แต่เมล็ดสีดำเป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุด และขายได้ราคาดี ซึ่งถั่วพุ่มมีความสำคัญในระดับท้องถิ่นเพื่อการบริโภคภายในประเทศ และในครัวเรือนเท่านั้น มิใช้พืชเศรษฐกิจ สำหรับประเทศไทยพันธุ์ถั่วพุ่มที่ใช้ปลูกยังใช้พันธุ์พื้นเมือง (กลุ่มพืชน้ำมัน, 2539)

2. <u>ลักษณะทางพฤษศาสตร์</u>

ลำต้น ถั่วพุ่มมีลำต้นเป็นพุ่มตรง กิ่งเป็นพุ่มตรงและลักษณะเลื้อย มีระบบรากที่แข็งแรงและแพร่กระจายบริเวณผิวดิน มีปมรากขนาดใหญ่

ใบ ใบถั่วพุ่มเป็นใบรวม มีใบย่อย 3 ใบ ก้านใบแข็งแรง ยาว 5 – 15 เซนติเมตร มีใบมากเรียบ ไม่มีขน

ดอกและช่อ ดอกถั่วพุ่มจะมีสีขาวหรือสีขาวอมม่วง มีช่อดอกแบบ Raceme ส่วนใหญ่จะมีก้านดอกยาว 15 – 20 เซนติเมตร และมีดอกแบบ Multiple raceme และแต่ละช่อจะมีดอก 2 – 4 ดอก ลักษณะก้านดอกยาวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของถั่วพุ่ม การที่มีช่อดอกยื่นขึ้นเหนือใบประกอบกับมีต่อมน้ำหวานที่ดอก ทำให้เป็นที่ดึงดูดแมลงเพื่อช่วยในการผสมเกสร

ฝัก มีลักษณะเรียบ ยาว 15 – 25 เซนติเมตร มีรูปทรงกระบอกและงอกเล็กน้อยแต่ละช่อมี 2 – 4 ฝัก ฝักมีสีเหลืองแห้ง แต่บางพันธุ์อาจมีสีน้ำตาลหรือม่วง แต่ละฝักมีเมล็ด 8 – 20 เมล็ด

เมล็ด มีลักษณะคล้ายรูปไต รูปร่างค่อนข้างสั้นเมื่อเทียบกับความกว้างของเมล็ด สีของเมล็ดแตกต่างกันไป ตั้งแต่สีน้ำตาล เหลือง เทา ขาว น้ำตาลแดงเข้ม ม่วง ดำ เป็นจุดเล็ก ๆ หรือลายคล้ายหินอ่อน มีตาสีขาว เมล็ดพันธุ์ถั่วพุ่มสามารถเก็บได้นาน (กลุ่มพืชน้ำมัน, 2539)

3. <u>พันธุ์ถั่วพุ่ม</u>

3.1 ถั่วพุ่มแดง (Red cowped 6-1 US) เป็นพันธุ์ที่นำเข้าจากอเมริกา ลักษณะทั่วไป ลำต้นเป็นทรงพุ่ม สูงประมาณ 30 เซนติเมตร ดอกสีม่วงออกดอกประมาณ 37 วัน และพร้อมจะเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 65 วัน ฝักโตเต็มที่ประมาณ 12 เซนติเมตร เมล็ดสีแดง แต่ละฝักมีเมล็ดประมาณ 12

เมล็ด จำนวนฝักต่อต้นประมาณ 20 ฝัก น้ำหนักต่อเมล็ด 100 เมล็ด ประมาณ 12 กรัม เก็บเกี่ยวได้ไม่เกิน 2 ครั้ง ผลผลิตประมาณ 120 กิโลกรัมต่อไร่

3.2 พันธุ์ ER – 7 เป็นพันธุ์ที่มาจากไนจีเรีย ลักษณะโดยทั่วไป ลำต้นเป็นทรงพุ่มสูงประมาณ 48 เซนติเมตร ดอกสีขาวนวลอายุออกดอกประมาณ 38 วัน พร้อมจะเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 65 วัน ฝักสีขาวโตเต็มที่ประมาณ 11.5 เซนติเมตร เมล็ดสีขาวมีประมาณ 22 ฝักต่อต้น แต่ละฝักมีเมล็ดประมาณ 12 เมล็ด น้ำหนักต่อ 100 เมล็ดประมาณ 10 กรัม เก็บเกี่ยวได้ไม่เกิน 2 ครั้ง ผลผลิตประมาณ 110 กิโลกรัมต่อไร่

3.3 พันธุ์ Vita – 1 เป็นพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกมาจากประเทศไนจีเรีย ลักษณะทั่วไปลำต้นเลื้อย ดอกสีเหลืองอมม่วง ออกดอกประมาณ 49 วัน ฝักสีเขียวยาวประมาณ 16 เซนติเมตร สีแดงมีประมาณ 16 เมล็ด/ฝัก น้ำหนัก 100 เมล็ดประมาณ 17 กรัม เก็บเกี่ยวได้ไม่น้อยกว่า 2 ครั้งผลผลิตต่อไร่ประมาณ 200 กรัม ใช้ทำปุ๋ยพืชสดได้ดี

3.4 พันธุ์ Vita – 3 เป็นพันธุ์มาจากประเทศไนจีเรีย ลักษณะทั่วไปลำต้นเลื้อย ถ้าปลูกในฤดูฝน แต่จะไม่เลื้อยถ้าปลูกในฤดูแล้ง ดอกสีเหลืองจะออกดอกประมาณร้อยละ 50 ประมาณ 49 วัน ฝักสีเขียวอ่อนยาวประมาณ 19 เซนติเมตร แต่ละฝักมีเมล็ดประมาณ 16 เมล็ด เมล็ดสีแดง น้ำหนักต่อ 100 เมล็ด หนัก 17 กรัม ฝักสดใช้รับประทานได้ เป็นพันธุ์ที่ทนแล้งมาก ถ้าหากดินมีความชื้นก็จะออกดอกและให้ฝักตลอดเวลา นอกจากนี้ยังต้านทานโรคไวรัสได้ดี ใช้ทำปุ๋ยพืชสดได้ดี ให้ผลผลิตประมาณ 200 กิโลกรัมต่อไร่

3.5 พันธุ์ TV x 3516 – 09 F เป็นพันธุ์มาจากประเทศไนจีเรีย ลักษณะทั่ว ๆ ไปลำต้นเลื้อย ดอกสีขาวอมเหลืองจะออกดอกประมาณร้อยละ 50 ประมาณ 42 วัน ฝักสีเขียวยาวประมาณ 14 เซนติเมตร แต่ละฝักมีเมล็ดประมาณ 12 เมล็ด เมล็ดสีขาวนวล น้ำหนักต่อ 100 เมล็ด หนัก 18 กรัม เป็นพันธุ์ที่เจริญรวดเร็วมาก เหมาะที่จะปลูกทำปุ๋ยพืชสด (กลุ่มพืชน้ำมัน, 2539)

4. <u>การปรับปรุงพันธุ์ถั่วพุ่ม</u>

งานวิจัยถั่วพุ่มในประเทศไทยยังไม่กว้างขวางเท่าที่ควรทั้ง ๆ ที่มีการปลูกถั่วพุ่มมานานแล้ว เพราะถั่วพุ่มเป็นพืชตระกูลถั่วที่ใช้บริโภคในท้องถิ่นมากกว่าการส่งออก ระดับความสำคัญจึง

น้อยกว่าพืชตระกูลถั่วชนิดอื่น ได้เริ่มมีการศึกษาเมื่อประมาณยี่สิบปีมานี้ โดยได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานต่างประเทศ เช่น IITA (International Institute of Tropical Agriculture) ที่ชิบาแดน ประเทศไนจีเรีย เป็นศูนย์รวมและทดสอบถั่วพุ่มต่าง ๆ จากทั่วโลก IRRI (International Rice Research Institute) FAO (Food and Agriculture Organization) ในการแลกซื้อเชื้อพันธุกรรม (germplasm)และข้อมูลงานวิจัยต่าง ๆ หน่วยงานวิจัยถั่วพุ่มในประเทศ ได้แก่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และกรมวิชาการเกษตร โดยศูนย์วิจัยพืชอุบลราชธานี ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบงานวิจัยถั่วพุ่ม (ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี, 2546)

ในปี 2546 ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี ได้แนะพันธุ์ถั่วพุ่มใช้เมล็ด คือ

พันธุ์อุบลราชธานี (สายพันธุ์ CP4-2-3-1) เป็นถั่วพุ่มที่มีเมล็ดสีดำ ทรงพุ่มกึ่งเลื้อย ดอกสีม่วงเข้ม อายุออกดอกร้อยละ 50 ประมาณ 35-38 วัน ฝักสดสีเขียวความยาวฝักประมาณ 15-20 เซนติเมตร เมื่อฝักแห้งเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว เก็บเกี่ยวได้ 2-3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความชื้น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปริมาณปุ๋ยที่ใส่ อายุการเก็บเกี่ยวครั้งแรกประมาณ 65-70 วัน เป็นพันธุ์ที่ให้มวลชีวภาพสูง ใช้เป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อบำรุงดินได้ดี ในขณะเดียวกันก็สามารถเก็บเกี่ยวเมล็ด 1-2 ครั้ง ก่อนไถกลบต้นได้ด้วย โดยเมล็ดมีสีดำสนิท น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด ประมาณ 14.5-15.0 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 150-180 กก./ไร่

พันธุ์ IT82E-9 เป็นถั่วพุ่มใช้เมล็ดสีดำ มีลักษณะทรงต้นแบบทรงพุ่ม ทรงพุ่มสูงประมาณ 25-30 เซนติเมตร ดอกสีม่วงเข้ม อายุดอกบานร้อยละ 50 ประมาณ 33-37 วัน ฝักสดสีเขียวเข้ม เมื่อฝักแห้งจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้มหรือม่วงดำ ความยาวฝักประมาณ 15-20 เซนติเมตร ก้านชูช่อดอกค่อนข้างยาว ทำให้ดอกและฝักชูขึ้นเหนือทรงพุ่ม อายุการเก็บเกี่ยวครั้งแรกประมาณ 65-75 วัน เมล็ดสีดำสนิท น้ำหนัก 100 เมล็ด 13.5-15.0 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 150-180 กก./ไร่

จากรายงานของ ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี (2546) ได้กล่าวว่า มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่ได้ทำงานวิจัยด้านปรับปรุงพันธ์ถั่วพุ่ม ซึ่งสรุปผลงานวิจัยที่สำคัญได้ดังนี้

พันธุ์ KKU305 เป็นถั่วพุ่มเมล็ดสีดำ ที่มีขนาดเมล็ดค่อนข้างโตและทนแล้ง มีลักษณะทรงต้นแบบทรงพุ่ม ทรงพุ่มสูงประมาณ 56 เซนติเมตร ดอกสีม่วง อายุดอกบานร้อยละ 50 ประมาณ 33 – 37 วัน ฝักสดสีเขียว มีจงอยฝักเป็นสีม่วง ฝักดก เมื่อฝักแห้งจะเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว ความยาวฝัก

ประมาณ 15 – 20 เซนติเมตร มีจำนวน 10 – 20 เมล็ด/ฝัก ก้านชูช่อดอกค่อนข้างยาว ทำให้ดอกและฝักชูขึ้นเหนือทรงพุ่ม เก็บเกี่ยวได้ 2 – 3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความชื้น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปริมาณปุ๋ยที่ใส่ อายุการเก็บเกี่ยวครั้งแรกประมาณ 65 – 72 วัน น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 17.7 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 180 – 200 กิโลกรัมต่อไร่ และร้อยละการกะเทาะร้อยละ 78

พันธุ์ KKU264 R เป็นถั่วพุ่มเมล็ดสีแดง ที่มีขนาดเมล็ดโตและทนแล้ง มีลักษณะทรงต้นแบบทรงพุ่ม ทรงพุ่มสูงประมาณ 54 เซนติเมตร ดอกสีม่วง อายุดอกบานร้อยละ 50 ประมาณ 33 – 37 วัน ขนาดฝักใหญ่ ฝักดก เมื่อฝักแห้งจะเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว ความยาวฝักประมาณ 20 – 22 เซนติเมตร มีจำนวน 10 – 12 เมล็ด/ฝัก ก้านชูช่อดอกค่อนข้างยาว ทำให้ดอกและฝักชูขึ้นเหนือทรงพุ่มอย่างชัดเจน เก็บเกี่ยวได้ 2 – 3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความชื้น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปริมาณปุ๋ยที่ใส่ อายุการเก็บเกี่ยวครั้งแรกประมาณ 68 วัน น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 17.7 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 180 – 200 กิโลกรัมต่อไร่ และร้อยละการกะเทาะร้อยละ 71

พันธุ์ KVC 7 มีลักษณะทรงต้นแบบทรงพุ่ม สูงประมาณ 50 เซนติเมตร ดอกสีม่วง อายุดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 33 – 37 วัน ก้านชูช่อดอกค่อนข้างยาว ทำให้ดอกและฝักชูขึ้นเหนือทรงพุ่มอย่างชัดเจน ฝักสดสีเขียวอ่อน และมีเนื้อมาก หวาน กรอบ เยื่อใยน้อย ไม่มีกลิ่นเหม็นเขียว ฝักดก ความยาวฝักประมาณ 20 – 23 เซนติเมตร เก็บฝักสดรุ่นแรกได้ตั้งแต่ 50 วันหลังออกงอก และจะเก็บเกี่ยวฝักสดได้มากกว่า 3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความชื้น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปริมาณปุ๋ยที่ใส่ เมื่อฝักแห้งจะเปลี่ยนเป็นสีฟางข้าว อายุการเก็บเกี่ยวเมล็ดแห้งครั้งแรกประมาณ 68 วัน เมล็ดลายขาว - ดำ น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 20 กรัม ผลผลิตเมล็ดแห้ง 120 – 150 กิโลกรัมต่อไร่

5. <u>คุณค่าทางโภชนาการของถั่วดำ</u>

ถั่วดำ จัดเป็นถั่วชนิดที่มีโปรตีนสูง ไขมันต่ำ มีคาร์โบไฮเดรตสูง (ประภาศรี, 2546)แม้ถั่วดำจะมีปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อย แต่น้ำมันมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันที่สกัดได้ไม่มีสีดำเจือปน มีสีเหลืองอ่อน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วดำ

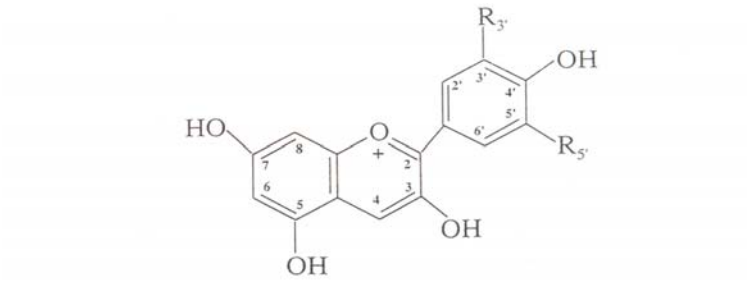
องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)	องค์ประกอบกรดไขมัน	ปริมาณ (ร้อยละ methyl ester)
ความชื้น	7.90	กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด	19.8
ไขมัน	1.50	Myristic	เล็กน้อย
โปรตีน	17.3	Palmitic	15.7
คาร์โบไฮเดรต	70.0	Stearic	4.10
เส้นใย	6.70	Arachidic	เล็กน้อย
		กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด	80.2
		Oleic	27.3
		Linoleic	47.5
		Linolenic	5.40

ที่มา: ดัดแปลงจาก สายงานเคมีพืชน้ำมันและธรรมชาติ (2530)

6. <u>แอนโธไซยานิน (Anthocyanins)</u>

แอนโธไซยานิน จัดเป็นรงควัตถุธรรมชาติที่ให้สี ชมพู แดง ม่วง และน้ำเงิน ซึ่งจัดเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) มีโครงสร้างหลักเป็น $C_6C_3C_6$ เป็นรงควัตถุที่ละลายอยู่ใน vacuolar sap ของพืช สามารถละลายน้ำได้ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภทชนิดไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล (non-hydroxyl solvent) เช่น อะซิโตน (acetone) เบนซิน (benzene) คลอโรฟอร์ม (chloroform) และอีเทอร์ (ether) เป็นต้น

แอนโธไซยานินเป็นอนุพันธ์ polyhydroxyl และ polymethoxyl ของสารฟลาวิเลียม (flavylium) หรือ 2-phenylbenzopyrylium โมเลกุลประกอบด้วยแอนโธไซยานิดิน หรือที่เรียกว่า aglycone ซึ่งจับตัวกับน้ำตาลด้วยพันธะ β - glycosidic ดังภาพที่ 1 และมักจับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของโครงสร้างแอนโธไซยานิดิน



ภาพที่ 1 โครงสร้างหลักของแอนโธไซยานิน
ที่มา: Jadwiga (2002)

น้ำตาลที่จับกับแอนโธไซยานิดินอาจเป็นโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) ได้แก่ กลูโคส แรมโนส กาแล็คโตส ไซโลสและอะราบิโนส หรือพวกไดแซคคาไรด์ (disaccharide) หรือ trisaccharide โมเลกุลน้ำตาลมักถูก esterified ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามด้วยกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น p-coumaric, caffeic และ ferulic ซึ่งจะช่วยให้แอนโธไซยานินในพืชมีเสถียรภาพดีขึ้น

แอนโธไซยานินที่สำคัญมี 17 ชนิด เรียกชื่อแตกต่างกันขึ้นกับตำแหน่งของหมู่ ไฮดรอกซิล (hydroxyl) และเมทธอกซิล (metoxyl) (Markakis, 1982 ; Hendry, 1996; Francisco and Octavio, 2003) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานิดิน

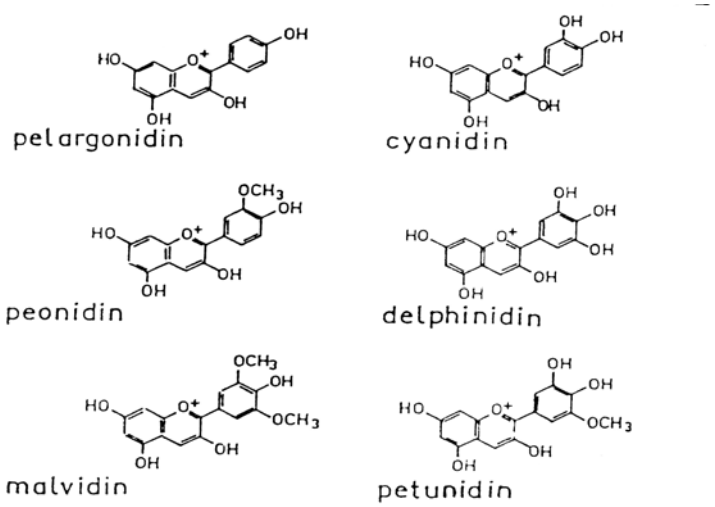
ชื่อ	หมู่ไฮดรอกซิล	สี
Apigeninidin	5, 7, 4'	สีส้ม
Aurantinidin	3, 5, 6, 7, 4'	สีส้ม
Cyanidin	3, 5, 7, 3', 4'	สีแดงจัดออกม่วง, สีแดงเข้มเลือดนก
Delphinidin	3, 5, 7, 3', 4', 5'	สีม่วง, สีม่วงอ่อน, สีฟ้า
8-Hydroxycyanidin	3, 5, 6, 7, 3', 4'	สีแดง
Luteolinidin	5, 7, 3', 4'	สีส้ม
Pelargonidin	3, 5, 7, 4'	สีส้ม, สีชมพูอมส้ม
Triacetidin	5, 7, 3', 4', 5'	สีแดง
Capensinidin	5, 3', 5'	สีแดงอมฟ้า
Europenidin	5, 3'	สีแดงอมฟ้า
Hirsutidin	7, 3', 5'	สีแดงอมฟ้า

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อ	หมู่ไฮดรอกซิล	สี
Malvidin	3', 5'	สีม่วง
5-Methylcyanidin	5	สีแดงส้ม
Peonidin	3'	สีแดงออกม่วง
Petunidin	3'	สีม่วง
Pulchellidin	5	สีแดงอมฟ้า
Rosinidin	7	สีแดง

ที่มา : Francisco and Octavio (2003)

แอนโธไซยานินที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่มี 6 ชนิด คือ pelargonidin, cyanidin, peonidin, delphinidin, petunidin และ malvidin ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างแอนโธไซยานินที่พบในธรรมชาติทั้ง 6 ชนิด
ที่มา : Gray and Lan (2002)

6.1 แหล่งของแอนโธไซยานิน

แอนโธไซยานินพบในผักและผลไม้ มีช่วงสีที่กว้าง ตั้งแต่ สีแดงถึงสีน้ำเงิน แอนโธไซยานิน พบมากในหลายแหล่ง เช่น องุ่น เรดเคอร์แรนท์ แบลคเคอร์แรนท์ ราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ แอปเปิ้ล เชอร์รี่ กะหล่ำแดง มะเขือม่วง (Hendry, 1996) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณแอนโธไซยานินที่พบในผักและผลไม้

แหล่งที่มา	ปริมาณรงควัตถุ (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)	อ้างอิง
แบล็คเบอร์รี่	83 – 326	Mazza and Miniati, 1993
แบล็คเคอร์แรนท์	130 – 400	Mazza and Miniati, 1993
แบล็คราสเบอร์รี่	300 – 400	Timberlake, 1988
บลูเบอร์รี่	25 – 497	Mazza and Miniati, 1993
โช๊คเบอร์รี่	560	Kraemer-Schafhalter et al., 1996
แครนเบอร์รี่	60-200	Timberlake, 1988
เอออเดอร์เบอร์รี่	450	Kraemer-Schafhalter et al., 1996
องุ่น	6-600	Mazza and Miniati, 1993
หัวผักกาดแดง	11-60	Giusti et al., 1998
กะหล่ำปลีแดง	25	Timberlake, 1988
มันฝรั่งแดง	2-40	Rodriguez-Saona et al., 1998
ราสเบอร์รี่สีแดง	20-60	Mazza and Miniati, 1993
หัวหอมแดง	7-21	Mazza and Miniati, 1993

ที่มา : Wrolstad (2000)

Mazza and Miniati (1993) ถั่วพุ่ม (cowpea) สายพันธุ์ *Vigna unguiculata* (L.) Walp. มีการเพาะปลูกในบริเวณเขตร้อนและบริเวณใต้เขตร้อนเพื่อนำฝักและเมล็ดมาใช้ เมล็ดมีความแตกต่างทั้งขนาด รูปร่าง และสีอย่างชัดเจน มีความยาวตั้งแต่ 2 ถึง 12 มิลลิเมตร มีรูปร่างทั้งทรงกลม หรือรูปไต ผิวเรียบหรือย่น มีสีขาว เขียว เหลืองอ่อน แดง น้ำตาลหรือสีดำ โดยพบรงควัตถุของแอนโธไซยานินที่บริเวณเปลือกของเมล็ด รงควัตถุของถั่วพุ่ม คือ ไกลโคไซด์ของ cyanidin delphinidin และ malvidin นอกจากนี้ยังพบ delphinidin-3-glucoside พบอยู่ในพืชส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ผิวเปลือกเมล็ดสีดำของ *V. mungo* และ *V. radiate* ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แอนโธไซยานินในส่วนต่าง ๆ ของพืชสายพันธุ์ *Vigna spp.*

สายพันธุ์	ส่วนของพืช	รงควัตถุ
V. unguiculata	Seed coat	Cyanidin glycoside
		Delphinidin glycoside
		Malvidin glycoside
V. mungo	Hypocotyl	Delphinidin 3-(p-coumaryl)-glucoside
	Seed coat	Delphinidin 3-glucoside
		Cyanidin 3-glucoside
V. radiata	Hypocotyl	Delphinidin 3-(p-coumaryl)-glucoside
	Cotyledon	Delphinidin 3,5-diglucoside
	Seed coat	Delphinidin 3-glucoside
		Cyanidin 3-glucoside
V. angularis	Seed coat	Delphinidin 3-glucoside

ที่มา : Mazza and Miniati (1993)

6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของแอนโธไซยานิน

6.2.1 เอนไซม์

การใช้เอนไซม์บางชนิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำผลไม้ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแอนโธไซยานินได้ เนื่องจากจะพบ glucosidase เสมอเมื่อเตรียมเอนไซม์บางชนิด (Hendry, 1996; Skrede *et al*., 2000a) พบว่า องุ่นและเบอร์รี่ มีเอนไซม์กลุ่ม Phenolase (phenolases, polyphenolases) ซึ่งสามารถทำลายแอนโธไซยานิน (Maekakis, 1982) เช่น polyphenoloxidase พบว่าเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ในการทำลายแอนโธไซยานินในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำบลูเบอร์รี่

6.2.2 ออกซิเจนและกรดแอสคอร์บิก

ออกซิเจนมีส่งผลร้ายต่อแอนโธไซยานิน และเป็นที่รู้กันว่าการเก็บแอนโธไซยานิน ภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือสภาวะบรรยากาศที่มีไนโตรเจนแอนโธไซยานินจะมีความคงตัวกว่าสภาวะที่มีออกซิเจน ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้การเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโธไซยานินควรมีการ

ขัดขวางออกซิเจนและช่องว่างอากาศ (headspace) ที่เหลือควรมีน้อย เพื่อป้องกันแอนโธไซยานิน ลดลงระหว่างเก็บรักษาและจัดจำหน่าย ออกซิเจนยังสามารถลดปริมาณแอนโธไซยานินทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยการออกซิไดซ์สารประกอบแอนโธไซยานินและนอกจากนี้ไอออนของโลหะและกรดแอสคอร์บิกก็มีส่วนในการทำให้เกิดการออกซิไดซ์สารประกอบแอนโธไซยานินเช่นกัน (Skrede and Wrolstad, 2002)

6.2.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

แอนโธไซยานินเมื่อทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำให้ผลิตภัณฑ์สีจาง (Wrolstad, 2000) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถย้อนกลับได้ ดังตัวอย่าง กระบวนการต้มผลไม้ที่มีการใช้ซัลไฟด์ในการถนอมอาหาร ซึ่งจะพบว่า ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกแยกออกจากตัวผลิตภัณฑ์และเหลือแอนโธไซยานินที่มีสีเจือจางลง ดังนั้น ไม่ควรใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการถนอมอาหารกับผลิตภัณฑ์ที่มีแหล่งของแอนโธไซยานินอยู่ แต่ควรใช้สารที่เป็นส่วนประกอบของ benzoate และ sorbate แทนจะเหมาะสมกว่า (Hendry, 1996)

6.2.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

แอนโธไซยานินมีคุณสมบัติของการบอกค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH indicators) ได้ โดยสารละลายแอนโธไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มขึ้นจาก ความเป็นกรด-ด่าง 1.0 ไปยัง ความเป็นกรด-ด่าง 4.0, 6.0, 8.0, 12.0 จนถึง ความเป็นกรด-ด่าง 13.0 ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้แอนโธไซยานิน เพื่อให้ได้ระดับสีที่ดี จึงควรใช้แอนโธไซยานินในผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดเท่านั้น ที่ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน 4.0 (Hendry, 1996)

6.2.5 ผลของ Water Activity และน้ำตาล

การศึกษาหลายๆอย่างแสดงว่า แอนโธไซยานินมีความคงตัวเพิ่มขึ้นเมื่อมีการลดลงของค่า Water Activity (a_w) (Wrolstad, 2000) แอนไซยานินชนิดผงมีค่า Water Activity น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.3 พบว่ามีความคงตัวสามารถเก็บได้หลายปี เมื่อเก็บในถุงที่มีการซิลปิดสนิท (Jackman and Smith, 1996) โดยได้ทำการเก็บสารสกัดจากแบลคเคอแรนที่อยู่ในรูปผงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า หลังจาก 15 เดือน ปริมาณแอนโธไซยานินลดลงร้อยละ 14 และเมื่อมีการ

ผสม starch syrup และ maltodextrin ลงไปเพื่อใช้เป็นตัวพาในกระบวนการทำแห้ง พบว่า ปริมาณแอนโธไซยานินลดลงร้อยละ 2 และร้อยละ 3 ตามลำดับ

6.2.6 ประจุบวก (cation)

ประจุบวกบางชนิดที่เป็น di และ trivalent metal ion เป็นสาเหตุให้เกิด bathochromic shift ของการดูดกลืนแสงสูงสุดของความยาวคลื่น ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของสีน้ำเงิน และเกิดการตกตะกอนของรงควัตถุ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้แอนโธไซยานินสัมผัสกับเหล็ก (iron) โลหะ (mild steel) และทองแดง (copper) และการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารลงในกระป๋องดีบุกควรมีการเคลือบแลคเกอร์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย (Hendry, 1996)

6.2.7 อุณหภูมิและแสงสว่าง

แอนโธไซยานินมีความคงทนต่อความร้อนได้ดีและเพียงพอสำหรับการใช้ในกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เช่น แยม การต้มน้ำตาลและผลไม้กระป๋อง การเกิด acylation กับโมเลกุลน้ำตาลจะเพิ่มความคงทนต่อความร้อนและแสงมากขึ้น เช่น กะหล่ำปลีแดง ประกอบด้วย mono- และ di-acylated anthocyanin มาก จึงทำให้มีความคงทนต่อความร้อนและแสงดี (Hendry, 1996)

Caabrita *et al*. (2000) กล่าวว่าการเสื่อมของแอนโธไซยานินในสารละลายแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30 เป็น ร้อยละ 60 หลังจากเก็บไว้ 60 วัน เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการเก็บจาก 10 องศาเซลเซียส เป็น 23 องศาเซลเซียส ในกระบวนการถนอมอาหารเพื่อให้มีปริมาณแอนโธไซยานินสูงสุด (Jackman and Smith, 1996) แนะนำให้ใช้กระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนสูงเวลาสั้น (High-temperature short-time)

6.2.8 โปรตีน

สารสกัดแอนโธไซยานินจากองุ่นบางตัวจะทำปฏิกิริยากับโปรตีน เช่น เจลาติน ซึ่งทำให้เกิดการเป็นตะกอน แต่ปฏิกิริยานี้มักเกิดจากสารประกอบชนิดอื่นที่ไม่มีรงควัตถุ เช่น สารประกอบฟีโนลิก (phenolic) มากกว่าที่จะเกิดจากตัวแอนโธไซยานินเอง เนื่องจากแอนโธไซยานินที่มีความบริสุทธิ์เท่านั้นที่จะทำปฏิกิริยากับเจลาติน (Hendry, 1996)

7. <u>กฎหมายของการใช้แอนโธไซยานินในอาหาร</u>

Hendry (1996) กล่าวถึงกฎหมายที่อนุญาตให้มีการใช้แอนโธไซยานินในอาหาร โดยเฉพาะแอนโธไซยานินที่สกัดจากองุ่น มีการอนุญาตให้ใช้ทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา สีที่สกัดจากองุ่น (*V. labrusca*) ได้รับอนุญาตให้ใช้เฉพาะที่ไม่ใช้เครื่องดื่ม ขณะที่สีที่สกัดจากองุ่น (*V. vinifera*)ได้รับอนุญาตให้ใช้เฉพาะที่ใช้ในเครื่องดื่ม ในกลุ่ม European Community มีการกำหนดรายละเอียดของการใช้แอนโธไซยานิน ดังนี้คือ จะต้องเป็นแอนโธไซยานินที่ได้มาจากวิธีการสกัดด้วยน้ำ เมธานอล หรือ เอธานอล จากผักผลไม้ที่สามารถรับประทานได้ และข้อกำหนดของปริมาณสูงสุดของการเติมแอนโธไซยานินในอาหารจะมีการกำหนดจากแต่ละประเทศเอง

ปัจจุบันสีแอนโธไซยานินที่ผลิตเชิงการค้ามี 2 ลักษณะ (ธิติยาภรณ์, 2545) คือ

7.1 ลักษณะผง ประชาคมเศรษฐกิจแห่งยุโรป (EEC) กำหนดให้มีรหัสสี E 163 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ สกัดจากเปลือกองุ่นพันธุ์ *Vitis vinfevea* และผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีแดงเข้ม (dark maroon) สามารถละลายน้ำได้ดี และให้ค่า $E^{1\%}_{1cm,520} = 12.50$ ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.2 แอนโธไซยานินที่พบเป็นชนิดที่มี pelargonidin, cyanidin, peonidin, delphinidin, petunidin และ malvidin ในการผลิตอนุญาตให้ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นวัตถุกันเสียและกำหนดให้มีปริมาณตกค้างได้ไม่เกิน 50 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน (ppm) และกำหนดปริมาณสารปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตดังนี้

- ปริมาณตะกั่ว ไม่มากกว่า 20 ppm
- ปริมาณอาร์เซนิค ไม่มากกว่า 5 ppm
- ปริมาณทองแดง โครเมี่ยม สังกะสี ดีบุก และแบเรียมซัลเฟต แต่ละชนิด ไม่มากกว่า 100 ppm และปริมาณรวมไม่มากกว่า 200 ppm

7.2 ลักษณะสารละลายเข้มข้น มีลักษณะและสมบัติดังนี้ สกัดจากเปลือกองุ่นพันธุ์ *Vitis vinfevea* อนุญาตให้ใช้ propyleneglycol เป็นวัตถุกันเสีย ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นสารละลายสีม่วงแดง (dark purple red) มีกลิ่นรสเฉพาะตัว และให้ค่า $E^{1\%}_{1\ cm,\ 520} = 3.0 – 3.5$ ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.0 ผลิตภัณฑ์สามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมลูกกวาด แยม เยลลี่ ไอศกรีม เครื่องดื่มทั้งประเภทที่มีและไม่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.1 – 0.4 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก มีอายุการใช้งานประมาณ 2 เดือน ควรเก็บในที่เย็นและแห้ง

8. <u>การประยุกต์ใช้สารสกัดแอนโธไซยานิน</u>

8.1 เครื่องดื่มน้ำอัดลม (Soft drink)

โดยทั่วไปมีการใช้แอนโธไซยานินใน soft drinks, clear drinks ที่ pH ต่ำกว่า 3.4 และไม่มี ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฐานะที่เป็นตัวเก็บรักษา สารสกัดจากองุ่นจะมีสีพวก Oligomeric และ polymeric อยู่สูง ซึ่งจะให้ประโยชน์ในเรื่องความคงตัว เมื่อมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ด้วยมากกว่าสีที่เป็นพวก monomeric ดังนั้นจึงควรระวังในการใช้สีธรรมชาติ โดยเฉพาะแอนโธไซยานินที่เติมลงในอาหาร อาจจะลดลงเนื่องจาก อนุพันธ์ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ระดับแอนโธไซยานินที่ใช้ในเครื่องดื่มพร้อมบริโภค ประมาณ 30 – 40 ppm. ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงเข้ม การเก็บรักษาที่อุณหภูมิมากกว่า 25 องศาเซลเซียส หรือ สัมผัสกับแสง จะเป็นผลให้เกิดการสูญเสียของสีมาก ปกติแอนโธไซยานินไม่ใช้ในเครื่องดื่มที่ขุ่น เพราะความขุ่นเป็นสาเหตุให้เกิดสีที่ไม่ต้องการ เช่น สีน้ำเงิน

8.2 ผลไม้แช่อิ่ม (Fruit preserve)

แอนโธไซยานินถูกใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มและแยม ธรรมชาติและคุณภาพของผลไม้มีความสำคัญ โดยผลไม้สด และแช่แข็ง ผู้บริโภคชอบมากกว่าผลไม้ที่มีการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือผลไม้กระป๋อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้กระป๋องมักเกิดสีน้ำตาลและบดบังแอนโธไซยานิน โดยจะมีการดูดกลืนสีน้ำตาลในช่วง 420 – 440 นาโนเมตร ดังนั้นระดับที่ใช้อย่างกว้างขวางขึ้นอยู่กับแอนโธไซยานินที่มีในผลไม้และระดับของสีน้ำตาล แต่โดยทั่วไปมีการใช้แอนโธไซยานิน ในช่วง 20 – 60 ppm.

8.3 ผลิตภัณฑ์ลูกอม ลูกกวาด (Sugar confectionery)

ผลิตภัณฑ์ท๊อฟฟี่ ลูกอม ที่มีน้ำตาล โดยทั่วไปมีจุดเดือดสูงและใช้แอนโธไซยานินที่ซึ่งให้สีแดงที่หลากหลาย และนอกจากนี้พบว่า สารสกัดแอนโธไซยานินที่ได้จากองุ่นเข้ากันไม่ได้กับเจลาติน ดังนั้นต้องระวังในการเลือกใช้เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ได้ลักษณะของสีที่ดี เมื่อความ

เข้มข้นของสารสกัดแอนโธไซยานินเติมลงในเจลาตินจะทำให้เกิดการตกตะกอน สารสกัดแอนโธไซยานินที่มีความเข้มข้นสูงมักเกิดปัญหา ดังนั้นควรเจือจางสีแอนโธไซยานินก่อนใช้

8.4 ผลิตภัณฑ์นม (Dairy products)

ผลิตภัณฑ์จากนมประเภทกรด เช่น โยเกิรต์ จะให้สีของแอนโธไซยานินอย่างชัดเจน ดังเช่น โยเกิรต์รสแบล็คเชอร์รี่ ให้สีม่วงเข้มที่ได้จาก สีแอนโธไซยานินจากเปลือกองุ่น

8.5 ผลิตภัณฑ์แช่แข็ง (Frozen products)

ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ยังไม่นิยมการใช้แอนโธไซยานิน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ในขณะที่ผงสีแอนโธไซยานินในท้องตลาดมีค่าความปีนกรด-ด่างต่ำ จึงเหมาะที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ

8.6 ผลิตภัณฑ์ประเภทผง (Dry mixes)

ขนมหวานชนิดต่าง ๆ ที่มีกรดผสมอยู่ และเครื่องดื่มผง มักมีการใช้สารสกัดแอนโธไซยานินในรูปการทำแห้งแบบพ่นฝอย

8.7 ประโยชน์ด้านอื่น ๆ

มีความเป็นไปได้ที่จะมีการใช้สีแอนโธไซยานินในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชู แม้ว่าจะมีข้อจำกัดทางการค้า ไวน์แดงหรือผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของน้ำส้มสายชูมักมีการใช้สีแดง สิ่งสำคัญ ในการใช้แอนโธไซยานิน ควรใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ขุ่น และความเป็นกรด – ด่างต่ำ ซึ่งภายใต้สภาวะเช่นนี้ จะให้สีแดงที่สดและน่าดึงดูด

9. <u>การวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานิน</u>

แอนโธไซยานินที่เพิ่งสกัดจากผัก ผลไม้ โดยปกติจะมี ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 500 – 535 นาโนเมตรอยู่น้อย ประกอบกับสารประกอบ phenolic อื่น ๆที่มีการ

ดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่นที่ห่างออกไป ซึ่งคือ ฟลาวโวนอยด์ ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 350 – 380 นาโนเมตร สามารถใช้วิธีง่ายๆ ในการคำนวณปริมาณของแอนโธไซยานินรวม ได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่สกัดได้ที่ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม (Francis, 1982) และนำมาคำนวณหาปริมาณของแอนโธไซยานินรวมได้ดังนี้ (ดัดแปลงจาก Fuleki and Francis, 1968)

1. หา Dilution Factor (DF) = (TV/SV) * DV

2. ปริมาณแอนโธไซยานินรวม (มิลลิกรัม) = $(OD * DF) * \frac{1}{E^{1\%}_{1cm}/10}$

<u>หมายเหตุ</u>

TV	คือ ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ทั้งหมด (มิลลิลิตร)
SV	คือ ปริมาตรของสารละลายสกัดที่เตรียมสำหรับเจือจางสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง (มิลลิลิตร)
DV	คือ ปริมาตรของสารละลายสกัดที่ได้เจือจางแล้ว (มิลลิลิตร)
O.D.	คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากสารละลายสกัดที่เจือจางแล้ว
$E^{1\%}_{1cm}/10$	คือ ค่า Extinction coefficient ได้จากค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักโมเลกุลของแอนโธไซยานินทุกตัวที่มีอยู่ในพืชตัวอย่างชนิดนั้น ๆ

ดังตัวอย่างของการคำนวณจาก Lee and Francis (1972) ในการคำนวณหาปริมาณของแอนโธไซยานินจากน้ำแครนเบอรี่ ดังนี้คือ ในการสกัดใช้ตัวอย่างของผลแครนเบอรี่ จำนวน 100 กรัม ทำการสกัดสารละลายได้ปริมาตรรวมทั้งหมด เท่ากับ 500 มิลลิลิตร (TV) ทำการแบ่งสารละลายออกมาจำนวน 2 มิลลิลิตร (SV) ทำการเจือจางเป็นปริมาตร 100 มิลลิลิตร (DV) ในสารละลายเอธานอลและกรดเกลือเข้มข้น 1.5 นอร์มัล (อัตราส่วน 85ต่อ15 โดยปริมาตร) เพื่อใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เจือจางแล้วที่ค่าความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร เท่ากับ 0.250 (OD) นำมาคำนวณหาปริมาณของแอนโธไซยานินรวมได้ดังนี้คือ

1. หา Dilution Factor (DF) = (TV/SV) * DV
   = (500/2) * 100
   = 25,000

2. ปริมาณแอนโธไซยานินรวม (มิลลิกรัม) $= (OD * DF) * \frac{1}{E^{1\%}_{1cm}/10}$

$= (0.250 * 25,000) / 98.2$

= 63.40 มิลลิกรัมแอนโธไซยานินต่อผลแครนเบอรี่ 100 กรัม

โดยที่ค่า 98.2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (Extinction coefficient; E) เฉลี่ยของแอนโธไซยานินทั้งหมดที่พบในผลแครนเบอรี่ จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในเซลล์ขนาด 1 เซนติเมตรที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร และมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ ร้อยละ 1 (w/v) ค่า E เฉลี่ยสำหรับแอนโธไซยานินของผลแครนเบอรี่ในสารละลายแอลกอฮอล์เท่ากับ 982 แต่ในการคำนวณค่าปริมาณของแอนโธไซยานินรวมจะคำนวณค่าแอนโธไซยานินรวมเป็นมิลลิกรัม ในขณะที่ค่า E ที่กำหนดสำหรับสารละลายร้อยละ 1 คือ ค่าที่กำหนดสำหรับ 10 มิลลิกรัมต่อสารละลาย 1 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงต้องหารค่า E ด้วย 10 ก่อน ดังนั้นจะได้ ($E^{1\%}_{1cm}/10$) = 98.2 จึงนำไปคำนวณในสูตร (Fuleki and Francis, 1968)

ในกรณีไม่ทราบค่า $E^{1\%}_{1cm}$ ของแอนโธไซยานินในตัวอย่าง Fuleki and Francis (1968) แนะนำให้ใช้ค่า $E^{1\%}_{1cm}$ ของผล cranberry แทนในการคำนวณหาปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด ซึ่งสามารถตัดความผิดพลาดจากการคำนวณทิ้งได้ เมื่อใช้คำนวณเปรียบเทียบปริมาณแอนโธไซยานินที่สกัดได้

Du and Francis (1973) คำนวณหาปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดของดอกกระเจี๊ยบแดง *(Hibiscus sadbariffa* L.) ซึ่งสกัดโดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของไฮโดรคลอริกในเมทานอล คำนวณโดยใช้ค่า Molar extinction coefficient ของ delphinidin-3-glucoside มีค่าเท่ากับ 29000 และ M.W มีค่าเท่ากับ 518.5 และ $E^{1\%}_{1cm}$ ของ delphinidin-3-glucoside มีค่าเท่ากับ 559 ซึ่งพบว่าปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดของดอกกระเจี๊ยบแดงมีค่าเท่ากับ 1.5 กรัม/100 กรัม ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งคิดในรูปของ delphinidin 3-glucoside

Bronnum-Hansen and Flink (1986) สกัดแอนโธไซยานินจากกาก elderberry โดยนำกาก 5 กรัมมาทำการสกัดด้วยโดยการบดผสมกับตัวทำละลาย 50 มิลลิตร และรินน้ำที่ได้ออกแล้วใส่ตัวทำละลาย 50 มิลลิตร จากนั้นทิ้งสารสกัดที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2-30 นาที (ทั่วไป 10 นาที) พร้อมทั้งกวนและกรองออก กากที่ได้จะนำมาสกัดซ้ำอีก โดยกวนตัวทำละลาย 50 มิลลิตรที่เพิ่มเข้ามาและ

กรอง ในแต่ละขั้นปริมาณสารสกัดที่ได้จะนำมาวัดปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดโดยใช้วิธี pH different และพบว่าปริมาณแอนโธไซยานินอยู่ในรูป cyanidin-3-glucoside เป็นส่วนใหญ่ในผล elderberry โดย Bronnum-Hansen and Flink (1985) คำนวณปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดของผล elderberry (*Sambucus nigra* L.) โดยใช้ค่า E ของ cyanidin-3-glucoside ซึ่งมีค่าเท่ากับ 851

Giusti and Wrolstad (1996) ศึกษาแอนโธไซยานินของ Red Radish *(Raphanus satiivus* L.) สกัดโดยนำตัวอย่างที่แช่แข็งจาก liquid nitrogen มาผสมกับอะซิโตน แล้วกรองด้วย Buchner funnel ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 กรองตัวอย่างซ้ำด้วยอะซิโตน (30:70 v/v) จนกระทั่งได้สารละลายใสไม่มีสี แล้วเขย่าแยกชั้นด้วยตัวทำละลาย (1:2 acetone: chloroform v/v) และเก็บข้ามคืนที่ 1 องศาเซลเซียส จากนั้นใส่ใน Buchi rotavapor ที่ 40 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยอะซิโตนทั้งหมดออกใช้เวลา 5-10 นาที และนำไปปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น วัดปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดโดยใช้วิธี pH different วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420, 510 และ 700 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณแอนโธไซยานิน pelagonidin-3-glucoside มีค่า Extinction coefficiencent เท่ากับ 31600 $Lcm^{-1}mol^{-1}$ และ MW เท่ากับ 433.2 g L^{-1} ซึ่งพบว่าปริมาณแอนโธไซยานิน epidermal tissue 154±13 mg/100g

Gary *et al*. (1997) พบแอนโธไซยานิน delphinidin 3-glucoside, petunidin 3-glucoside และ malvidin 3-glucoside ในถั่วดำสายพันธุ์ *Phaseolus vulgaris* L. ซึ่งทำการสกัดโดยนำถั่วดำมาบดผ่านตะแกรงขนาด 30 – 40 mesh นำถั่วดำผง 500 มิลลิกรัม มาผสมกับ 0.5 % ไฮโดรคลอริกในเมทานอล 50 มิลลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิตร เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาเขย่าบางครั้ง จากนั้นกรองสารละลายโดยใช้กระดาษ Whatman เบอร์ 4 และส่วนที่เหลือนำมาสกัดซ้ำจนไม่มีสี และระเหยเอาตัวทำละลายออก จากนั้นนำมาละลายในกรดฟอร์มิก 10 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างถูกเก็บใน Extrelut 20 cartridge และสกัดอีกครั้งด้วยเฮกเซนและเอทิลอะซิเตรต เพื่อกำจัดสารไม่มีขั้ว และฟลาโวนอยด์ อื่นๆ และปริมาตรสุดท้ายถูกปรับเป็น 100 มิลลิตร ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดคำนวณโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 537 นาโนเมตร ค่า delphinidin 3-glucoside มีค่าเท่ากับ 27300 และ M.W มีค่าเท่ากับ 465 ซึ่งพบว่าปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดของถั่วดำ มีค่าเท่ากับ 213 ± 2 มิลลิกรัม/100 กรัม ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งคิดในรูปของ delphinidin 3-glucoside

Hallie *et al*. (n.d.) แอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุที่พบทั่วไปในธรรมชาติ ซึ่งถูกจัดอยู่ในประเภทฟลาโวนอยด์ มีคุณสมบัติสำคัญในการเป็นสารแอนตี้ออกซิแดน (antioxidant) ซึ่งช่วยใน

การป้องกันโรคมะเร็ง โรคไขข้ออักเสบ และโรคหลอดเลือดหัวใจ ในงานวิจัยศึกษาจำนวนและชนิดของแอนโธไซยานินในแหล่งเพาะปลูกต่างๆ และสายพันธุ์ของถั่วพุ่ม (cowpea) สายพันธุ์ *Vigna unguiculata* เพื่อใช้ในการปรับปรุง โดยพบว่า ถั่วพุ่มสีดำสายพันธุ์ 95-356 พบแอนโธไซยานิน 3 ชนิด คือ delphinidin, peonidin และ ไม่ทราบชื่อ (unknown)

Yip and Wong (2000) แอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุฟลาว์โวนอยด์ที่ละลายในน้ำพบทั่วไปในดอกไม้ ผลไม้และพืชที่ส่วนใหญ่มีสีแดง ม่วง และน้ำเงิน นอกจากในอุตสาหกรรมอาหารได้มีการประยุกต์ใช้แอนโธไซยานินในการเป็นสีผสมอาหาร Yip and Wong (2000) ได้ศึกษาการสกัดแอนโธไซยานินโดยใช้เอธานอลในการสกัดที่เปลือกเมล็ดสีดำ *Vigna sinensis* และวิเคราะห์โดยวิธี HPLC พบว่า มีแอนโธไซยานิน 3 ชนิด คือ cyanidin-3-glucoside, delphinidin-3-glucoside และ petunidin-3-glucoside

เนื่องจากในเมล็ดถั่วดำมีแอนโธไซยานิน คือ delphinidin และไม่ทราบค่า E ของแอนโธไซยานินในเมล็ดถั่วดำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่า E ของ delphinidin-3-glucoside ซึ่งมีค่าเท่ากับ 599 (Du and Francis, 1973) ในการคำนวณปริมาณแอนโธไซยานินในเมล็ดถั่วดำ

10. <u>การทำสารละลายให้เข้มข้น</u>

การระเหย เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เป็นการกำจัดน้ำออกไปโดยเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอ ในกระบวนการทำน้ำผลไม้โดยการระเหยนี้ ถ้าทำให้เข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าหรือมากกว่านี้ อัตราการสูญเสียของกลิ่นรสที่ระเหยไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอน้ำที่กำจัดออกไป (Thijssen, 1970) โดยจุดประสงค์การระเหยน้ำ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้สารละลาย การทำให้ของเหลวเข้มข้น หรือน้ำผลไม้เข้มข้น มีหลายวิธี ซึ่งการจะนำมาใช้ต้องเลือกตามความเหมาะสม กรรมวิธีการระเหยอาศัยวิธีการดังต่อไปนี้

10.1 การใช้ความร้อน วิธีการคือ การเคี่ยวของเหลวในหม้อที่ตั้งบนเตาไฟ หรือตั้งในหม้อน้ำเดือด หรือในหม้อเคี่ยวด้วยไอน้ำ ความร้อนที่ของเหลวได้รับจะทำให้น้ำระเหยออกไปของเหลวจะลดลงตลอดเวลาจนมีความเข้มข้นตามต้องการ เช่น การเคี่ยวสารละลายน้ำตาล

10.2 การใช้ความร้อนภายใต้ความดันหรือสุญญากาศ วิธีนี้ต้องกระทำในหม้อเคี่ยวลดความดัน ทำให้ของเหลวเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำ และการดูดอากาศออก ทำให้ไอระเหยออกไปด้วย

10.3 การระเหยใช้ระบบความเย็น เป็นการทำให้น้ำในน้ำผลไม้กลายเป็นน้ำแข็งบางส่วน และแยกผลึกน้ำแข็งบริสุทธิ์นั้นออกไป น้ำผลไม้ที่ทำให้เข้มข้นโดยวิธีนี้ จะยังคงไว้ซึ่งองค์ประกอบทุกอย่างของน้ำผลไม้สด รวมทั้งสารระเหยต่างๆด้วย (Karel, 1975) แต่วิธีนี้จะต้องใช้พลังงานสูงในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ และอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆมีราคาแพง วิธีนี้สามารถทำให้เข้มข้นได้สูงสุดประมาณ 50 – 55 $^{\circ}$ Brix เท่านั้นและที่สำคัญก็คือ มีการสูญเสียของของแข็งในน้ำผลไม้มาก แต่อาจควบคุมให้อยู่ในระดับต่ำได้ (Muller, 1976)

10.4 การซึมผ่านเนื้อเยื่อ เป็นวิธีหนึ่งที่ไม่ใช้ความร้อนสามารถแยกตัวทำละลายออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลัก ของเหลวชนิดหนึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าอีกชนิดหนึ่ง โดยมีเยื่อบางๆ คั่นกลาง น้ำจากของเหลวที่มี ความเข้มข้นต่ำจะซึมผ่านเนื้อเยื่อไปสู่ความเข้มข้นสูงจนกว่าของเหลวทั้งสองจะมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน ซึ่งการที่เกิดการซึมผ่านได้นี้เนื่องจากแรงที่เรียกว่าแรงดันออสโมซีส (สมบัติ, 2535)

Sandhu and Bhatia (1985) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเตรียมน้ำผลไม้เข้มข้น โดยการระเหยน้ำผลไม้ 5 ชนิด คือ ส้ม สับปะรด กล้วย ฝรั่งและมะม่วง ในอุปกรณ์แก้วที่อุณหภูมิ 50 – 55 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศ 27-28 นิ้วปรอท เกิดอัตราการระเหย 670 มล./ชม. ปรากฏผลว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด และปริมาณเพ็กตินจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างกระบวนการระเหย ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงในระยะเริ่มต้นสูงขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นมากค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างคงที่ ส่วนปริมาณกรดและเพคตินจะลดลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น วิตามินซี (ascorbic acid) ซึ่งมีผลกระทบจากความร้อนจะสูญเสียเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ และจะสูญเสียวิตามินซีมากในผลิตภัณฑ์ที่มีกากหรือเยื่อ (pulpy juices) มากกว่าน้ำผลไม้ใส (clear juice) ในน้ำฝรั่งจะสูญเสียวิตามินซีต่ำกว่าในน้ำส้มและน้ำมะม่วงเข้มข้น ส่วนเบต้าแคโรทีนจะได้รับผลกระทบจากกระบวนการระเหยน้อยมาก เมื่อเทียบกับวิตามินซี

Lee (1992) ปั่นสตรอเบอรี่แล้วเหวี่ยงแยกเอาเยื่อ (pulp) และซีรัมออกจากกัน ซีรัมประกอบด้วยของแข็งที่ละลาย (soluble solid) ร้อยละ 9.9 นำไประเหยด้วยเครื่องระเหยโรตารี

ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 30 – 40 มม.ปรอท ที่อุณหภูมิ 55 – 58 องศาเซลเซียส จนมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 5 เท่า ไอจากการระเหยจะถูกควบแน่น (condense) ได้เป็นสารกลิ่น (aromafraction) เมื่อนำไปผสมกับเยื่อที่ไม่ละลาย (insoluble pulp) จะได้ผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี่เข้มข้นที่มีเยื่อผสมมีความเข้มข้น 2 เท่า เมื่อนำผลิตภัณฑ์นี้ไปวิเคราะห์ด้วยกาซโครมาโทกราฟี หาองค์ประกอบสารระเหย (volatile compounds) และการประเมินด้านประสาทสัมผัส ปรากฏผลว่าคุณภาพของสารกลิ่นในผลิตภัณฑ์ดีขึ้น สรุปได้ว่าเมื่อผสมสารกลิ่นร้อยละ 10 ลงไปในเยื่อที่ไม่ละลายน้ำและซีรัมมีความเข้มข้น 5 เท่า จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

นัยวิท (2538) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการใช้สีแดงธรรมชาติจากดอกกระเจี๊ยบแดงโดยการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดแอนโธไซยานินจากดอกกระเจี๊ยบแดงแห้ง พบว่ากระบวนการสกัดแอนโธไซยานินจากดอกกระเจี๊ยบแดงแห้ง ที่เหมาะสมคือ การสกัดด้วยน้ำ ด้วยอัตราส่วนดอกกระเจี๊ยบแดงแห้งต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 80 นาที ได้สารละลายสีแดงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 5 ระเหยน้ำออกภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายสีแดงเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 18

เสรี (2545) พัฒนาผงสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบแดงเพื่อนำมาใช้เป็นสีย้อมกระดาษสา ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดแอนโธไซยานินจากดอกกระเจี๊ยบแดงแห้งในระบบนำร่อง พบว่ากระบวนการการสกัดแอนโธไซยานินจากดอกกระเจี๊ยบแดงแห้ง ที่เหมาะสมคือ การสกัดด้วยน้ำ ด้วยอัตราส่วนดอกกระเจี๊ยบแดงแห้งต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที ได้สารละลายสีแดงที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 4.3 ระเหยน้ำออกภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายสีแดงเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 16

บุศรารัตน์ (2547) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโธไซยานินจากกลีบกระเจี๊ยบแดง พบว่าชนิดตัวทำละลายและความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม คือ น้ำ : เอทานอล (1:1) ปรับความเป็นกรด-ด่าง เป็น 2.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริค อัตราส่วนระหว่างกลีบกระเจี๊ยบแดงต่อตัวทำละลายเป็น 1:4 โดยศึกษาการทำเข้มข้นสารละลายสกัดแอนโธไซยานินโดยทำเข้มข้นแบบสุญญากาศ พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ทำเข้มข้นที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที โดยปริมาตรสารละลายสกัดแอนโธไซยานินเริ่มต้นเท่ากับ 230 มิลลิลิตร ระเหยจนได้สารละลายสกัดแอนโธไซยานินเข้มข้นเท่ากับ 70 มิลลิลิตร

11. <u>การทำแห้ง</u>

การทำแห้งเป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารมีปริมาณของน้ำหรือความชื้นของอาหารลดลงให้เหลือเพียงร้อยละ 4 - 5 โดยอาศัยหลักการถ่ายเทของเหลว เช่น น้ำออกจากของแข็ง หรือ วัสดุเปียก ไปยังก๊าซที่ไม่อิ่มตัว ในกระบวนการทำแห้งอาหารนั้นไม่ว่าวัตถุดิบจะอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็ง จะต้องผ่านกระบวนการอื่นๆ อันเป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุก่อนการทำแห้ง เพื่อให้วัตถุดิบที่ทำแห้งมีคุณสมบัติและสภาพที่เหมาะสม ก่อนที่จะนำเข้ากระบวนการทำแห้ง โดยทั่วไปแล้วจะต้องผ่านกระบวนการที่สำคัญหลายอย่าง เช่น การลวก การระเหยน้ำออกเพื่อทำให้เข้มข้นขึ้น การอุ่นวัตถุดิบให้อุณหภูมิสูงขึ้น การตัดแต่งวัตถุดิบให้เหมะสม ดังนั้นการเลือกกระบวนการที่เหมาะสมจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งมีคุณภาพดีขึ้น (สมบัติ, 2529)

ในการทำแห้งวัตถุดิบที่เป็นของเหลว เช่น น้ำผลไม้ (สมบัติ, 2529) กล่าวถึงวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมสำหรับวัตถุดิบที่เป็นของเหลวไว้ ได้แก่ การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) การทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying) การทำแห้งแบบเกิดฟอง (foam-mat drying) และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

สำหรับการทำแห้งน้ำผลไม้ที่มีแอนโธไซยานินเป็นองค์ประกอบ พบว่าการทำแห้งแบบการแช่เยือกแข็งจะทำให้แอนโธไซยานินที่มีความคงทนสูง และมีคุณภาพดี แต่วิธีนี้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงมาก ดังนั้นการทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงน่าจะมีความเหมาะสมและประหยัดมากกว่าในกรณีที่ต้องการผงแอนโธไซยานินเพื่อใช้สีในปริมาณมาก นอกจากนี้กระบวนการในการทำแห้งแบบพ่นฝอยยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังสามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสได้โดยในระหว่างการทำแห้งจะมีการเติมสารเจือปนบางชนิดลงไปเพื่อป้องกันการลดลงของกลิ่นรสที่จะระเหยออกไปในระหว่างการทำแห้งได้ (Main *et al*., 1978)

11.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้เร็ว โดยใช้เวลาในการทำแห้งที่สั้นมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีคุณภาพคงเดิมใกล้เคียงสภาพสดมาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากการทำแห้งแบบนี้จะมีลักษณะสม่ำเสมอ คือ มีขนาด รูปร่าง และปริมาณความชื้นเหลืออยู่น้อยในปริมาณที่ใกล้เคียงกันในทุก ๆ

อนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (สมบัติ, 2529) Pointing *et al*. (1973) กล่าวว่า หลักการทำงานของการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ วัตถุดิบในรูปของเหลวจะถูกพ่นหรือทำให้มีอนุภาคเล็กๆ เข้าไปในกระแสของลมร้อน หรือ อากาศอุ่นที่มีปริมาณของความชื้นต่ำ จากนั้นอนุภาคเล็กๆ จะตกลงมาด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ผ่านกระแสของลมร้อนลงมา และแห้งสนิทเมื่อตกลงมาถึงด้านล่างพอดีก่อนจะถูกแยกเก็บในรูปของผงละเอียด

สำหรับคุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะนำมาทำแห้งแบบพ่นฝอย ควรเป็นสารละลายน้ำได้ทั้งหมด เป็นของเหลวที่มีปริมาณของแข็งอยู่สูงกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 50 ขึ้นกับชนิดของอาหาร และของเหลวต้องไหลได้ และการทำให้วัตถุดิบมีความเข้มข้น อาจทำได้โดยการต้มระเหยน้ำออกหรือการระเหยภายใต้สุญญากาศเพื่อรักษากลิ่นรส และสีของวัตถุดิบ วัตถุดิบไม่ควรมีน้ำตาลสูงมาก เพราะจะทำให้แห้งไม่สนิท และเกาะติดผนังเครื่องทำแห้ง วัตถุดิบที่มีไขมันมากไม่เหมาะกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพราะผงที่ได้จะแห้งไม่สนิท และจะละลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง หรือวัตถุดิบที่มีเส้นใยมากจะเกิดปัญหาอุดตันหัวฉีดได้ง่าย วัตถุดิบมีปริมาณเกลือและกรดสูงจะเกิดปัญหาสึกกร่อนของภาชนะเครื่องทำแห้ง วัตถุที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนใหญ่มักมีแป้งและโปรตีนเป็นองค์ประกอบ อาจมีไขมันหรือน้ำตาลบ้างเล็กน้อย และอาจมีการเติมสารตัวกลาง (carrier) บางชนิดเพื่อลดปัญหาการเกาะติดผนังของเครื่องทำแห้ง ควรอุ่นตัวอย่างให้ร้อนประมาณ 70 – 80 องศาเซลเซียส ก่อนนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ยกเว้นอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อน เช่น ไข่ขาว (สมบัติ, 2529; ประศาสตร์, 2523)

การเตรียมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำได้โดยทำความสะอาดเครื่อง เช็ดผนังภายในให้แห้งสนิท ตรวจข้อต่อต่างๆของเครื่อง ขันเกลียวให้สนิทไม่รั่ว ตรวจสอบหัวฉีดไม่อุดตัน สะอาดไม่มีเศษอาหารติดค้าง สวมขวดแก้วเข้ากับเครื่องเพื่อรองรับอาหารแห้งที่ออกจากเครื่อง เดินเครื่องเพื่อให้ขดลวดร้อนทำงาน และให้ลมหมุนเวียนอุณหภูมิภายในตัวถังต้องควบคุมอยู่ระหว่าง 180 - 220 องศาเซลเซียส ลมร้อนออกจากถังประมาณ 80 – 100 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดของอาหาร (สมบัติ, 2529)

Main *et al*. (1978) ทำแห้งแบบพ่นฝอยสารละลายแอนโธไซยานินซึ่งสกัดจาก 3 แหล่ง คือ เปลือกองุ่น เปลือกผลแครนเบอร์รี่ ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานน้ำผลไม้ และกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง โดยนำสารละลายแอนโธไซยานินที่สกัดได้มาทำให้เข้มข้น โดยการระเหยแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ผสมเดกซ์ตินซึ่งมีค่า Dextrose Equivalent (DE) เป็น 10 –

13 ลงในสารละลายสกัดที่เข้มข้นแล้ว ทดลองหาอุณหภูมิลมออกที่เหมาะสมของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรอุณหภูมิลมออกเป็น 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิลมออกที่ 90 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าที่ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ค่า degradation index (DI) ต่ำกว่า นั้นคือ การสลายตัวของแอนโธไซยานินที่ 90 องศาเซลเซียสต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

Al-Kahtani and Hassen (1990) ทำแห้งสารละลายจากดอกกระเจี๊ยบแดงโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยปรับปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดในสารละลายคิดเป็นร้อยละ 19 ใช้อุณหภูมิของลมร้อนเข้าก่อนการทำแห้ง 193.70 ถึง 203.30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนออกหลังทำแห้ง 97.10 ถึง 100.5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิอากาศเข้าที่ 195 องศาเซลเซียส ให้คุณภาพผงกระเจี๊ยบดีที่สุด ได้ผงสีที่มีลักษณะคุณภาพ คือ ปริมาณความชื้นร้อยละ 3.78 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 0.95 ค่าความหนาแน่นของผงสี 0.76 กรัมต่อมิลลิตร

Chen and Tang (2000) ศึกษาการผลิตผงแคโรทีนอยด์จากกากแครอทที่เหลือจากการผลิตน้ำแครอท โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต คือ ใช้สารละลายที่มีของแข็งทั้งหมดร้อยละ15 อุณหภูมิลมขาเข้า 135 – 145 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมขาออก 90 – 100 องศาเซลเซียส

นัยวิท (2538) ใช้สภาวะในการทำแห้งสารละลายจากดอกกระเจี๊ยบแห้งคือ ใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออก 100 ± 3 องศาเซลเซียส ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 18 และเติมมอลโตเดกซ์ตรินปริมาณ ร้อยละ 35 ของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมดของสารละลายสีแดงเข้มข้นจนสารละลายมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมดร้อยละ 20 ถึง 25

11.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Master (1991) และ สมบัติ (2529) ได้กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่

11.2.1 ความเร็วของหัวเหวี่ยง (atomizer speed) ในขณะที่อัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ การเพิ่มความเร็วของหัวเหวี่ยงมีผลทำให้ละอองของเหลวที่ฉีดได้มีขนาดเล็กลงผงที่ได้จะละเอียดและมีความหนาแน่นมาก

11.2.2 ความหนืดของวัตถุดิบ (viscosity) และอุณหภูมิของวัตถุดิบก่อนเข้าทำแห้ง ในขณะที่หัวเหวี่ยงทำงานด้วยความเร็วคงที่ การเพิ่มความหนืดของวัตถุดิบและการลดอุณหภูมิของวัตถุดิบก่อนเข้าทำแห้ง มีผลทำให้ละอองของเหลวที่ฉีดได้มีขนาดใหญ่ขึ้น การระเหยน้ำเปลี่ยนไป ผงที่ได้มีขนาด และมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

11.2.3 อัตราความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ (feed rate) ในขณะที่หัวเหวี่ยงทำงานด้วยความเร็วคงที่ การเพิ่มอัตราความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ จะทำให้ละอองของเหลวที่อัดฉีดมามีขนาดใหญ่ขึ้น และผงที่ได้มีขนาดใหญ่หยาบ

11.2.4 ชนิดหัวฉีด (atomizers) การเลือกชนิดของหัวฉีดจะขึ้นกับขนาดของอนุภาคผง และลักษณะการกระจายของขนาดผงที่ต้องการ ถ้าใช้หัวเหวี่ยงแบบโรตารี่ (rotary atomizers) ขนาดของอนุภาคผงแห้งอยู่ระหว่าง 20 – 150 ไมครอน และถ้าต้องการผงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถทำได้โดยผลิตในห้องทำแห้งขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าหัวฉีดแบบใช้ความดัน (pressure atomizers) ขนาดของอนุภาคผงแห้งอยู่ระหว่าง 120 – 300 ไมครอน

11.2.5 ประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวกลายเป็นละอองฝอย ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบของหัวเหวี่ยงตั้งแต่ความเร็วในการหมุนของวงล้อหัวเหวี่ยง จำนวนรอบหมุน ลักษณะของใบพัด (vanes) ลักษณะของปลอกวงล้อ (busing) และปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้า

11.2.6 อุณหภูมิในการทำแห้ง (drying temperature) การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าทำแห้ง (inlet air temperature) ในขณะที่อัตราความเร็วลมคงที่จะทำให้การระเหยน้ำเพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิของลมร้อนก่อนเข้าทำแห้งสูงเกินไป ผงที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผงจะมีลักษณะรูพรุน หรือโปร่ง การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนหลังการทำแห้ง (outlet air temperature) ในขณะที่อัตราความเร็วลมคงที่จะทำให้ปริมาณความชื้นของผงที่ได้ลดลง ถ้าต้องการผงที่ได้มีอนุภาคใหญ่เกาะกันเป็นเม็ดจะใช้อุณหภูมิลมร้อนหลังการทำแห้งที่ระดับต่ำ ผงที่ได้จะมีคุณสมบัติละลายน้ำง่าย

11.2.7 ทิศทางและอัตราเร็วของลมร้อน อัตราเร็วของลมร้อนเป็นตัวควบคุมระยะเวลาในการทำแห้งของละอองของเหลว ถ้าระยะเวลาในการทำแห้งนานความชื้นในผงที่ได้จะลดลง การลดอัตราความเร็วของลมร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกผงออกจากเครื่องทำแห้ง ส่วนการกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของลมร้อนภายในห้องทำแห้งเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมาก เพราะถ้าทิศทางการไหลของลมร้อนเหมาะสมจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้เร็วขึ้นโดย ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนในห้องทำแห้งแบ่งออกเป็น 5 แบบ คือ เคลื่อนที่ขนานตามแนวราบกับละอองของเหลว เคลื่อนที่ลงขนานตามแนวดิ่งกับละอองของเหลว เคลื่อนที่ขึ้นขนานตามแนวดิ่งกับละอองของเหลว เคลื่อนที่สวนทางตามแนวดิ่งกับละอองของเหลว และเคลื่อนที่แบบผสม โดยลมร้อนถูกพ่นเข้าด้านข้างค่อนไปทางด้านบนของห้องทำแห้ง ละอองของเหลวถูกพ่นออกจากด้านบน มีเครื่องดูดอากาศออกทางด้านบน ทำให้ลมร้อนเกิดการผสมวนเวียนกับละอองของเหลวภายในห้องทำแห้ง

11.3 สารตัวกลาง (carrier)

สำหรับกระบวนการผลิตผงสีจากดอกกระจี๊ยบแดงมักเกิดปัญหาที่สำคัญคือ การที่ผงสีที่ผลิตได้มีการเกาะติดผนังภายในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และจากการที่ผงสีที่ผลิตได้ดูดความชื้นอย่างรวดเร็วเกิดเป็นลักษณะเยิ้มเหนียวได้ง่ายเมื่อตั้งทิ้งไว้ เนื่องจากมีน้ำตาลความเข้มข้นสูง (Al-Kahtani and Hassen, 1990) เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ในการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยควรมีสารตัวกลาง ซึ่งเป็นสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งและกระจายสารเคมีบางอย่างซึ่งถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน หรือเป็นสารพวกที่ระเหยได้ง่าย โดยสารตัวกลางทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บสารเหล่านี้ไว้แทน ทำให้ถูกทำลายด้วยความร้อนหรือระเหยได้น้อยลง (สมบัติ, 2529)

มอลโทเดกซ์ทรินมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ประมาณ 900-9000 มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_6H_{12}O_6).H_2O$ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกับกลูโคสไซรัป ประกอบด้วยหน่วยของ D-glucose หลายๆ หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-(1$\rightarrow$6) และค่าสมมูลย์เดกซ์โทรส (Dextrose Equivalent หรือ DE) ต่ำกว่า 20 เตรียมได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช การไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือ โดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (อรพิน, 2533) เพื่อให้เกิดสารละลายกลูโคสพอลิเมอร์ (glucose polymer solution) ที่มีสายยาว สารละลายนี้จะถูกกรองและทำให้แห้งหรือทำให้เข้มข้นมากขึ้นเพื่อให้ได้มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชที่นำมาใช้ ได้แก่ สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวเจ้า มัน สำปะหลัง มันฝรั่ง เป็นต้น โดยทั่วไปที่นิยมผลิตจะมีค่า DE อยู่ในช่วง 5-19 มอลโทเดกซ์ทรินอาจ

อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นหรือรูปผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวาน หรือหวานเล็กน้อย จัดเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย (รุ่งนภา, 2539) ค่าความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 3.0- 5.0 ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 32 – 36 ปอนด์ต่อตารางฟุต ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.0 – 5.5 มีการแบ่งชนิดตามค่าสมมูลเด็กซ์โตส หรือค่า D.E. ซึ่งเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในตัวอย่างเมื่อใช้วิธีการตรวจวัดโดยวิธีรีดักชัน มอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า D.E. ต่ำ จะมีค่าการดูดความชื้นต่ำและค่าการละลายจะน้อยลง แต่การใช้มอลโทเด็กซ์ทรินที่มีค่า D.E. สูง จะมีค่าการดูดความชื้นสูงขึ้น และค่าการละลายเพิ่มขึ้น แต่บางครั้งอาจทำให้สารสีที่ถูกเติมเกิดความขุ่นได้ และมีผลทำให้มีความหนืดลดลง (Walance, 1973; สมบัติ, 2529)

คุณสมบัติของมอลโทเด็กซ์ทรินที่นำมาพิจารณาในการใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์อาหาร อธิบายโดย Risch and Reineccius (1998) มีดังนี้

ก. ทำให้อิมัลชั่นเกิดความคงตัวสำหรับการทำสารห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย

ข. มีคุณสมบัติเป็นฟิลม์ในกรณีเป็นสารห่อหุ้มกลิ่นรส สารที่เลือกใช้จะทำหน้าที่เป็นฟิลม์หรือโฟมหรือเป็นเยื่อเลือกผ่านที่ล้อมรอบสารให้กลิ่นรส โดยคุณสมบัติเหล่านี้จะทำหน้าที่ในการปกป้องกลิ่นรสได้

ค. มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารที่ไม่ดูดความชื้น ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะผงแห้ง โดยความชื้นสัมพัทธ์ได้

ง. การเติมมอลโทเด็กซ์ทรินจะทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนของน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีช้าลง

จ. การปลดปล่อยกลิ่นรส มอลโทเด็กซ์ทรินละลายได้ในน้ำเย็น ไม่หวาน ไม่มีกลิ่น ได้สารละลายใส เมื่อใช้เป็นสารห่อหุ้มกลิ่นรสจะสามารถปลดปล่อยกลิ่น-รสของผลิตภัณฑ์ได้ดี

ฉ. ราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย มอลโทเด็กซ์ทรินมีราคาต่ำกว่าสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลายๆ ตัวและยังสามารถใช้ร่วมกับสารอื่นได้

11.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้ง (รุ่งนภา, 2540)

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการถนอมและแปรรูปด้วยการทำแห้งมาแล้วจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาไว้ก่อนที่จะนำมาบริโภค ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นั้นอาจมีการเสื่อมเสีย เช่น การเสื่อมเสียคุณภาพของสี กลิ่นรส และการเสื่อมเสียเหล่านี้มีผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นระหว่างเก็บรักษา ดังนั้นจึงควรทราบปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้ง และวิธีการควบคุมปัจจัยดังกล่าวเพื่อทำให้อายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น

11.4.1 ชนิดและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติที่แตกต่างกันจะมีอิทธิพลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งประเภทที่ประกอบด้วยน้ำตาลและกรดอะมิโนโปรตีนสูง จะทำให้มีการเสื่อมเสียคุณภาพได้มากจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาล ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นชิ้นและผงมีความชื้นต่ำ เมื่อเก็บไว้ในสภาวะแวดล้อมปกติซึ่งมีความชื้นในบรรยากาศสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทำให้น้ำจากภายนอกดูดซึมเข้าไปในผลิตภัณฑ์ได้ดี จึงทำให้เกิดการเกาะกลุ่มเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ เมื่อดูดซึมน้ำเข้าไปมากจะทำให้อาหารผงเหนียวสูญเสียสภาพการเป็นอาหารผงได้

11.4.2 สภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แห้ง ควรคำนึงถึง

ก. ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ เช่น สภาพแวดล้อมในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ยิ่งสูง จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งดูดความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบจะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียได้

ข. ออกซิเจนในบรรยากาศ อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารเคมีหรือสารอาหารในผลิตภัณฑ์ เช่น การเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน ทำให้เกิดกลิ่นหืน

ค. อุณหภูมิและแสงในขณะเก็บรักษา เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้อายุการเก็บสั้นลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาต่างๆที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพจะเกิดได้เร็วขึ้น เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสี และการเสื่อมเสียวิตามินบางชนิด เป็นต้น ดังนั้นควรป้องกันโดยเก็บในที่มีความชื้นต่ำ ความชื้น

ผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 1จะสามารถเก็บได้นาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสี

ง. สัตว์ แมลง จุลินทรีย์ และสิ่งปนเปื้อนต่างๆในสภาพที่เก็บรักษา เช่น หนู และแมลงไปกัดแทะผลิตภัณฑ์ให้เกิดความเสียหาย

จ. คุณสมบัติของภาชนะบรรจุ โดยทั่วไปภาชนะที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งนั้นควรป้องกันความชื้น แสง อากาศ ฝุ่นละออง จุลินทรีย์ แมลง และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆได้ มีความคงทน มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสม ปลอดภัย และมีราคาที่เหมาะสมกับมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่มาบรรจุซึ่งภาชนะที่นำมาบรรจุผลิตภัณฑ์แห้งนั้นมีหลายประเภท เช่น ถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีน ถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน ขวดแก้วสีชา ถุงพลาสติกที่ประกบกันระหว่างพลาสติกต่างชนิดกัน คือ ถุงลามิเนทของอลูมิเนียมและพลาสติก (aluminium foil) ซึ่ง มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและก๊าซได้ ปลอดภัยในการใช้ มีความคงทนต่ออุณหภูมิสูง และต่ำได้ดี ใช้วัสดุที่หาง่ายและราคาไม่แพง