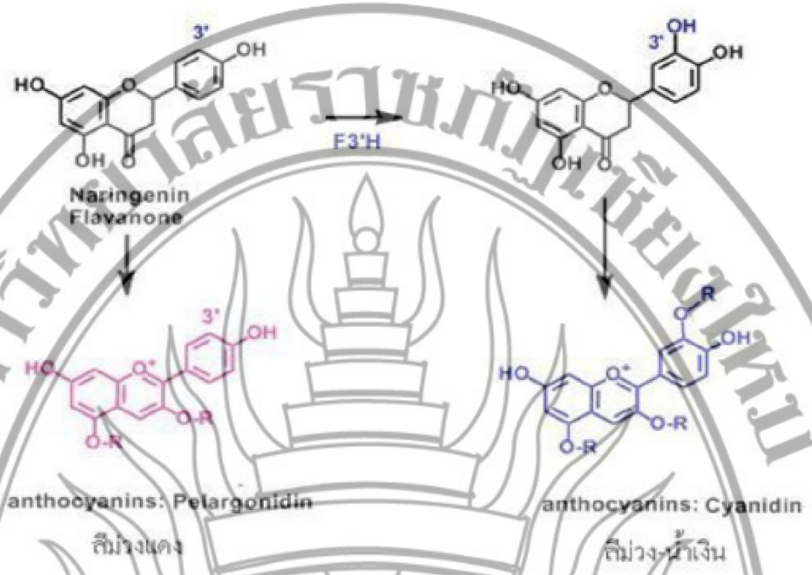
บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 แอนโทไซยานิน

ความสำคัญของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (anthocyanins) มาจากภาษากรีก คำว่า anthos แปลว่าดอกไม้ kyanos แปลว่าสีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นสารสีกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญมากในพืช ให้ลักษณะปรากฏของสีในพืชเป็นช่วงกว้างตั้งแต่สีน้ำเงิน ม่วงแดง ม่วงน้ำเงิน แดงม่วง แดง และส้ม (Schwartz และคณะ) แอนโทไซยานินมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นฟลาวีเลี่ยมแคทอิออน (flavylium cation) การแทนที่บนแคทอิออน ทำให้เกิดแอนโทไซยานิดิน (anthocynidin) ที่แตกต่างกัน แอนโทไซยานินจะประกอบด้วยแอนโทไซยานิดินที่เกิดพันธะเอสเทอร์กับน้ำตาลอย่างน้อย 1 ชนิด (รัชนี, 2533)

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุจัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ โดยสีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ $C_6C_3C_6$ (Harbone และ Grayer, 1988; สุดารัตน์, 2551) ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation ที่มีด้วยกันหลายชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบบ่อย ได้แก่ pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin ในสารละลายตัวกลาง แอนโทไซยานินจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) คือให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลางและไม่มีสีที่ pH สูง โดยมีโครงสร้างของแอนโทไซยานินชนิดสีแดงและสีม่วง-น้ำเงินดังภาพที่ 1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของแอนโทไซยานินชนิดสีแดงและสีม่วงน้ำเงิน (วิชิต และวรวรรธน์, 2557)

แอนโทไซยานินพบในพืชทั้งในดอกและในผลของพืช เป็นสารที่ละลายในน้ำได้ดี มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน ซึ่งวารสารทางการแพทย์ ทั้งในสหรัฐอเมริกาและยุโรป ยกย่องคุณประโยชน์ของแอนโทไซยานินว่า ช่วยลดโอกาส การเกิดมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งชนิดเนื้องอก ช่วยเสริมให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรคและสมานแผล เสริมภูมิคุ้มกันในร่างกายให้ดีขึ้น ส่งเสริมการทางานของเม็ดเลือดแดง ชะลอการเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ลดภาวะเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจ เพิ่มความสามารถในการมองเห็น ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยควบคุมระดับน้าตาลในผู้ป่วยเบาหวาน ชะลอความแก่โดยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ดังนั้น หากใครสามารถรับประทานข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงได้เป็นประจำจะได้รับประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพ และทำให้ร่างกายปราศจากโรคภัยต่างๆ (วิชิต และวรวรรธน์, 2557)

แอนโทไซยานินกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity)

1. อนุมูลอิสระ (free radicals) เป็นสาร หรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (unpairelectron) อยู่รอบนอก เป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(oxidation reaction) แล้วกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ส่วนมากแล้วเกิดกับโมเลกุลของออกซิเจน เช่นsuperoxide anion radical (O•2) hydroxyl radical (HO•) peroxide radical (ROO•) hydrogen peroxide (H_2O_2) เป็นต้น อนุมูลอิสระเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายมนุษย์ และ

เกิดจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษ เช่น ควันเสียจากเขม่าเครื่องยนต์ควันบุหรี่ สารเคมีต่าง ๆ รังสี UV และจากการรับประทานอาหารปิ้ง ย่างที่ไหม้เกรียม ส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดภาวะที่เรียกว่า oxidative stress ที่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ เช่น เซลล์ถูกทำลาย เกิดการเสื่อมของเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ (aging) และทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อหุ้มเซลล์รุนแรง p-coumaryl Co-A chalcone ไปถึงการเกิดเป็นโรค เช่น โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจโรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น มนุษย์สามารถป้องกันการทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้โดย 1) ใช้เอนไซม์ที่สร้างในร่างกายกำจัด เช่น superoxide dismultase (SOD) และ glutathione peroxidase (GPX) แต่การกำจัดอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์มักมีขีดจำกัด เช่น บางคนมีพันธุกรรมที่สามารถสร้างเอนไซม์ได้น้อย 2) เพิ่มความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้โดยรับประทานอาหาร ผัก ผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และแอนโทไซยานิน

2. สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือ สารที่มีโครงสร้างที่สามารถจับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวของอนุมูลอิสระ ทำให้ไม่สามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และหยุดการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ลดอัตราการเกิดโรคร้ายแรงต่าง ๆ ที่เกิดจากอนุมูลอิสระเป็นต้นเหตุ แอนโทไซยานินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีโครงสร้างที่สามารถจับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวของอนุมูลอิสระ ทำให้ไม่สามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และหยุดการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ลดอัตราการเกิดโรคที่เกิดจากอนุมูลอิสระเป็นต้นเหตุ ในสมัยก่อนชาวกรีกได้นำผลไม้ที่มีสีม่วงมาพอกหน้า พอกตัว เพราะเชื่อว่าจะทำให้ผิวพรรณดูอ่อนกว่าวัย (Sullivan, 1998) การรับประทาน Bilberries (Vaccinium myrtillus) ทำให้มองเห็นในที่มืดได้ดีขึ้น การดื่มไวน์แดง (redwine) ที่มี polyphenolic ต่าง ๆ รวมทั้งแอนโทไซยานิน สามารถลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ การรับประทานผักและผลไม้ที่มีแอนโทไซยานินสามารถยับยั้งการลุกลามของเนื้องอก ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง และลดระดับไขมันในเลือดได้ แอนโทไซยานินสามารถป้องกันโรคเบาหวานได้ การนำแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากผลเชอร์รี่ไปทดลองกับเซลล์ตับอ่อนของหนูหลอดทดลองในหลอดทดลอง พบว่าแอนโทไซยานินสามารถกระตุ้นให้เซลล์ตับอ่อนสร้างอินซูลิน (insulin) เพิ่มขึ้น ซึ่งอินซูลินทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในกระแสเลือด (ศศิพันธ์ และคณะ, 2550)

วิชิต และวรวรรธน์ (2557) ศึกษาการสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (พันธุ์ข้าวก่ำ) โดยใช้วิธีคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติและเมทานอลเป็นตัวทำละลายร่วม โดย

สภาวะที่ใช้ในการสกัดคือ อัตราส่วนคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติต่อตัวทำละลายร่วมเมทานอล 70:30 โดยปริมาตร อุณหภูมิ 40 50 60 องศาเซลเซียส ความดัน 200 300 400 บาร์ และขนาดของอนุภาควัตถุดิบซังข้าวโพด 850 250 150 ไมโครเมตร โดยเวลาที่ใช้ในการสกัดคงที่ที่ 120 นาที ที่ทุกสภาวะของการสกัด จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานินได้ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 200 บาร์ และขนาดอนุภาคซังข้าวโพดข้าวเหนียวข้าวก่ำ 150 ไมโครเมตร ซึ่งได้ปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงสุด เท่ากับ 704.725 ไมโครกรัมต่อกรัมของซังข้าวโพดข้าวเหนียวข้าวก่ำ

ดวงกมล และคณะ (2551) ศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ เริ่มจากการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด โดยใช้การจัดการทดลองแบบแพลกเกตต์ แอนด์ เบอร์แมน (Plackett and Burman design) 4 ปัจจัยคือ อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำ อุณหภูมิ เวลา และการเขย่า พบว่าอุณหภูมิ และการเขย่ามีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้ อุณหภูมิ และเวลามีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ โดยใช้การจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 x 4 ด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (Complete randomized design) ศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ (55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส) และเวลา (45, 60, 75 และ 90 นาที) วิเคราะห์ผลโดยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ที่อุณหภูมิ 62 – 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 – 75 นาที โดยใช้อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1 : 3 ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking water bath)

ศศิพันธ์ และคณะ (2550) ศึกษาผลของการเก็บรักษาน้ำคั้นจากผลม่าที่อุณหภูมิต่ำ ต่อเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า อุณหภูมิการเก็บรักษาและโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ (potassium metabisulfite) ต่อการเก็บรักษาน้ำคั้นจากผลม่ามีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของทุกกลุ่มมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาในเดือนที่ 2 และ 3 ($P \leq 0.05$) ส่วนปริมาณกรด (ร้อยละของกรดซิตริค) และค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ค่าสูงขึ้นตั้งแต่เดือนที่ 2 ของระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่ว่าจะเป็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส -5 องศาเซลเซียส และ-18 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ไม่เติม KMS และเติม KMS มี แต่ในทางตรงกันข้ามปริมาณของแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลลิค ค่า DPPH ค่า FRAP และค่าความเข้มของสีทั้งหมดมีค่าลดลง ($P \leq 0.05$) ส่วนปริมาณสารพอลิเมอร์ริคมีค่าสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ($P \leq 0.05$) ค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ และรา ในการเก็บที่อุณหภูมิ 4

องศาเซลเซียสในกลุ่มที่ไม่เติม KMS และเติม KMS มีจำนวนมากจนไม่สามารถนับได้ตั้งแต่เดือนที่ 2 และ3 ตามลำดับ แต่ในส่วนของการเก็บรักษาที่ -5 องศาเซลเซียสในกลุ่มที่ไม่เติม KMS มีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนในกลุ่มที่เติม KMS ไม่พบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งยีสต์ และรา แต่พบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งหมดในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา แต่การเก็บรักษาที่ -18 องศาเซลเซียส ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ และราไม่มีการเจริญเติบโตทั้งในกลุ่มที่ไม่เติม KMS และเติม KMS และระยะเวลาของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา -5 และ -18 องศาเซลเซียลที่โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ (potassium metabisulfite) ต่อ ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำคั้นจากผลเม่า ตั้งแต่ 4 -12 เดือน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของทุกกลุ่มมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้ในระยะที่นานขึ้น ($P \leq 0.05$) ส่วนระยะเวลาของการเก็บรักษาไม่ว่าจะเป็นที่อุณหภูมิ-5 องศาเซลเซียส หรือ -18 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ไม่เติม KMS และเติม KMS มีค่าปริมาณกรด (ร้อยละของกรดซิตริค) และค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นตั้งแต่เดือนที่ 10 11 และ 12 ของระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ในทางตรงกันข้ามปริมาณของแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลลิค ค่า DPPH ค่า FRAP และค่าความเข้มของสีทั้งหมดมีค่าลดลง ($P<0.05$) ส่วนปริมาณสารพอลิเมอร์ริค และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์ และรามีค่าสูงขึนเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ($P \leq 0.05$)

2.2 การสกัดแอนโทไซยานิน

ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์ (2547) ได้กล่าวถึงวิธีการสกัดแอนโธไซยานินส์มีหลายวิธีที่แตกต่างกันไปตามชนิดของตัวอย่างที่ใช้โดยมากจะใช้ตัวทำละลายในการสกัด และทำการสกัดในสภาวะที่เป็นกรด ประสิทธิภาพในการสกัดแอนโทไซยานินจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย ชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัดหรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนี้

1)*ชนิดของตัวทำละลาย*

รัตนา ม่วงรัตน์ และคณะ (2557) ได้สกัดสารแอนโธไซยานินจากซังข้าวโพดสีม่วง โดยใช้ตัวทำละลายเมทานอลสามารถสกัดสารแอนโทไซยานินได้มากกว่าเอทานอลและน้ำ ตามลำดับ เมื่อสกัดด้วยวิธีการสกัดแบบซอกห์เลต (soxhlet extraction) เมทานอลสามารถสกัดสารแอนโทไซยานินได้สูงกว่าเอทานอล เมื่ออัตราส่วนน้ำหนักซังข้าวโพดสีม่วงต่อตัวทาละลายเท่ากับ 1:13 ที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายเมทานอลเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยนาหนัก สามารถสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดสีม่วงได้มากที่สุด นอกจากนี้ ที่อัตราส่วนน้ำหนักซังข้าวโพดสีม่วงต่อตัวทำ

ละลายเท่ากับ 1:13 ในทุกระดับความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอลและเมทานอล (100, 90 และ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) สามารถสกัดสารแอนโทไซยานินได้มากกว่าที่อัตราส่วนน้ำหนักซังข้าวโพดสีม่วงต่อตัวทาละลายเท่ากับ 1:17 และ 1:20 ตามลาดับ แต่เมื่ออัตราส่วนน้ำหนักซังข้าวโพดสีม่วงต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้นจะพบว่าที่ความเข้มข้นตัวทำละลาย 70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จะสกัดสารแอนโทไซยานินได้ดีกว่าความเข้มข้นของตัวทาละลาย 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สารแอนโทไซยานินที่ถูกสกัดออกมาจากซังข้าวโพดสีม่วงด้วยตัวทำละลายเมทานอลมีความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระได้สูงกว่าสารแอนโทไซยานินที่ถูกสกัดออกมาจากซังข้าวโพดสีม่วงด้วยตัวทำละลายเอทานอล โดยปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดแอนโทไซยานินด้วยเมทานอลและเอทานอลมีค่าการยับยั้งสาร DPPH 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 75.5 และ 101.7 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

นอกจากนี้มีการใช้วิธีคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติและเมทานอลเป็นตัวทำละลายร่วม โดยสภาวะที่ใช้ในการสกัดคือ อัตราส่วนคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติต่อตัวทำละลายร่วมเมทานอลโดยเป็นการสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (พันธุ์ข้าวก่ำ) (วิชิต เด่นดวงดี และวรวรรธน์ สุบรรณทม, 2557)

2) อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลาย

อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีสำคัญในการสกัดเนื่องจากมีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างวัตถุดิบกับตัวทำละลายตลอดจนความเข้มข้นและปริมาณสุดท้ายของสารละลายที่สกัดได้ (ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์, 2547)

3) ชนิดของกรดที่ใช้สกัดหรือค่าความเป็นกรด-ด่าง

ชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัด จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดได้เนื่องจากกรดส่งผลต่อ pH ของตัวทำละลายในการสกัด โดยที่กรดแก่จะมีคุณสมบัติในการย่อยผนังเซลล์สูง และทำให้ pH ของตัวทำละลายต่ำ ประสิทธิภาพการสกัดสูง (ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์, 2547)

4) เวลาที่ใช้ในการสกัด

เวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานินส์ที่ได้ เนื่องจากเวลามีผลต่อการแพร่ (diffuse) ของแอนโธไซยานินออกจากเซลล์เมมเบรนเข้าสู่สารละลาย (ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์, 2547)

เวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้โดยปริมาณสารแอนโทไซยานินจะลดลงเมื่อเวลาสกัดนานขึ้น สภาวะความเป็นกรดและเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อความคงตัวของสารแอนโทไซยานิน โดยสภาวะความเป็นกรดสูง (pH ต่ำ) จะมีปริมาณสาร แอนโธไซยานินมากกว่าที่สภาวะความเป็นกรดต่ำ (pH สูง) และปริมาณสารแอนโทไซยานินจะลดลงเมื่อเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น (รัตนา ม่วงรัตน์ และคณะ, 2557)

5) อุณหภูมิในการสกัด

ดวงกมล ลืมจันทร์ และคณะ (2551) ศึกษาถึงอุณหภูมิและเวลาที่มีผลในการสกัดต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการสกัดมีอิทธิพลต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)โดยเมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง

2.3 หญ้าหวาน

หญ้าหวานเป็นพืชที่ให้ความหวานโดยธรรมชาติหญ้าหวานมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Stevia Rebaudiana* Bertoni หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า Stevia อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) มีสารให้ความหวานที่เรียกว่า สตีวิโอไซด์ มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว โดยเฉลี่ยมีความหวานมากกว่าน้ำตาลทรายประมาณ 200-300 เท่า แต่มีพลังงานต่ำกว่าถึง 300 เท่า มีรสฝาดขม แต่ไม่มีรสชาติหลังการกลืน (after taste) ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง มีความคงตัวสูงต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่ pH 1-10 อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไม่เกิดการสลายตัวของสตีวิโอไซด์ และสามารถใช้ได้ในสภาพที่ร้อนหรือเย็น ตลอดจนอุณหภูมิสูงมากขนาดอุณหภูมิที่ใช้ในการอบขนมเค้ก (200°C) สารหวานที่มีในหญ้าหวานมีปริมาณมากบริเวณใบ แต่ปริมาณไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับฤดูกาล อายุของต้นพืช สายพันธุ์ระยะเวลาในการส่องสว่างของแสงแดดและอุณหภูมิของอากาศ (วทันยา ลิมปพะยอม และคณะ, 2003)

หญ้าหวานเป็นไม้ล้มลุกขนาดเล็กสูงประมาณ 30 - 90 เซนติเมตร ใบเดี่ยว รูปใบหอกกลับ ขอบใบหยัก มีดอกช่อสีขาว ลักษณะคล้ายต้นโหระพา ชอบอากาศค่อนข้างเย็นอุณหภูมิประมาณ 20 - 26 องศาเซลเซียส และขึ้นได้ดีเมื่อปลูกในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 600 - 700 เมตร มีการนำมาปลูกในประเทศไทยตั้ง แต่ปี พ.ศ. 2518 โดยพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมคือทางภาคเหนือ ใบหญ้าหวานแห้ง สกัดด้วยน้ำได้สารหวานประมาณร้อยละหนึ่ง ซึ่งสารหวานเหล่านี้มีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย 150 - 300 เท่า มีความคงตัวสูงทั้ง ในตัวทำละลาย กรดอ่อน เบสอ่อน และทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส จึงไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนสภาพจากความร้อนในการปรุงอาหาร ใช้ในปริมาณน้อย ไม่มีพิษและปลอดภัยในการบริโภคในปี 2558

สมุนไพรหญ้าหวานนำมาสกัดด้วยน้ำได้สารหวานประมาณร้อยละหนึ่ง ซึ่งสารหวานเหล่านี้มีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย 150 - 300 เท่า มีความคงตัวสูงทั้ง ในตัวทำละลาย กรดอ่อน เบสอ่อน และทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส จึงไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนสภาพจากความร้อนในการปรุงอาหารใช้ในปริมาณน้อย ไม่มีพิษและปลอดภัยในการบริโภค มีการอนุญาตให้ใช้สารสกัดจากหญ้าหวานเป็นสารทดแทนน้ำตาลในประเทศต่างๆไม่น้อยกว่า 30 ประเทศ เช่น ญี่ปุ่น จีน เกาหลี แคนนาดา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศในยุโรปอนุญาตให้มีการใช้สารหวานจากหญ้าหวานเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่ม ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2551 และ พ.ศ. 2554 ตามลำดับ ประเทศไทย โดยกระทรวงสาธารณสุข ประกาศอนุญาตให้มีการผลิต และจำหน่ายหญ้าหวานในประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2545 (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 262) พ.ศ. 2545 เรื่อง สตีวิโอไซด์และอาหารที่มีส่วนผสมของสตีวิโอไซด์) และประกาศให้สารสกัดสตีวิออลไกลโคไซด์เป็นวัตถุเจือปนอาหารตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 360) พ.ศ. 2556 เรื่อง สตีวิออลไกลโคไซด์) โดยอ้างอิงข้อมูลของคณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญว่าด้วยวัตถุเจือปนอาหารขององค์การอาหารและเกษตรและองค์การอนามัยโลก แห่งสหประชาชาติ (The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA) ซึ่งได้ประเมินและกำหนดค่าความปลอดภัย (Acceptable Daily Intake, ADI) แล้ว (พิสมัย กุลกาญจนาธร, มปป.)

2.3 ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharide; FOS)

ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharide; FOS) จัดเป็นอนุพันธ์ของสารอินนูลิน ที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วยฟรุกโตส (fructose) มาเชื่อมต่อกันด้วย

พันธะบีต้า-2, 1 (β-2, 1) glycosidic เป็นฟรุกแตนที่มีค่า DP (degree of polymerization) ประมาณตั้งแต่ 3 ไปจนถึง 10 โดยที่มีหน่วยโมเลกุลของกลูโคส (glucose) มาต่อท้าย สำหรับฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์เริ่มเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในประเทศไทยช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาในกลุ่มของอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม รวมทั้งอาหารควบคุมน้ำหนัก และกลุ่มเครื่องดื่มประเภทฟังก์ชั่นนอลดริ้ง (functional drink) เช่น เครื่องดื่มผสมใยอาหาร กาแฟควบคุมน้ำหนัก เป็นต้น เนื่องจากเป็นสารที่ให้พลังงานต่ำ ช่วยในการขับถ่าย ควบคุมน้ำหนักได้ดีและสามารถป้องกันโรคต่างๆได้ (เอกภพ สินงาม, 2555)

Fructooligosaccharide (FOS) หรือ oligofructose จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดโมเลกุลขนาดกลาง โดยถ้าจัดแบ่งคาร์โบไฮเดรตตามขนาดของโมเลกุล สามารถจัดแบ่งได้หลายชนิด เช่น ชนิดที่เป็นสายสั้น ๆ มีขนาด 1 - 2 โมเลกุล เรียกว่า monosaccharide (1 โมเลกุล) และ disaccharide (2 โมเลกุล) สารเหล่านี้มีความหวานสูง ได้แก่ น้ำตาลอ้อยหรือน้ำตาลผลไม้ ชนิดที่ขนาดโมเลกุลใหญ่เรียกว่า polysaccharide ซึ่งเป็นอาหารกลุ่มแป้ง มีรสชาติจืดไม่หวาน ส่วนสาร FOS เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดโมเลกุลกลางหรือที่เรียกว่า oligosaccharides (3 - 9 โมเลกุล) ซึ่งขนาดอยู่ระหว่างน้ำตาลและแป้ง ดังนั้นจึงมีรสชาติออกหวานเล็กน้อย ไม่จืดสนิทและไม่หวานจัด FOS เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี แต่ไม่หนืด มีกลิ่นรสหอมหวาน เป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ (1 - 1.5 กิโลแคลอรีต่อกรัม) โดยมีความหวานประมาณ 30% ของน้ำตาลทราย พบ FOS ได้ในอาหารประเภทข้าวสาลี ข้าวไรย์ หัวหอม หน่อไม้ฝรั่ง อาร์ติโช้ค หัวชิคอรี ลูกแก้วมังกร แก่นตะวัน กล้วย ถั่วเหลือง กระเทียม ต้นหอม ต้นกระเทียม มะเขือเทศ และพืชประเภทพืชหัว (วรรณคล เชื้อมงคล, 2555)

2.4 เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation technology)

เทคโนโลยีเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation technology) เป็นกระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มอยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูล ซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน ชั้นพอลิเมอร์บางๆ นี้เองที่จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาเมื่อเราต้องการ โดยทำให้เกิดฟิล์มบางๆ รอบอนุภาค หรือทำให้เกิดเป็นอิมัลชันและทำให้แห้ง ซึ่งสารสำคัญที่ต้องป้องกันในไมโครแคปซูลจะถูกเรียกว่า คอร์ (core) และผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญจะถูกเรียกว่าวอลล์ (wall) ลักษณะของวอลล์ (wall) ที่ดีควรจะต้องมี

ความสามารถแผ่เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ได้ มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงเพียงพอ มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชัน มีความสามารถในการยึดติดกับคอร์ (core) ได้ดี โดยไม่ทำปฏิกิริยากัน มีความหนืดต่ำ เมื่ออยู่ในสถานะของแข็งต้องไม่ชื้นง่าย นอกจากนี้ยังต้องมีความคงตัวสูง เพื่อจะป้องกันคอร์ (core) จากสภาพแวดล้อมต่างๆ และปลดปล่อยคอร์ (core) ได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน จะเห็นได้ว่าวอลล์ (wall) เป็นตัวการที่สำคัญของเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน ดังนั้นการเลือกใช้สารที่จะนำมาทำเป็นวอลล์ (wall) จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมทั้งต่อสารสำคัญ และต่อสภาวะที่ต้องการใช้ ในบางครั้งอาจจะต้องทำวอลล์ (wall) 2 ชั้น ชั้นในเพื่อปกป้องคอร์ (core) และชั้นนอกเพื่อวัตถุประสงค์ของการใช้งาน สารที่สามารถนำมาทำเป็นวอลล์ (wall) ได้มีมากมายหลายชนิด ที่นิยมใช้และมีราคาไม่แพงคือ สารในกลุ่มของแป้ง เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) (อรุษา และธีรารัตน์, 2554)

มอลโตเด็กซ์ตริน เป็นคาร์โบไฮเดรตโพลิเมอร์ที่ผลิตได้จากแป้ง มีกลูโคสโมโนเมอร์อยู่ 5-10 หน่วยต่อโมเลกุล ขึ้นอยู่กับค่า DE (dextrose equivalent) ซึ่งมอลโตเด็กซ์ตรินจะมีค่า DE น้อยกว่า 20 น้ำหนักโมเลกุลของมอลโตเด็กซ์ตรินจะลดลงเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้น เช่น น้ำหนักโมเลกุลของมอลโตเด็กซ์ตริน DE5 DE10 DE15 มีค่า 3600 1800 และ 1200 ตามลำดับ คุณสมบัติโดยทั่วไปของมอลโตเด็กซ์ตรินคือ สะลายน้ำได้ดี และมีคุณสมบัติในการป้องกันคอร์ (core) จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Shahidi and Han, 1993) มีคุณสมบัติเด่นในด้านการให้ความหนืดต่ำเมื่อใช้ที่ปริมาณของแข็งสูงๆ ซึ่งเหมาะกับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และยังมีน้ำหนักโมเลกุลที่หลากหลาย ทำให้ได้ชั้นของวอลล์แตกต่างไปตามต้องการ(อรุษา และธีรารัตน์, 2554)

อรุษา และธีรารัตน์ (2554) ศึกษาผลของกระบวนการระเหยและกรดแอสคอร์บิกต่อปริมาณแอนโทไซยานิน ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด และศึกษาผลของ maltodextrin (DE10 และ DE18) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินของผงสีจากเปลือกมังคุดที่ผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า กรดแอสคอร์บิคมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดจากเปลือกมังคุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการระเหยในสภาวะสุญญากาศหรือการใส่กรดแอสคอร์บิคสามารถรักษาแอนโทไซยานินได้มากกว่าการระเหยในสภาวะความดันอากาศปกติ สารสกัดที่ได้จากการระเหยด้วยเครื่อง Rotary evaporator ร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิค 0.1% มีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากที่สุด คือ 11.61± 0.60 mg/100 ml เมื่อนำสารสกัดผสมกับ maltodextrin (DE10 และ DE18) และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบ

สุญญากาศและเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า maltodextrin มีผลต่อการรักษาแอนโทไซยานินในระหว่างการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย ผงสีจากสารสกัดที่ผสม maltodextrin และผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศสามารถรักษาปริมาณแอนโทไซยานินได้ถึง 65-82% ในขณะที่ผงสีจากสารสกัดที่ผสม maltodextrin และผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถรักษาปริมาณแอนโทไซยานินได้เพียง 19-31 % หลังจากนั้นนำผงสีไปละลายน้ำและผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 120 นาที พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลามีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และ ผงสีที่เติม maltodextrin มีค่าครึ่งชีวิตของปรมาณแอนโทไซยานินสูงกว่า 102 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 42 นาที ที่ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรเซชัน

บุญชัย (2552) ศึกษาการผลิตเอนแคปซูเลทของกรดซิตริกโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผง เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องปรุงรสผงมักพบปัญหาสีของผลิตภัณฑ์ซีดจางลงทำให้อายุการเก็บสั้น กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูเลทผลิตจากสารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตรินและแป้งข้าวโพดดัดแปร โดยกำหนดความเข้มข้นของกรดซิตริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่าเอ็นแคปซูเลทที่ผลิตจากมอลโตเด็กซ์ตรินมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มกรดซิตริกสูงโดยมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มร้อยละ 58.95, 88.30, 92.02, 91.01 และ 89.65 ตามลำดับ ส่วนเอ็นแคปซูเลทที่ผลิตจากแป้งข้าวโพดดัดแปรมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มร้อยละ 37.29, 53.55, 70.17, 46.64 และ 48.30 ตามลำดับ ดังนั้นเอ็นแคปซูเลทของกรดซิตริกที่ผลิตจากมอลโตเด็กซ์ตรินที่ระดับความเข้มข้นของแข็งร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณภาพปริมาณความชื้นร้อยละ 1.76 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.087 และปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 7.64 จากการสังเกตลักษณะของกรดซิตริกที่ถูกเอนแคปซูเลทภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอนุภาคมีลักษณะกลม พื้นผิวภายนอกเรียบและบางอนุภาคมีการหดตัว กรดซิตริกที่ถูกเอ็นแคปซูเลทถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องปรุงรสผงซึ่งประกอบด้วยกรดซิตริกร้อยละ 2 พริกผงปาปริการ้อยละ 2 สารสกัดสีปาปริการ้อยละ 0.2 พริกชี้ฟ้าเกล็ดร้อยละ 1.3 น้ำตาลทรายร้อยละ 40 เกลือร้อยละ 12 แป้งดัดแปรร้อยละ 5.5 กลิ่นมะนาวร้อยละ 1 และเครื่องเทศอื่นๆ ร้อยละ 11 จากนั้นนำเครื่องปรุงรสผงบรรจุในถุงพลาสติก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 เดือน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าสีที่พื้นผิว (L*, a*, b* และ hue angle) ทุกๆ เดือน ผลทดลองพบว่าค่า L* และ hue angle เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า

a*, b* และ a*/b* ลดลง ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า hue angle และ a*/b* ในเครื่องปรุงรสผงที่มีส่วนประกอบของกรดซิตริกที่ถูกเอนแคปซูเลท และกรดซิตริกที่ไม่ถูกเอนแคปซูเลท มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส โดยที่ค่า hue angle ของชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 47.13 เป็น 76.02 ส่วนชุดทดลองมีค่า hue angle เพิ่มขึ้นจาก 48.94 เป็น 73.37 ดังนั้นสีของเครื่องปรุงรสผงมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีเหลืองเมื่ออายุการเก็บมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าสีชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุม สรุปได้ว่าเอนแคปซูเลทของกรดซิตริกสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรสผงที่มีส่วนผสมของพริกปาปริกาและพริกชี้ฟ้าเกล็ดในระหว่างการเก็บรักษาได้

2.5 กระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการผลิตเอนแคปซูเลชันโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การทำอิมัลชันระหว่างสารละลายของสารวอลล์ (wall) กับสารคอร์ (core) และการนำอิมัลชันเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง โดยเริ่มต้นที่การเลือกสารที่ใช้เคลือบอย่างเหมาะสม ได้แก่ ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้จะถูกเตรียมเป็นสารละลาย สารคอร์ (core) จะถูกทำการกระจายตัวเตรียมเป็นอิมัลชัน และส่วนผสมทั้งหมดจะถูกผสมกันภายใต้แรงอัดที่สูง แล้วจึงนำไปผ่านเครื่องโฮโมจีไนซ์เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นอิมัลชัน หลังจากนั้นละอองจะผ่านอากาศร้อนในถังเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อทำให้อยู่ในรูปของแข็ง (บุญชัย, 2552) ในขณะที่การต้มซังข้าวโพดม่วงหวานมาสกัดให้ได้สารสีแอนโทไซยานินที่ถูกเอนแคปซูเลทนั้น สามารถละลายส่วนผสมของสารวอลล์ (wall) และสารคอร์ (core) ให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยไม่ต้องผ่านการทำโฮโมจีไนซ์

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้กับอาหาร ซึ่งอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาจอยู่ในรูปของผสมระหว่างของแข็งและของเหลว (slurry) หรือของเหลวกับของเหลว (emulsion) หลักการทำแห้งคือการทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ (droplet) แล้วผ่านไปในห้องทำแห้ง (chamber) ซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่าน เนื่องจากละอองมีขนาดเล็กมากประมาณ 100-200 µm การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นผิวของละอองอย่างรวดเร็ว ใช้เวลาทำแห้งสั้นๆ ประมาณ 1-10 วินาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากทำแห้งจะอยู่ในสภาพผงแห้ง ซึ่งคุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถ

ควบคุมและปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ เช่น ปริมาณความชื้น รูปร่างและขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นโดยรวมเป็นต้น การทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้จะได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มี่ดีหรือไม่ดีขึ้นกับประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ และขึ้นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของการสัมผัสระหว่าละอองของเหลวกับอากาศร้อน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เลือกใช้ในการทำแห้ง (วรเดช, 2545; บุญชัย, 2552)

อลิษา และจินตนา (2556) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารเอนแคปซูเลติ้งโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อสมบัติทางกายภาพของผงมะเม่า โดยใช้สารเคลือบหุ้ม 3 ชนิด คือ มอลโตเด็กซ์ตริน กัมอาราบิก และสารผสมมอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอาราบิก ผลจากการศึกษาพบว่า ชนิดและความเข้มข้นของสารเอนแคปซูเลติ้งมีผลต่อปริมาณความชื้น การดูดความชื้น การละลาย และค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่า ปริมาณความชื้นและการดูดความชื้นในผงมะเม่ามีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารเอนแคปซูเลติ้งเพิ่มขึ้น และความเป็นสีแดงของผงมะเม่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเอนแคปซูเลติ้งลดลง

รัชฎาภรณ์ (2555) ศึกษาการเอนแคปซูเลชั่นสารปรุงแต่งกลิ่นรสช็อคโกแลตจากโปรตีนไฮโดรไลเซทกากงา โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย ใช้มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นสารเคลือบ แปรปริมาณกลิ่นรสช็อคโกแลตร้อยละ 20, 25 และ 30 (โดยน้ำหนัก) และแปรอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าเครื่องทาแห้งแบบพ่นฝอย เท่ากับ 120, 140 และ 160ºC พบว่าปริมาณกลิ่นรสช็อคโกแลตร้อยละ 30 อุณหภูมิขาเข้า 140ºC เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยมีคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นรสโดยรวมดีที่สุดเท่ากับ 6.83 และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดผงที่ได้จากการส่องกล้องอิเลกตรอนแบบส่องกราด (SEM) มีการกระจายตัวมาก ลักษณะกลม ผิวเรียบแต่มีรูปร่างแบบเหี่ยวย่นขนาด 1-10 μm มีค่าการละลายในน้ำเท่ากับร้อยละ 93 พบองค์ประกอบหลักของสารระเหยได้ 7 ชนิด คือ nonanal, 2-ethyl-1-hexanol, menthol, (E)-geranyl acetone, 1-dodecanol, 1-hexadecanol และ 2-ethylhexyl-p-methoxycinnamate และผง processed flavor มีกลิ่นหอมหวาน กลิ่นอัลมอนด์ และมีกลิ่นคล้ายช็อคโกแลต เมื่อเก็บรักษาผง processed flavor ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่ 25ºC สามารถเก็บได้นานกว่า 21 วัน โดย flavor profile ไม่เปลี่ยนแปลง

2.6 การใช้ประโยชน์จากซังข้าวโพด

ศุกฤชชญา และคณะ (2557) กล่าวว่า ซังข้าวโพดสีม่วงเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแต่ยังมีสารพฤกษเคมีในกลุ่มแอนโธไซยานินที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ มะเม่าและฟักข้าวเป็นพืชพื้นบ้านที่มีศักยภาพสูงที่จะพัฒนาเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ จึงได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ซังข้าวโพดม่วง ในรูปของน้ำผลไม้พร้อมดื่มเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของน้ำเม่า และฟักข้าว ซึ่งประกอบด้วยน้ำมะเม่าร้อยละ 20-35 น้ำต้มซังข้าวโพดม่วงร้อยละ 60-75 และฟักข้าวร้อยละ 5-20 วางแผนการทดลองแบบ Mixture design ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 15 °Brix และปรับปริมาณกรดทั้งหมดเป็นร้อยละ 0.45 การใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที สามารถสกัดซังข้าวโพดได้ พบว่าตำรับเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากเม่า ฟักข้าว และน้ำต้มซังข้าวโพดม่วงที่พัฒนาได้มีส่วนผสมของน้ำเม่าดำต่อแดง (3:1) ร้อยละ 7.51 น้ำต้มซังข้าวโพดร้อยละ 19.51 ฟักข้าวร้อยละ 3.00 น้ำตาลร้อยละ 13.42 กรดซิตริกร้อยละ 0.42 และน้ำสะอาด ร้อยละ 56.14

น้ำค้าง และสุจิตรา (2550) ศึกษาการสกัดสารแอนโธไซยานินจากซังข้าวโพดไร่สีม่วงด้วย 95% เอทานอล : น้ำ ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นความดันต่ำ ได้สารสกัดสีแดงเลือดนก เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องอัลตร้าไวโอเลตสเปกโตรสโกปีโดยค่าการดูดกลืนแสง 520-550 nm จากการทดสอบความคงทนของสารละลายสี 3 วิธี คือทอสอบความคงทนต่อแสงโดยหุ้มฟอยด์กับไม่หุ้มฟอยด์ ในสารละลายสีพบว่า สารละลายสีที่หุ้มอะลูมิเนียมฟอยด์มีความเข้มสีกว่าสารที่ไม่ได้หุ้ม ทดสอบความคงทนต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 และ 11 พบว่าสารละลายสีที่ค่า pH 2 และ 3 ได้สีแดงสด ให้สีคงทนมากกว่า 4 สัปดาห์ ส่วนค่า pH อื่น สารละลายสีคงทนได้นาน 3-5 วัน สำหรับการทดสอบความคงทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 และ 120 องศาเซลเซียส ได้สารละลายสีแดงเลือดนก พบว่าสารละลายสีที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะมีตะกอนสีดำในสารละลายสี เมื่อนำสารละลายสีมาผสมในอาหารหวาน 5 อย่าง คือขนมบัวลอย ลูกชุบ ขนมชั้น ขนมวุ้น และมะพร้าวแก้ว พบว่า ขนมบัวลอยได้สีม่วงแดงคงทน 1 วัน ขนมลูกชุบได้สีม่วงอ่อนคงทน 1 วัน ขนมชั้นได้สีม่วงชมพูคงทน 1 วัน ขนมวุ้นได้สีแดงเลือดนกคงทนเกิน 3 วัน และมะพร้าวแก้วได้สีม่วงชมพูคงทนเกิน 3 สัปดาห์ และการเก็บอาหารที่ผสมสารละลายที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็นไม่มีผลต่อความคงทนของสี

น้ำค้าง และคณะ (2550) ศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโธไซยานินจากซังข้าวโพดสีม่วง ผลการศึกษาพบว่าสารละลายเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถสกัดแยกออกมาได้ถึง 8.00 กรัม ในซังข้าวโพด 200 กรัม จากนั้นนำไปแยกโดยวิธีคอลัมโครมา

โตรกราฟีได้สารจำนวน 5.40 กรัม ซึ่งเป็นสารที่มีปริมาณในการสกัดแยกออกมามากที่สุดเมื่อเทียบกับสารที่สกัดจากตัวทำละลายชนิดอื่น เมื่อนำสารที่แยกได้ไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่สูงสุดของสารที่สกัดจากตัวทำละลายต่างๆ กัน อยู่ในช่วงระหว่าง 520 nm ซึ่งใกล้เคียงกับค่าการดูดกลืนแสงของสารแอนโทไซยานิน

น้ำค้าง และคณะ (2551) สกัดหยาบสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดไร่สีม่วงด้วย 95% เอทานอล : น้ำ ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นความดันต่ำ ได้สารสกัดหยาบสีแดงเลือดนก แล้วนำไปแยกออกอีกครั้งด้วยอัลตร้าไวโอเลตสเปกโตรสโกปี ได้ค่าการดูดกลืนแสง 520-550 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารแอนโธไซยานิน เมื่อนำไปทำให้แห้ง (freeze dryer) ได้สารผงสีแดงเลือดนก นำมาผสมกับถั่วลิสงบดได้สารผสมแห้งสีม่วงเข้ม ผสมกับข้าวโพดบดได้สารผงแห้งสีน้ำตาลเข้ม หลังจากนั้นตั้งวัตถุดิบทั้งสองที่ผสมกับสารสกัดหยาบแอนโธไซยานินไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาหกเดือน พบว่าลักษณะของวัตถุดิบทั้งสองไม่เปลี่ยนแปลง คือถั่วลิสงบดยังคงได้ผงแห้งสีม่วงเข้ม ส่วนข้าวโพดบดได้สารผงแห้งสีน้ำตาลเข้มเหมือนเดิม และเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง HPLC ไม่พบการเกิดสารอะฟลาทอกซินทั้ง 4 ชนิด คือ B1 B2 G1 และ G2 เมื่อนำวัตถุดิบทั้งสองดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับส่วนวัตถุดิบที่ไม่ได้ผสมสารสกัดหยาบแอนโธไซยานินคือถั่วลิสงบด ลักษณะเบื้องต้นเป็นผงเปียกชื้นเล็กน้อยสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อตั้งทิ้งไว้หกเดือนที่อุณหภูมิห้อง วัตถุดิบมีลักษณะเปลี่ยนไปคือมีลักษณะเป็นก้อนเล็กเกาะตกกันเปียกชื้นมากขึ้นสีน้ำตาลอ่อน ส่วนข้าวโพดบดที่ไม่ผสมสารสกัดหยาบแอนโธไซยานิน ลักษณะเริ่มต้นเป็นสารผงแห้งสีเหลืองอ่อน เมื่อตั้งทิ้งไว้หกเดือนลักษณะของข้าวโพดดังกล่าวเปลี่ยนเป็นสารผงเปียกชื้นเล็กน้อยสีเหลืองอ่อน เมื่อนำวัตถุดิบทั้งสองที่ไม่ได้ผสมสารสกัดหยาบแอนโธไซยานินมาวิเคราะห์หาปริมาณสาร อะฟลาทอกซินด้วยเทคนิค HPLC ไม่พบสารอะฟลาทอกซินทั้ง 4 ชนิด คือ B1 B2 G1 และ G2 ดังนั้นวัตถุดิบทั้ง 4 ตัวอย่างไม่พบปริมาณสารอะฟลาทอกซินทั้ง 4 ชนิด หลังตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน วัตถุดิบที่ไม่ผสมกับสารสกัดหยาบแอนโธไซยานิน โดยการสังเกตเห็นลักษณะวัตถุดิบดังกล่าวเปียกชื้นมากขึ้น จึงทำให้มีโอกาสที่จะเกิดสารอะฟลาทอกซินสูงกว่า เพราะราที่สร้างสารอะฟลาทอกซินเกิดได้ดีในวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงกว่าโดยเฉพาะถั่วลิสง ในเดือนที่ 9 ถั่วลิสงที่ไม่ได้ผสมกับสารสกัดหยาบแอนโธไซยานินตรวจพบสารอะฟลาทอกซินชนิดบี

พรรณระพี และคมสัน (2548) การใช้ซังข้าวโพดไร่สีม่วงบดละเอียดระดับ 0.25 และ 0.50 เปอร์เซนต์ผสมในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นระยะไข่เปรียบเทียบกับการใช้เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง เมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์สีเหลือง และปลายข้าวในสูตรอาหาร ผลปรากฏว่าซังข้าวโพดไร่สีม่วงไม่

สามารถใช้เป็นแหล่งสารสีในไข่ของนกกระทาญี่ปุ่นได้โดยมีค่าสีไข่แดงต่ำกว่านกกระทาที่ใช้เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงและเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ซึ่งสีไข่แดงของนกกระทาที่ได้รับซังข้าวโพดไร่สีม่วงบดละเอียดทั้งสองระดับ มีค่าใกล้เคียงกับนกกระทาที่ได้รับปลายข้าวในสูตรอาหาร ส่วนสมรรถภาพการผลิตได้แก่ ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 100 ฟอง ต้นทุนอาหารการผลิตไข่ 100 ฟอง น้ำหนักไข่ ความหนาเปลือกไข่ และความสูงไข่ขาวของนกกระทาที่ได้อาหารทดลองทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)