ โดยแหล่งของเนื่อนมไม่รวมมันเนย ที่นิยมใช้ได้แก่ นมสดปราศจากไขมัน นมปราศจากไขมันเข้มข้น และหางนมผง

6.1.3 สารให้ความหวาน (Sweetener)

สารให้ความหวานทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น ช่วยปรับปรุงคุณภาพของลักษณะเนื้อ เพิ่มเนื้อสัมผัสและทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม เพิ่มความหนืดให้แก่ไอศกรีมมิคซ์ ลดจุดเยือกแข็งในไอศกรีมทำให้ยี่ดระยะเวลาแช่แข็งไอศกรีม นอกจากนี้ทำให้การขึ้นฟูลดลงและใช้เวลาปั่นไอศกรีมนานขึ้น การเพิ่มปริมาณน้ำตาลทำให้ได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนขึ้น แต่ถ้าปริมาณน้ำตาลสูงเกินไปจะทำให้ไอศกรีมหวานมากไป มีเนื้อฉะ และแลคโตสสามารถตกผลึกออกมา ทำให้เกิดความรู้สึกเป็นทรายเวลารับประทานน้ำตาลที่นิยมใช้ได้แก่ น้ำตาลทราย และกลูโคสไซรัป

6.1.4 สารให้สีและกลิ่นรส (Coloring and Flavoring agents)

สารให้สีและกลิ่นรสเติมลงไปเพื่อให้มีกลิ่นรสและลักษณะปรากฏที่ดี ช่วยดึงดูดความสนใจต่อผลิตภัณฑ์ และบอกให้ทราบว่าไอศกรีมมีกลิ่นอะไร สร้างความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคและช่วยให้ไอศกรีมมีกลิ่นรสที่หลากหลายมากขึ้น โดยทั่วไปมีการเติมสีในการผลิตไอศกรีม เพื่อให้เข้ากับรสของไอศกรีมนั้นๆ ยกเว้นไอศกรีมช็อคโกแลต ซึ่งมีกลิ่นรสและสีจากผงโกโก้ ส่วนไอศกรีมวานิลยานิยมเติมสีเหลืองครีม แต่สีที่เติมมากเกินไปทำให้ไอศกรีมมีสีเข้มเกินไปอาจไม่เป็นที่นิยม

6.1.5 สารให้ความคงตัว (Stabilizer)

สารให้ความคงตัวช่วยเพิ่มความเนียนของไอศกรีมช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อ เพิ่มความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ (Goff, 1995) ทำให้อนุภาคที่เติมลงไปเช่น ถั่ว กระจายตัวอยู่ในไอศกรีมสม่ำเสมอ ทำให้อาหารเกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเจล ช่วยให้ของผสมที่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยน้ำไม่แยกออกจากส่วนประกอบอื่นทั้งก่อนและหลังแช่แข็ง เพิ่มความทนทานต่อ heat shock และป้องกันไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขณะแช่แข็งและเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิไม่คงที่ ทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมหยาบ แต่ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปผลทำให้ไอศกรีมเหนียวและ (soggy) มีเนื้อหยาบ เนื้อไอศกรีมแน่นเหนียว และละลายยากเวลารับประทานสารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ ได้แก่ เจลาติน คาราจีแนน กัวร์กัม อัลจีเนต และอนุพันธ์ของเซลลูโลส ซึ่งทำงานได้ดีในอาหารที่มีปริมาณน้ำอิสระสูง

6.1.6 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

อิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ได้ดีในอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับสารให้ความคงตัว เป็นสารที่ช่วยให้เกิดอิมัลชันที่คงตัว อิมัลซิไฟเออร์ที่ใส่เข้าไปเกิดเป็นฟิล์มรอบเม็ดไขมัน ลดแรงตึงผิวของเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันสามารถรวมกันเกิดเป็นโครงสร้าง หุ้มฟองอากาศได้ ช่วยทำให้นเนื้อไอศกรีมเนียน มีเนื้อสัมผัสที่ไม่เย็นจัดเกินไปขณะรับประทาน สร้างกลิ่นรส และลดแรง ตึงผิว ช่วยลดระยะเวลาการตีขึ้นฟู ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง ช่วยให้ส่วนผสมกระจายตัวดีขึ้น ช่วยลดขนาดฟองอากาศในเนื้อไอศกรีม ทั้งยังช่วยให้ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะแห้ง คงรูปและขึ้นฟูได้ดี ช่วยลดอัตราการละลาย และเพิ่มความทนทานต่อ heat shock แต่ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไป จะทำให้เกิดโฟมหรือฟองขณะไอศกรีมละลาย

6.1.7 อากาศ (Air)

อากาศมีผลต่อความยากง่ายในการตัดไอศกรีม และถ้าไอศกรีมเก็บอากาศ ได้มาก (ร้อยละการขึ้นฟูสูง) ช่วยให้ปริมาตรของไอศกรีมที่ผลิตเพิ่มขึ้น ร้อยละการขึ้นฟู หมายถึงปริมาตรของอากาศในเนื้อไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นขณะตีปั่นให้แข็ง ซึ่งเป็นปริมาณของอากาศที่เพิ่มขึ้นของส่วนผสมของไอศกรีมหลังจากมีการอัดอากาศเข้าไปในส่วนผสมแล้วทำให้แข็งตัว

6.1.8 น้ำ (Water)

น้ำเป็นตัวทำละลายส่วนผสมแห้งต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดที่สุดในไอศกรีมในปริมาณร้อยละ 55-80 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด น้ำที่ใช้ควรมีคุณภาพดี สะอาดปราศจาก สิ่งสกปรก และจุลินทรีย์

6.2 กระบวนการผลิตไอศกรีม

6.2.1 การผสมส่วนผสมทั้งหมด (Blending of the mix ingredients)

คำนวณปริมาณส่วนผสมทั้งหมดโดยคำนึงถึงปริมาณไขมัน เนื่อนมในผลิตภัณฑ์นม และส่วนผสมอื่นๆ จากนั้นนำส่วนผสมที่เป็นของเหลว เช่น นม นมข้น ครีม น้ำเชื่อมเทลงในถัง ให้ความร้อนพร้อมคนผสม และเติมส่วนผสมที่เป็นของแข็ง เช่น น้ำตาล สารคงตัว เนื่อนมไม่รวมมันเนย เป็นต้น ลงในของเหลวเมื่ออุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียส

6.2.2 การพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization)

วัตถุประสงค์เพื่อทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค ลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เสื่อมเสีย เช่น พวกไซโครโทรฟ (psychrotrophs) และช่วยให้ส่วนผสมที่เป็นของแข็ง เช่น โปรตีนและสารให้ความคงตัวละลายน้ำดีขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิระดับพาสเจอร์ไรซ์เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการโฮโมจีไนซ์

6.2.3 การโฮโมจีไนซ์และทำให้เย็น (Homogenization and Cooling)

จุดประสงค์เพื่อรักษาความคงตัวและลดขนาดเม็ดไขมันให้ต่ำกว่า 2 ไมครอน ทำให้ไม่เกิดชั้นครีม จึงไม่เกิดความรู้สึกเป็นมัน (greasy) เป็นเนย (buttery) และความรู้สึกในปาก (mouthfeel) หลังจากแช่แข็ง ในธรรมชาติเม็ดไขมันถูกหุ้มด้วยฟอสโฟลิปิด ระหว่างการโฮโมจีไนซ์เม็ดไขมันถูกลดขนาดลง แต่ฟอสโฟลิปิดมีจำกัด ทำให้อิมัลซิไฟเออร์ที่เติมเข้าไปถูกดูดซับบนผิวไขมันใหม่ ช่วยรักษาขนาดของเม็ดไขมันให้มีขนาดเล็กระหว่างการผลิต การลดขนาดเม็ดไขมันทำให้เกิด

โครงสร้างอิมัลชัน ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเนียนมากขึ้น เพิ่มความมัน และละลายช้าลง ควรใช้อุณหภูมิที่พาสเจอร์ซีในการโฮโมจิไนซ์ เนื่องจากในขั้นนี้ต้องทำให้ไขมันเป็นของเหลวจึงต้องใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ขึ้นไป หลังจากโฮโมจิไนซ์ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

6.2.4 การบ่ม (Aging)

การบ่มใช้เวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส แต่ไม่ถึงระดับแช่แข็ง ระหว่างการบ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง ได้แก่ ส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิก เช่น โปรตีน และสารคงตัวดูดน้ำได้เต็มที่ ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และในขั้นนี้โปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดไขมันถูกแทนที่ด้วยอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้ความคงตัวของไขมันลดลง มีโอกาสเกิดการหลอมรวมตัวบางส่วนได้ง่าย ทำให้สามารถหุ้มอากาศได้ดีขณะปั่นไอศกรีม การลดอุณหภูมิ ทำให้ไขมันบางส่วนตกผลึก (partial fat crystallization) จึงหุ้มอากาศได้ดีขณะปั่นไอศกรีม นอกจากนี้การทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส เป็นการเพิ่มอัตราการเกิดผลึกไขมัน เพิ่มความสามารถในการแช่เยือกแข็ง และช่วยกำจัดจุลินทรีย์ที่เจริญในมิกซ์ได้

6.2.5 การปั่นแข็งไอศกรีม (Freezing)

ก่อนนำไปผ่านกระบวนการปั่นแข็งไอศกรีม สามารถเติมสี กลิ่น หรือผลไม้ในไอศกรีมมิกซ์ได้ ในขั้นนี้เกิดการกระจายของอนุภาคต่างๆ น้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ไซรัปเข้มข้น มีการปั่นอากาศเข้าไปในไอศกรีมมิกซ์ เกิดเซลล์อากาศ ซึ่งมีไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์ดูดซับบนผิวหน้าเพื่อรักษาความคงตัว เม็ดไขมันเป็นผลึกมากขึ้น เกิดการหลอมรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างแบบโฟม และหลังจากผ่านการปั่นแข็งเป็นไอศกรีม น้ำประมาณร้อยละ 50 ในไอศกรีมมิกซ์ เป็นน้ำแข็ง ปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกักอากาศของไขมัน เฟสต่อเนื่องเป็นสารละลายเข้มข้น ขณะที่เฟส ไม่ต่อเนื่องประกอบด้วยเซลล์อากาศ ผลึกน้ำแข็ง เม็ดไขมัน เคซีนไมเซลล์ และไฮโดรคอลลอยด์อื่นๆ ไอศกรีมมิกซ์ที่ผ่านการปั่นแข็งไอศกรีม มีลักษณะกึ่งของแข็ง หรือลักษณะ soft serve ice cream

6.2.6 การบรรจุ ขึ้นรูปและแช่แข็ง (Filling, Shape Forming and Hardening)

หลังจากปั่นไอศกรีมมิกซ์ได้ไอศกรีมที่มีลักษณะกึ่งของแข็ง ต้องนำไปแช่แข็งโดยลดอุณหภูมิลงให้ถึง - 18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่านั้นที่ - 20 ถึง - 30 องศาเซลเซียส การทำให้แข็งอย่างรวดเร็วทำให้ได้ไอศกรีมมีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก มีเนื้อสัมผัสที่ดี เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งถูกสมมติให้เป็นระยะเวลาที่อุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ต่ำลงถึง - 18 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านการแช่แข็งน้ำประมาณร้อยละ 72 กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง

6.2.7 การเก็บรักษา (Storage)

การเก็บรักษาไอศกรีมโดยทั่วไปนิยมเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -25 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภาพ นนทะสันต์ (2553) ได้ศึกษาการผลิตสีปรุงแต่งอาหารและสารเสริมสุขภาพจากรำข้าวเหนียวดำ โดยในการศึกษามีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมรำข้าวเหนียวดำ ให้เป็นสีปรุงอาหารและการประยุกต์ใช้สีปรุงแต่งอาหารในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต โดยการเปรียบเทียบการสกัดรำข้าวด้วยตัวทำละลายเอทานอล และการสกัดรำข้าวเหนียวในปริมาณ 40, 50 และ 60 กรัมด้วยเอนไซม์ (แอลฟาอะไมเลสร่วมกับโปรติเอส) ร่วมกับการเติมสารมอลโตเด็กซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 0, 2, 3 และ 4 (w/v) ในสารละลายของสารสกัดก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้เป็นผง (freeze-dried) แล้วศึกษาปริมาณสีปรุงแต่งอาหาร ค่าสี ค่าวอร์เตอร์แอกติวิตี ค่าการละลาย และปริมาณแอนโธไซยานิน จากการศึกษาพบว่า วิธีการสกัดรำข้าวเหนียวดำในปริมาณ 60 กรัม ด้วยเอนไซม์ และไม่เติมมอลโตเด็กซ์ตริน ให้ปริมาณผลผลิตของสีปรุงแต่งอาหารและปริมาณแอนโธไซยานินสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 27.32% และ 983.43 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์/100 กรัม ส่วนวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ร่วมกับการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 2, 3 และ 4 (w/v) เพื่อนำไปศึกษาความคงตัวต่อการเก็บรักษา โดยทำการศึกษาปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และค่าสีในระบบ CIE LAB ของสีปรุงแต่งอาหารที่เก็บไว้เป็นเวลา 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่ากรรมวิธีการผลิตที่ใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน ร้อยละ 2 ที่เวลาการเก็บรักษา สัปดาห์ที่ 0, 1 และ 2 มีปริมาณแกรมมาอริซานอลสูงที่สุด ($p < 0.05$) (18.14, 18.09 และ 17.70 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ) และปริมาณแอนโธไซยานินสัปดาห์ที่ 0 และ 1 สูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 941.89 และ 934.63 มิลลิกรัมไซยานิดินกลูโคไซด์/100 กรัม ส่วนประมาณสารประกอบฟีนอลมีปริมาณสูงที่สุดตลอดสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 5 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรวมทั้งทดสอบโดยวิธี total antioxidant capacity, ABTS⁺ radical scavenging activity และ FRAP method สูงที่สุด ($p < 0.05$) ซึ่งอยู่ในช่วง 31.76-35.38 ไมโครกรัมแกลลิก/มิลลิกรัม, 532.87 ไมโครกรัม/กรัม (IC_{50}) และ 797.13 มิลลิโมลต่อกรัม การเปลี่ยนแปลงค่าสีพบว่าโดยรวมแล้วอยู่ในเฉดของสีแดง ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสีปรุงแต่งอาหารคือการใช้รำข้าวเหนียวดำปริมาณ 60 กรัม สกัดด้วยเอนไซม์แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 2 ก่อนการทำแห้ง การวิจัยในครั้งนี้ยังได้นำสี

ปรุงแต่งอาหารในปริมาณร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 และไม่เติมสีปรุงแต่งอาหาร เพื่อเก็บรักษาโยเกิร์ตไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่าในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา พีเอชของโยเกิร์ตมีค่าลดน้อยลงเท่ากับ 4.37 และปริมาณกรดเพิ่มขึ้น เท่ากับร้อยละ 0.85 และการเติมผงสีปรุงแต่งอาหารที่ระดับร้อยละ 0.6 (w/v) ให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีสีม่วงอมชมพู มีค่าความสว่างของสีต่ำที่สุดและความเข้มข้นของสีสูงที่สุด ซึ่งคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 21 วัน และค่ามุมของสีต่ำที่สุดจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา

ดวงกมล ลิ้มจันทร์ (2550) ได้ศึกษาการพัฒนาสีธรรมชาติจากข้าวเหนียวดำ โดยการสำรวจพฤติกรรมในการบริโภคอาหารที่มีสีผสมอาหารเป็นส่วนประกอบ พบว่า สีของผลิตภัณฑ์อาหารมีอิทธิพลในการตัดสินใจซื้อสีธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ เนื่องจากมีความปลอดภัย การสำรวจพฤติกรรมในการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ผลิตอาหารขนาดเล็กและผู้ใช้สีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า ข้อดีของการใช้สีธรรมชาติ คือ ความปลอดภัยในการบริโภค การสำรวจพฤติกรรมในการใช้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารของผู้ผลิต ผู้นำเข้า และผู้จำหน่ายสีผสมอาหาร พบว่า มีความเป็นไปได้ในการใช้สีธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ และส่วนใหญ่ให้ความสนใจที่จะซื้อหากมีการผลิตสีธรรมชาติ จากข้าวเหนียวดำ ข้าวเหนียวดำพันธุ์เก่าดอยสะเก็ด มีค่าความสว่าง ค่าความเข้มของสี และค่ามุมของสี เท่ากับ 22.03, 5.51 และ 24.00 องศา ตามลำดับ อุณหภูมิ เวลา และการเขย่า เป็นปัจจัยที่ผลต่อการสกัดสีจากข้าวเหนียวดำ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงสีจากข้าวเหนียวดำ คือ อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ 1:3 (น้ำหนัก:ปริมาตร) และใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า ที่อุณหภูมิ 62-65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 67-75 นาที ทำเข้มข้นโดยการระเหยด้วยน้ำเดือดโดยใช้หม้อเทพลอน อังในหม้อสแตนเลส ควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 82 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 นาที ทำแห้งสีเข้มข้นด้วยวิธีการทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ผงสีที่ได้มีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และ จุลินทรีย์ ดังนี้ ค่าความสว่างความเข้มของสี และค่ามุมของสีเท่ากับ 34.99, 15.37 และ 42.87 องศา ตามลำดับ ค่า a_w เท่ากับ 0.30 ค่าความชื้นร้อยละ 5.75 ค่าการละลายเท่ากับ 165.40 วินาที ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด 3.40 มิลลิกรัมต่อกรัมผงสี จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 27 โคโลนีต่อกรัม และจำนวนยีสต์ และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ศึกษาความคงตัวของผงสีจากข้าวเหนียวดำ พบว่า สีจากข้าวเหนียวดำที่ความเป็นกรด-ด่างสูง หรือต่ำกว่าความเป็นกรด-ด่าง 70 และอุณหภูมิในการแปรรูปที่สูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงและมีผลทำให้ค่าสีเปลี่ยนแปลงไป การทดสอบการยอมรับผงสีจากข้าวเหนียวดำกับผู้ใช้ พบว่า ผู้ใช้พอใจในคุณภาพ และรูปแบบของผงสีจากข้าวเหนียวดำและมีความเป็นไปได้ในการใช้ผงสีจากข้าวเหนียวดำเพื่อทดแทนการใช้

สีสังเคราะห์ เมื่อน้ำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมข้าวเหนียวดำมาทดสอบกับการยอมรับกับผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภค ร้อยละ 98.50 ยอมรับผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่เติมสีจากข้าวเหนียวดำ และมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ ไอศกรีมข้าวเหนียวดำเมื่อออกจำหน่าย คิดเป็นร้อยละ 83.0

นิพัทธา และ วริพัลย์ (2553) ได้ศึกษาพารามิเตอร์ของสี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณ แอนโทไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 51 สายพันธุ์ พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโทไซยานินมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.194-8.702 มิลลิกรัม สมมูลกรดแกลลิกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 0.0012-5.676 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ สารสกัดจากกลุ่มข้าวที่มีสีมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโทไซยานินสูงกว่าสารสกัด จากกลุ่มข้าวที่ไม่มีสี โดยข้าวเหนียวดำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโทไซยานินสูงที่สุด

ณัฐราวุฒิ และคณะ (2555) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของโปรแอนโทไซยานินและแอนโทไซยานินจากข้าวมีสี 4 ชนิด คือ ข้าวเหนียวดำ (สีดำ) ข้าวหอมนิล (สีดำ) ข้าวมันปู (สีแดง) และข้าวสังข์หยด (สีเหลือง-แดง) ด้วยตัวทำละลาย 6 ชนิด คือ น้ำกลั่นร้อยละ 1 กรดเกลือในน้ำกลั่น เอทานอลร้อยละ 1 กรดเกลือในเอทานอล อะซิโตน และร้อยละ 1 กรดเกลือในอะซิโตน โดยผลการทดลอง พบว่า ข้าวมันปูที่สกัดด้วยร้อยละ 1 กรดเกลือในเอทานอล มีปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ % DPPH scavenging activity สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 0.184 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (mg/ml) และ 49.718 ตามลำดับ ข้าวเหนียวดำที่สกัดด้วยร้อยละ 1 ของกรดเกลือในน้ำกลั่น พบว่า มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด เท่ากับ 3.741 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และที่สกัดด้วยร้อยละ 1 กรดเกลือในเอทานอล พบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือร้อยละ 53.144

Duangmal และคณะ (2008) ได้ศึกษาการทำแห้งสารละลายสกัดแบบแช่เยือกแข็ง รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีแอนโทไซยานินที่ได้จากทำแห้งแบบเยือกแข็ง และนำไปประยุกต์ใช้ในน้ำหวาน โดยทำการสกัดกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำและเอทานอล (1:1) ปรับพีเอชเป็น 2.5 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วนระหว่างปริมาณกลีบกระเจี๊ยบแดงต่อตัวทำละลายเป็น 1:5 แล้วศึกษาการทำแห้งแบบเยือกแข็งของสารสกัดแอนโทไซยานินโดยใช้ทริฮาโลสและมอลโตเด็คซ์ทรินเป็นสารให้ความคงตัวที่ระดับความเข้มข้น 2 และ 3% (w/v) พบว่าหลังการทำแห้งมีค่าร้อยละปริมาณแอนโทไซยานินคงเหลือ และค่า degradation index (DI) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม และเมื่อเก็บรักษาสีแอนโทไซยานินทำแห้งแบบเยือกแข็งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 15 สัปดาห์ พบว่าในทุกตัวอย่างมีค่าร้อยละปริมาณแอนโทไซยานินคงเหลือและค่าความเข้มสี (chroma) ของสีลดลง เมื่อพิจารณาค่าครึ่งชีวิตของแอนโทไซยานิน พบว่าสีแอนโทไซยานินทำแห้งแบบเยือกแข็งที่ใส่มอลโตเด็คซ์ทรินความเข้มข้น 3% (w/v) มีค่าครึ่งชีวิตมากที่สุดคือ 247 วันและค่าความเข้มสีลดลงน้อยกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อศึกษาการนำไปใช้โดยทำระบบจำลองในน้ำหวาน โดยผสมสี 3 ชนิดคือ สีแอนโทไซยานินที่สกัดจากกระเจี๊ยบแดง สี SAN RED RC(R) และสีสังเคราะห์คือสีคาร์โมอีซิน เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 84 วันพบว่าค่า L^* ค่า ΔE^*ab และค่ามุมของสี (hue angle) ในน้ำหวานใส่สีแอนโทไซยานิน ทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า a^* และค่าความเข้มสีมีค่าลดลง นั่นคือมีสีซีดลง ในขณะที่น้ำหวานที่ใส่สีคาร์โมอีซินไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวข้างต้น ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมพบว่า น้ำหวานที่ใส่สีแอนโทไซยานินจากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง ผู้ทดสอบไม่ยอมรับหลังจากผ่านไป 56 วัน ในขณะที่น้ำหวานที่ใส่สี SAN RED RC(R) และสีคาร์โมอีซินได้รับการยอมรับตลอดระยะเวลา 84 วัน

Nam และคณะ (2006) ได้ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจากรำข้าวมีสีสายพันธุ์ต่าง ๆ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับรำข้าวไม่มีสี พบว่าในกลุ่มของข้าวมีสีมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวที่ไม่มีสี โดยผลที่ได้จากการวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงศักยภาพในการใช้ข้าวมีสีจากหลากหลายสายพันธุ์ทำเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติสามารถพัฒนาเป็นอาหารเสริมสุขภาพได้

Xia และคณะ (2006) ได้ศึกษาสารสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ (black rice) ในการเสริมความคงตัวของพลาัค (plaque) ในหลอดเลือดของหนูที่ขาด apolipoprotein-E โดยการศึกษาผลของสารสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำต่อพลาัค (plaque) ที่มีความอ่อนแอในหนู โดยแบ่งหนูที่เป็นโรคขาด apolipoprotein-E ออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มควบคุม (control group) ให้อาหาร AIN-93G diet, Simvastin group ให้อาหาร AIN-93G diet + simvastin 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร และ anthocyanin rich extract group ให้อาหาร AIN-93G diet เสริมด้วยสารสกัดที่อุดมด้วยแอนโทไซยานิน (anthocyanin rich extract) 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร การทดลองพบว่าการเสริมสารสกัดที่อุดมด้วยแอนโทไซยานินในอาหารจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของไขมัน และช่วยลดไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) คอเลสเตอรอลรวม (total cholesterol) และคอเลสเตอรอลที่ไม่ใช่เอชดีแอล คอเลสเตอรอล (HDL cholesterol) ให้ต่ำลง และยังเสริมให้เกิดความคงตัวของพลาัคในหนูขาด apolipoprotein-E ได้ ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการอุดตันและการบาดเจ็บของหลอดเลือดได้

Guo และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของสารสกัดที่อุดมด้วยแอนโธไซยานิน (anthocyanin rich extract; AREBR) จากข้าวเหนียวดำ ต่อภาวะไขมันในเลือดสูงและภาวะการต้านทานอินซูลินในหนูที่ให้ฟรุคโตส ซึ่งการทดลองได้แบ่งหนูออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็น control ได้รับอาหารธรรมดา, High-fructose ให้อาหารที่มีฟรุคโตสสูงเป็นเวลา 8 สัปดาห์, AREBR ได้รับอาหารที่มี High-fructose เสริมด้วย AREBR เป็นเวลา 8 สัปดาห์, AREBR-treated เป็นกลุ่มที่ให้การรักษาโดยใช้ AREBR คือให้อาหารที่มี fructose สูงเป็นเวลา 8 สัปดาห์แล้วให้อาหารที่เสริม AREBR ในสัปดาห์ที่ 5-8 และกลุ่ม Pio-treated เป็นกลุ่มที่ให้การรักษาโดยยารักษาโรคเบาหวานในสัปดาห์ที่ 5-8 ของการให้อาหาร High-fructose โดยจากการทดลองพบว่าในหนูที่ให้ High-fructose เป็นเวลา 4 สัปดาห์จะมีระดับของฮอร์โมนอินซูลินในพลาสมาสูงและมีความไวต่ออินซูลินต่ำ ซึ่งการเสริมอาหารด้วย AREBR จะช่วยป้องกันการดื้อต่ออินซูลินได้ใกล้เคียงกับยาไพโอกลิตาโซน (pioglitazone) ซึ่งช่วยลดความบกพร่องในการทนต่อน้ำตาลและภาวะการมีไขมันในเลือดสูง นอกจากนี้การเสริมสารสกัดจากข้าวเหนียวดำยังช่วยลดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ให้ต่ำลง ดังนั้นจะเห็นว่าสารสกัดแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำ ช่วยรักษาความผิดปกติที่เกิดจากเมตาบอลิซึมในร่างกายได้

Shen *et al.* (2009) ได้ศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าว และความสัมพันธ์กับสีของเมล็ด ขนาดของเมล็ดและน้ำหนักต่อร้อยเมล็ดของข้าว โดยพบว่า ปริมาณฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ในข้าวจะมีปริมาณสูงขึ้นเรียงลำดับคือ จากข้าวขาว (White rice) ข้าวแดง (Red rice) และข้าวดำ (Black rice) เมื่อพิจารณาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าว 481 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 108-1244.9 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) กล่าวคือ ข้าวสีขาวมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วงตั้งแต่ 108-251 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ข้าวแดง ตั้งแต่ 165.8-731.8 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) และข้าวสีดำตั้งแต่ 841-1244.9 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิกต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ประเด็นที่น่าสังเกตอย่างยิ่งคือพบความสัมพันธ์ในทิศทางลบระหว่างค่า IC_{50} กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และความสัมพันธ์ในทิศทางบวกระหว่างค่า IC_{50} กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ทั้งในกลุ่มข้าวขาวและในกลุ่มข้าวแดง ซึ่งเป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าสามารถนำความสัมพันธ์เหล่านี้ไปใช้เป็นตัวชี้วัดโดยอ้อมในการคัดเลือกข้าวที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง ๆ ที่จะนำมาใช้ผสมเพื่อปรับปรุงพันธุ์ได้