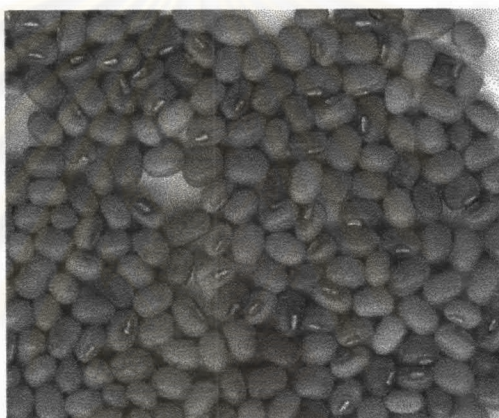


บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ถั่วแดง (*Phaseolus aureus* Roxb.)

ถั่วแดงที่ปลูกในประเทศไทย เป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งที่ใช้เมล็ดสำหรับบริโภคโดยตรงในรูปต่างๆ และมีคุณค่าทางอาหารสูง พืชตระกูลถั่วเหล่านี้อยู่ใน genus *Phaseolus* ซึ่งทางวิทยาศาสตร์ว่า *Phaseolus aureus* Roxb. มีเมล็ดเล็กเท่าเมล็ดถั่วเขียว และเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีแดง ลักษณะเมล็ดถั่วแดงคล้ายกับถั่วเขียวผิวมันมาก ผิดกันแต่สีของเปลือกหุ้มเมล็ดจะเป็นสีแดงคล้ายแทนที่จะเป็นสีเขียว (นาค โพธิ์แทน, 2521)



รูปที่ 2.1 ถั่วแดง (*Phaseolus aureus* Roxb.)

ถั่วแดงเป็นพืชวันสั้น มีอายุ 60-70 วัน ปลูกกันมากแถบจังหวัดนครสวรรค์และสุพรรณบุรี โดยปลูกหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวโพด (สนิท และคณะ, 2523) การบริโภคภายในประเทศมีปริมาณน้อย โดยนำมาต้มน้ำตาลเช่นเดียวกับถั่วเขียว ผลผลิตส่วนมากจะเป็นสินค้าส่งออก แต่ปริมาณการส่งออกไม่มากนัก ผู้ซื้อที่สำคัญคือญี่ปุ่น เพื่อนำไปทำไส้ขนม นอกจากนั้นส่งขายให้มาเลเซีย สิงคโปร์ และสิงคโปร์บ้างในปริมาณเล็กน้อย การส่งออกในแต่ละปีไม่แน่นอน ในช่วงหลังมีแนวโน้มลดลง เพราะราคาไม่แน่นอน และตลาดมีจำกัด ทำให้ชาวไร่ไม่นิยมปลูก นอกจากนั้นยังมีประเทศคู่แข่งที่สำคัญ ซึ่งผลิตถั่วแดงได้ในปริมาณมากและมีคุณภาพดี คือ สาธารณรัฐประชาชนจีน และไต้หวัน (ชาติวี สิทธิอาจารย์พงศ์, 2519)

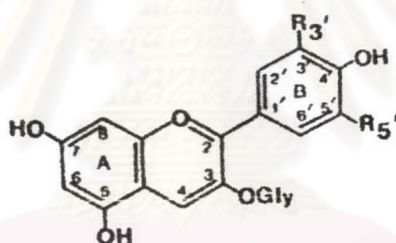
เนื่องจากการส่งออกมีแนวโน้มลดลง และปริมาณการใช้ภายในประเทศมีน้อย ทำให้ผลผลิตมีมากเกินไปความต้องการใช้ภายในประเทศ ราคาถั่วจึงต่ำกว่าชนิดอื่น จึงควรหาทางนำมาใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมภายในประเทศ ซึ่งจะทำให้ปริมาณการใช้ภายในประเทศเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของถั่วแดงพบว่า มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 24.83 ไขมัน ร้อยละ 2.75 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 46.43 เส้นใย ร้อยละ 4.84 และเถ้า ร้อยละ 3.66 (Lii and Chang, 1981) องค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ สารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งเป็น phenolic acid และฟลาโวนอยด์ ส่วนใหญ่พบในเปลือกหุ้มเมล็ด สารประกอบฟีนอลิกที่พบแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ phenolic acid และแอนโทไซยานิน (Reyes-Moreno and Paredes-Lo'pez, 1993) สารในกลุ่มฟีนอลิกจัดเป็น สารแอนติออกซิแดนซ์ที่สามารถให้ไฮโดรเจนได้อย่างรวดเร็วเพื่อยับยั้งอนุมูลอิสระ Tsuda และคณะ (1994) พบว่าแอนโทไซยานินในเมล็ดถั่วแดงมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้

2.2 แอนโทไซยานิน

2.2.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุตามธรรมชาติ พบได้ในอวัยวะส่วนต่างๆ เช่น ดอก ใบ และผลของพืชหลายชนิดที่มีองค์ประกอบของสารสีม่วง แดงและน้ำเงิน โดยจะละลายอยู่ใน vacuole sap ของเซลล์พืช พบมากในองุ่น ราชเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ แอปเปิ้ล และกระหล่ำปลีแดง เป็นต้น โครงสร้างของแอนโทไซยานิน แสดงดังรูป 2.2



Anthocyanidin	Substitute pattern		Color
	R ₃	R ₅	
Pelargonidin	H	H	Orange
Cyanidin	OH	H	Orange-red
Delphinidin	OH	OH	Blue-red
Peonidin	OCH ₃	H	Orange-red
Petunidin	OCH ₃	OH	Blue-red
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃	Blue-red

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแอนโทไซยานินที่มักพบในธรรมชาติ

ที่มา: Hendry and Houghton (1996) ; Jackman and Yada(1987)

แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิก อยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีโครงสร้างหลักคือ $C_6C_3C_6$ โมเลกุลของแอนโทไซยานินประกอบด้วยส่วนที่เป็นอะไกลโคน (aglycone) เรียกว่าแอนโทไซยานิดิน พบทั่วไปมี 6 ชนิด คือ petargonidin, cyanidin, peonidin, delphinidin, pelunidin และ malvidin และส่วนที่เป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส กาแลคโตส แรมโนส และอะราบิโนส เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าแอนโทไซยานินสามารถจับอยู่กับน้ำตาลโมเลกุลคู่หรือมากกว่าได้อีก ชนิดของแอนโทไซยานินจะแตกต่างกันไปตามจำนวนหมู่ hydroxy หรือ methoxy ที่มีอยู่ ชนิดและจำนวนของน้ำตาล รวมถึงตำแหน่งที่จับกันในโมเลกุล (Hutchings, 1994) แอนโทไซยานินเป็นอนุพันธ์ของ polyhydroxy และ polymethoxy ของสาร 2-phenylbenzopyrylium (flavylium) ละลายน้ำได้ดี และไม่ละลายในตัวทำละลายประเภท non-hydroxyl เช่นอีเธอร์ เบนซีน อะซิโตน คลอโรฟอร์ม เป็นต้น

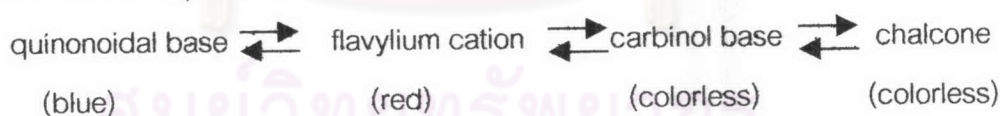
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน

2.2.2.1 พีเอช

แอนโทไซยานินสามารถใช้เป็นอินดิเคเตอร์ของพีเอชได้ เนื่องจากจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีตามพีเอช ในสภาวะที่เป็นกรด แอนโทไซยานิน จะอยู่ในรูป flavylium ion (AH^+) เป็นส่วนมาก ทำให้สารละลายมีสี ในสภาวะที่เป็นด่างแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูป quinonoidal base, carbinol psudobase และ chalcone ทำให้สารละลายไม่มีสี

2.2.2.2 อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่อเพิ่มความร้อน จะทำให้สมดุลของสมการจะเปลี่ยนจากซ้ายไปขวา ดังนี้



และในการย้อนกลับของสมการไปเป็น flavylium cation จะเป็นไปได้ต่ำ

2.2.2.3 ออกซิเจนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โครงสร้างของแอนโทไซยานินสามารถสลายได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรงในสภาวะที่มีออกซิเจน หรือถูกเหนี่ยวนำโดยสารออกซิไดส์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hendry and Houghton, 1996)

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน เช่น แสง เอนไซม์ กรดแอสคอร์บิก โลหะหนัก เป็นต้น

2.2.3 การนำแอนโทไซยานินไปใช้ประโยชน์

แอนโทไซยานินเป็นสารให้สีจากธรรมชาติที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย เนื่องจากสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์สามารถถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ให้เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จาก A-ring และกรดที่ระเหยได้ชนิดต่างๆจาก B-ring ซึ่งไม่มีส่วนใดที่จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย

แอนโทไซยานินเป็นสารให้สีแดงและละลายน้ำได้ดี จึงมักนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เครื่องดื่มต่างๆ ไวน์ ลูกกวาด โยเกิร์ต เป็นต้น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีข้อเสนอแนะว่า ควรบริโภคแอนโทไซยานิน 180-215 มิลลิกรัมต่อวัน (Wang, Cao and Prior, 1997)

2.3 การเกิดออกซิเดชันในอาหาร

ในอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสามารถเกิดออกซิเดชันได้เมื่อพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดนี้ทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดส์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรืออนุมูลอิสระและทำให้ไขมันเปลี่ยนไปเป็นอนุพันธ์ของไฮโดรเปอร์ออกไซด์

2.3.1 กลไกการเกิดออกซิเดชัน

การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบของอาหารที่มีลิปิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ กลไกในการเกิดออกซิเดชัน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

(1) Initiation

เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระจากสารตั้งต้นที่ไม่ได้อยู่ในรูปของอนุมูล ดังนี้



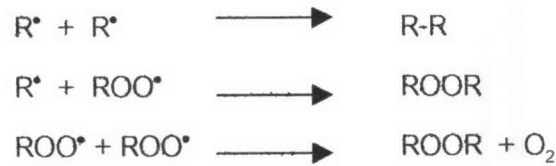
(2) Propagation

เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยอนุมูลอิสระจาก initiation step ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็น peroxy radical (ROO^{\bullet}) และทำปฏิกิริยากับลิปิดต่อ เกิดเป็น hydroperoxide (ROOH) และ hydrocarbon radical (R^{\bullet})

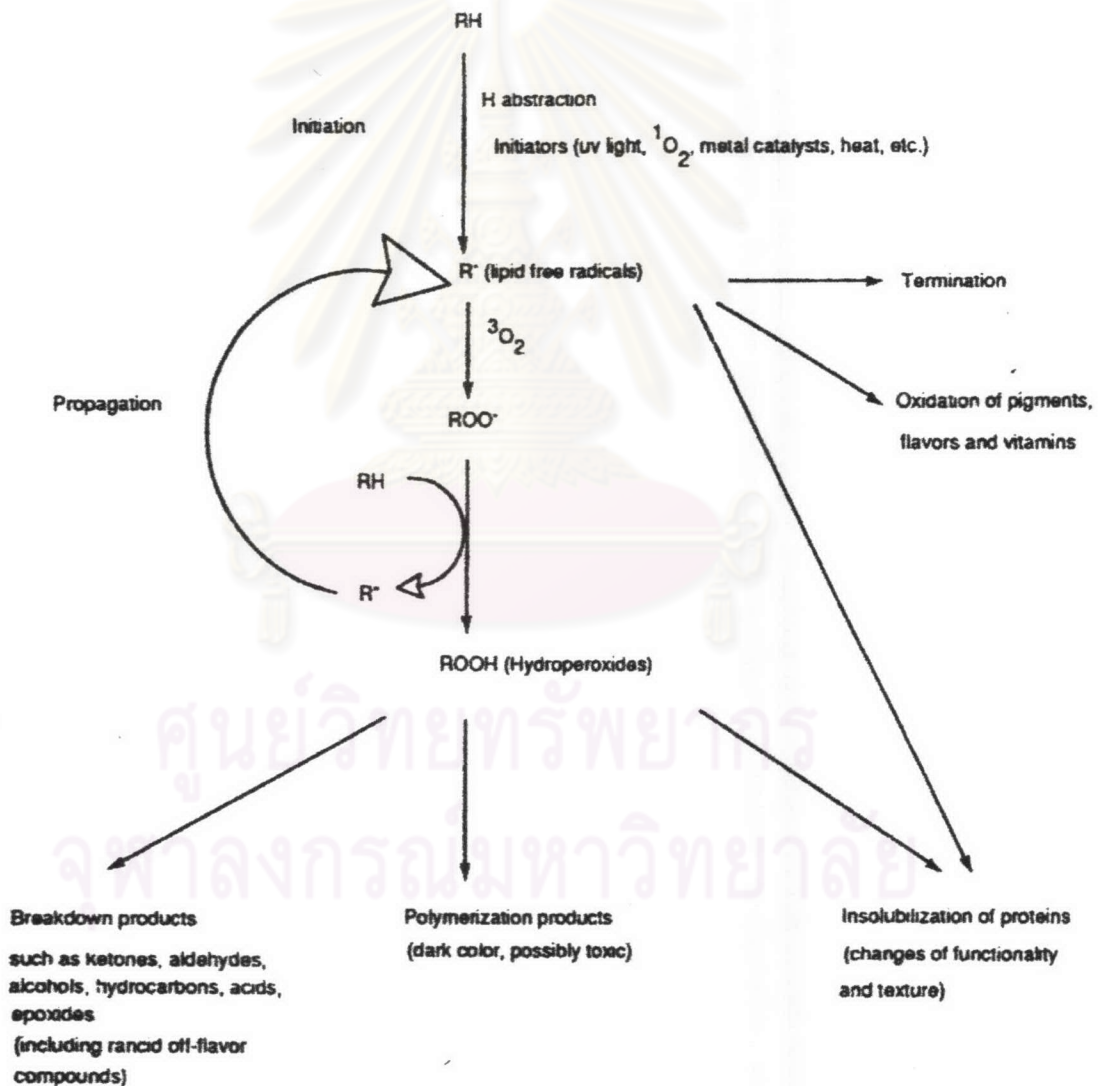


(3) Termination

เป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระเกิดการรวมตัวกัน เป็นสารประกอบที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูล



เมื่อไม่มีอนุมูลอิสระเหลือพอสำหรับทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนแล้ว หากยังมีออกซิเจนเหลืออยู่มากพอ ก็จะเริ่มต้น initiation step เพื่อให้เกิดอนุมูลอิสระใหม่ ปฏิกิริยานี้ใช้พลังงานในการทำลายพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนประมาณ 80 กิโลแคลอรี และพลังงานนี้จะลดลงในภาวะที่มีโลหะ เอนไซม์ หรือแสงช่วยกระตุ้น กลไกการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในอาหาร
ที่มา: Shahidi, Janitha, and Wanasundara (1992)

2.4 สารแอนติออกซิแดนซ์

สารแอนติออกซิแดนซ์ทำหน้าที่ในอาหารและระบบของสิ่งมีชีวิตดังนี้

2.4.1 Radical scavenger ได้แก่

Hydrogen donor

Electron donor

2.4.2 Peroxide decomposer

2.4.3 Singlet oxygen quencher

2.4.4 Enzyme inhibitor

2.4.5 Synergist ได้แก่

Metal chelating agent: reducing agent

สารแอนติออกซิแดนซ์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

(1) Primary antioxidant (chain-breaking antioxidant)

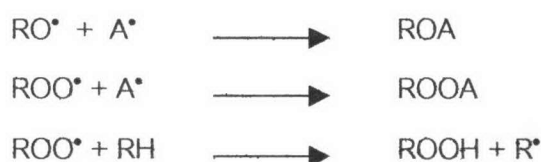
(2) Secondary antioxidant (preventive antioxidant)

Primary antioxidant

เป็นแอนติออกซิแดนซ์ที่ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันโดยเข้าไปขัดขวางปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระโดยให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระหมดสมบัติการเป็นอนุมูลอีกต่อไป ส่วนตัวสารแอนติออกซิแดนซ์เองจะเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระที่มีความเสถียร เนื่องจากเกิด resonance delocalization คืออิเล็กตรอนเดี่ยวที่เหลืออยู่ในโมเลกุลจะวิ่งวนไปทั่วโครงสร้างวงแหวน ก๊าซออกซิเจนจึงไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ (Shahidi, Janitha, and Wanasundara, 1992) โดยทั่วไป primary antioxidant มักเป็น polyphenolic ที่ใช้กันมากจะมีหมู่ hydroxyl หนึ่งหรือสองหมู่และหมู่ -OR ในตำแหน่ง ortho หรือ para เช่น โทโคฟีรอล กรดแกลลิก แควโรทีนอยด์ เป็นต้น กลไกการทำงานของแอนติออกซิแดนซ์เป็นดังนี้



นอกจากนี้สารแอนติออกซิแดนซ์ยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดเป็นสารประกอบดังนี้



Secondary antioxidant

เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่ไม่ได้ยับยั้งขั้นตอนต่างๆของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นโดยใช้กลไกต่างๆ เช่น จับกับอิออนของโลหะ หรือดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต สารที่นิยมใช้ได้แก่ กรดซิตริก แอสคอร์บิกและทาร์ทาริก

2.5 กระบวนการแปรรูปเมล็ดพืชเพื่อใช้ผลิตเครื่องดื่ม

กระบวนการแปรรูปเมล็ดพืชที่มักใช้เพื่อผลิตเครื่องดื่มคือกระบวนการคั่ว เนื่องจากเป็นการพัฒนาให้เกิดกลิ่นรสขึ้นในผลิตภัณฑ์ เมล็ดพืชที่นิยมใช้กระบวนการนี้คือเมล็ดกาแฟ

2.5.1 การคั่วกาแฟ

การคั่วกาแฟแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

(1) Light roast เป็นการคั่วที่ให้ระดับอุณหภูมิ ประมาณ 380-390 องศาฟาเรนไฮด์ หรือ 193-199 องศาเซลเซียส การคั่วระดับนี้จะให้กลิ่นรสน้อย ให้เครื่องดื่มที่มีรสชาติอ่อน น้ำหนักหายไปร้อยละ 12-14 จึงทำให้เมล็ดกาแฟมีน้ำหนักมาก สีไม่ค่อนดีเท่าที่ควร

(2) Medium roast เป็นการคั่วที่ให้ระดับอุณหภูมิ ประมาณ 400 องศาฟาเรนไฮด์ หรือ 204.0 องศาเซลเซียส การคั่วระดับนี้จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดีที่สุด ให้เครื่องดื่มพิเศษประมาณ 5.1-5.3 รสชาติเครื่องดื่มจะดี จะให้สีกาแฟดีมาก

(3) Dark roast เป็นการคั่วที่ให้ระดับอุณหภูมิ ประมาณ 425-430 องศาฟาเรนไฮด์ หรือ 218.3-221.1 องศาเซลเซียส การคั่วที่ระดับนี้จะทำให้เมล็ดกาแฟปล่อยน้ำออกมามากที่สุด ทำให้สูญเสียปริมาณกรดในเมล็ดกาแฟ จึงได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติขมมากกว่า (ไพโรจน์ วิริยะจारी, 2535)

2.5.1.1 อิทธิพลของระดับการคั่ว

2.5.1.1.1 สี

ระดับการคั่วมีผลต่อสีและสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการเพิ่มระดับการคั่ว จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มขึ้น Sivetz (1963) แสดงความสัมพันธ์ของระดับการคั่ว ต่อร้อยละน้ำหนักที่หายไป กับสีที่เกิดขึ้น ดังตารางที่ 2.1

2.5.1.1.2 ความเป็นกรด

ความเป็นกรดของกาแฟขึ้นกับระดับการคั่ว การคั่วอย่างอ่อน (light roast) จะให้ความเป็นกรดสูง การคั่วอย่างเข้ม (dark roast) จะให้ความเป็นกรดต่ำ

Nunes และคณะ (1997) ศึกษาการคั่วกาแฟ โดยควบคุมจากน้ำหนักเมล็ดที่หายไป จากร้อยละ 4 ถึง 14.1 พบว่าพีเอชลดลงเมื่อเพิ่มระดับการคั่ว

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของระดับการคั่วกาแฟ ต่อร้อยละน้ำหนักที่หายไป กับสีที่เกิดขึ้น

ชื่อระดับการคั่ว	ร้อยละน้ำหนักที่หายไป	สีของเมล็ด
Cinnamon	12	Reddish brown
Medium high-city roast	14	Deep brown
Full city	16	Dark brown
French	18	Very dark brown
Italian	20	Black burnt

2.5.1.1.3 สารละลายน้ำที่สกัดได้

สารที่ละลายน้ำได้ เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญ เพราะเป็นส่วนที่ผู้บริโภคได้รับในการดื่ม สารที่ละลายน้ำได้นี้จะละลายออกมากับน้ำเดือด ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของกาแฟและระดับการคั่ว Sivetz (1963) รายงานว่าการคั่วกาแฟระดับ cinnamon จะให้สารที่ละลายน้ำได้ ร้อยละ 23 และการคั่วระดับ full city ซึ่งใช้อุณหภูมิสูงกว่า จะให้สารที่ละลายน้ำได้ ร้อยละ 21 เมื่อศึกษาอิทธิพลของระดับการคั่วในเมล็ดธัญชาติอื่น จากงานวิจัยของ Kim, Lee, and Kim (1998) ซึ่งทำการคั่วมอลท์ ที่อุณหภูมิ 235 245 และ 255 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการคั่ว เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในมอลท์ถูกไฟโรไลซิส ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปและละลายได้มากขึ้น จากงานวิจัยของ Nunes และคณะ (1997) สรุปผลไว้ว่าการคั่วอย่างอ่อน (light roast) สารที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการคั่ว แต่การคั่วอย่างเข้ม (dark roast) ปริมาณสารที่ละลายน้ำได้จะลดลงเมื่อเพิ่มระดับการคั่ว

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการคั่ว (Sivetz and Foote, 1963)

การคั่วเป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการปรับปรุงกลิ่นรสของเครื่องดื่ม อีกทั้งยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพขององค์ประกอบภายในวัตถุดิบ น้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในเมล็ดกาแฟ จะระเหยเป็นไอออกไปจากเมล็ดที่อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟประมาณ 100 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของเมล็ดสูงถึง 180 องศาเซลเซียส องค์ประกอบภายในเมล็ดจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน (pyrolysis) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งจะเปลี่ยน

สารประกอบอินทรีย์บางส่วนในเมล็ดไปเป็นสารให้กลิ่นรส ปฏิกริยาเคมีที่เกิดจากไฟโรไลซิส บางชนิดเป็นแบบคายความร้อน ทำให้เมล็ดกาแฟมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 200-210 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปของเมล็ดกาแฟขึ้นกับระดับของการคั่ว

จากการศึกษาอัตราการหายไปของน้ำหนักเมล็ดกาแฟในขณะคั่ว พบว่ามี 2 อัตราเร็ว อัตราแรกเกิดจากการระเหยเป็นไอของน้ำออกไปสู่ภายนอก ซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ อัตราเร็วที่สองเกิดจากไฟโรไลซิสซึ่งเกิดขึ้นเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียสหรือ ณ เวลาที่น้ำหนักของเมล็ดกาแฟหายไปร้อยละ 10 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของปฏิกริยาไฟโรไลซิส

2.5.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหลังผ่านการคั่ว

2.5.2.1.1 น้ำหนักที่หายไปทั้งหมด

โดยทั่วไปมีค่าประมาณร้อยละ 16-18 คิดเป็นน้ำหนักจากความชื้น ร้อยละ 10-20 และเป็นน้ำหนักที่หายไปหลังการเกิดไฟโรไลซิส ร้อยละ 4-6

2.5.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงพีเอช

เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกริยาไฟโรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระจายอยู่ในเมล็ด ทำให้พีเอชของกาแฟลดลง เป็น 5.5-4.9 ขึ้นอยู่กับชนิดของกาแฟ

2.5.2.1.3 การเปลี่ยนแปลงสีและรสชาติ

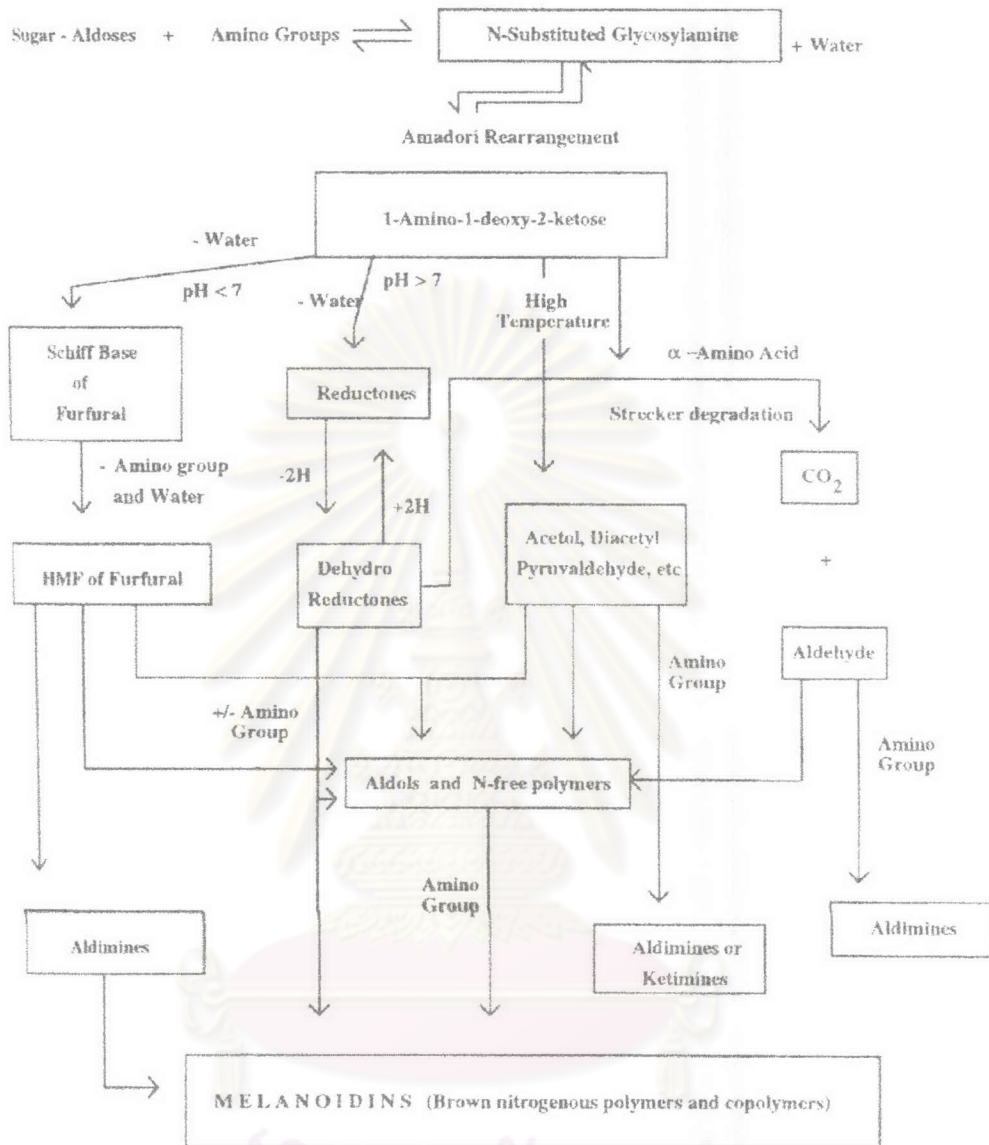
สีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการคั่ว เกิดขึ้นได้เพราะไฟโรไลซิสของคาร์บอนและโปรตีน รวมทั้งปฏิกริยา non-enzymatic browning reaction (รูปที่ 2.4) ซึ่งเป็นปฏิกริยาที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามามีส่วนร่วม มีผลทำให้เกิดสีน้ำตาล มีกลิ่นใหม่ ซึ่งสามารถแบ่งปฏิกริยาได้ดังนี้

Caramelization เกิดจากการให้ความร้อนสูงสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดโพลีเมอร์เซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น เช่นการเผาน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส น้ำจะถูกกำจัดออกไปจากโมเลกุลโดยปฏิกริยาดีไฮเดรชัน สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่จะมีพันธะคู่ และเป็นวงแหวน (anhydro ring) มีความข้นหนืด มีรสขม และมีสีเข้มขึ้น ซึ่งจะผันแปรตามระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ใช้ เมื่อน้ำตาลได้รับความร้อน จะสูญเสียน้ำประมาณ ร้อยละ 5.5 โดยไม่เกิดการสลายตัว และได้เป็นสารประกอบใหม่คือ isosacchrosan เมื่อน้ำตาลนี้ได้รับความร้อนมากขึ้น จะสูญเสียน้ำออกไปอีก 2 โมเลกุล และเกิดการรวมตัวกันของน้ำตาล 2 โมเลกุลได้เป็น dehydrosugar สารนี้จะลายน้ำได้ เมื่อได้รับความร้อนมากขึ้นจะสูญเสียน้ำมากขึ้น และเกิดการรวมตัวกันของน้ำตาลซูโครส 3 โมเลกุล ได้เป็นสารใหม่ เรียกว่า

caramelan หากยังให้ความร้อนต่อไปจะเกิดเป็น humin ซึ่งเป็นสารสีดำ ไม่ละลายน้ำและไม่แพร่กระจาย (Hutchings, 1994)

Maillard reaction สารตั้งต้นของปฏิกิริยานี้คือสารประเภทเอมีน กรดอะมิโน หรือโปรตีน กับสารที่มีหมู่คาร์บอนิล เช่น น้ำตาลรีดิทซ์ อัลดีไฮด์ และคีโตน ดังนั้นจึงอาจเรียกปฏิกิริยานี้ว่า carbonyl-ketone reaction เมื่อน้ำตาลอัลโดสหรือคีโตน ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิทซ์ได้รับความร้อนกับเอมีน จะทำให้เกิดสารประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของอาหาร น้ำตาลรีดิทซ์จะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน และโปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้เป็นสารสีน้ำตาล โดยทั่วไปสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำ หรือมีกิ่งก้านสาขาในโครงสร้างน้อยสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้รวดเร็ว เช่นอัลตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของน้ำตาลเพนโตส จะสูงกว่าน้ำตาลเฮกโซส และไดแซคคาไรด์ ตามลำดับ และอัลตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของหมู่อะมิโนก็ขึ้นกับโครงสร้างเช่นกัน โดยอัลตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของกรดอะมิโนจะสูงกว่าเปปไทด์ และโปรตีน ตามลำดับ (Hoskin, and Dimick, 1995) ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีดังนี้

1. น้ำตาลรีดิทซ์ทั้งคีโตนและอัลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน
2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็น imine หรือ Schiff base และมีการจัดเรียงตัวใหม่ ที่เรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็น aldosamine หรือ ketoseamine เรียกว่า Amadori product
3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ Amadori product ได้เป็น diketoseamine หรือ diamino sugar
4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อไป ได้เป็นอนุพันธ์ของ furan ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส จะได้อนุพันธ์ของ furan คือ 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF
5. อนุพันธ์ของ furan เช่น HMF จะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันอย่างรวดเร็ว ได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่า เมลานอยดิน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีทั้งโพลีเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายในน้ำ อัลตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นภาวะที่มีสารความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด เนื่องจากเกิด autocatalytic อัลตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส และเพิ่มเร็วขึ้นเมื่อมีน้ำตาลมากขึ้น ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากออกซิเจนจะไปช่วยออกซิไดซ์สารอื่นให้อยู่ในรูปวงเวตต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จึงเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Barbosa-Ca'novas and Vega-Mercado, 1996)



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction)

ที่มา: Barbosa-Ca'novas, and Vega-Mercado (1996.) (อ้างอิงจาก de Man, 1982)

2.5.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

2.5.2.2.1 น้ำตาลซูโครส

น้ำตาลซูโครสอาจถูกคาราเมลไลซ์ได้สารโพลีเมอร์ หรือสลายตัวไปเป็นสารประกอบคาร์บอนสายสั้นๆ ซึ่งอาจทำปฏิกิริยาต่อไปได้ผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนหรือทำปฏิกิริยากับโปรตีน เกิดสารประกอบที่ให้รสชาติดีขึ้น ที่ในกาแฟคั่วจะมีน้ำตาลคาราเมลที่สามารถละลายได้ประมาณร้อยละ 4 และในกาแฟผงจะมีน้ำตาลคาราเมลประมาณร้อยละ 14

เมื่อเมล็ดได้รับความร้อน น้ำตาลรีดิวซ์และซูโครสประมาณร้อยละ 8 จะถูกไฟโรไลซิส ได้เป็นสารให้กลิ่นรสที่ดี และอัลดีไฮด์ (Sevitz, 1963)

2.5.2.2.2 โปรตีน

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนจะมีผลต่อรสชาติมาก โปรตีนที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ลดลง โปรตีนสามารถถูกไฮโดรไลซิสต่อไปได้เป็นเปปไทด์ กรดอะมิโน เอมีน ไคซัลไฟด์ ซึ่งถูกกักเก็บอยู่ภายในเมล็ด และละลายออกมาเมื่อทำการสกัด การไฮโดรไลซิสโปรตีนนอกจากจะให้สารที่ให้กลิ่นรสแล้ว ยังทำให้เกิดสารที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ทำให้เกิดกลิ่นรสได้เช่นกัน

2.5.2.2.3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

โดยปกติในเมล็ดสดไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการคั่ว โดยมากเกิดจากการสลายตัวของกรดคาร์บอกซิลิกในกระบวนการไฟโรไลซิส ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1-2 กาแฟคั่วที่ยังไม่ได้บดจะเก็บรักษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่ากาแฟคั่วที่บดแล้ว เพราะมีพื้นที่ผิวสำหรับดูดความชื้น และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปได้น้อยกว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในเมล็ดช่วยป้องกันการแพร่เข้าของอากาศและความชื้น ทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น

2.5.2.2.4 สารให้กลิ่นรส

สารให้กลิ่นรสในกาแฟที่สำคัญเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ สารประกอบในกลุ่มไทโอเพน(thiopene) ฟูราน(furan) ไพโรล(pyrroles) โอซาซอล(oxazole) ไพราซีน(pyrazines) และฟีนอล(phenol) (Wong, 1989)

ไทโอเพน เป็นสารให้กลิ่นรสที่มีอยู่มากในกาแฟ ตัวที่พบ เช่น 3-methylthiopene ซึ่งให้รสชาติมัน 4-ethyl-2-ethylthiophene ให้กลิ่นไหม้ เป็นต้น แนวทางในการเกิดไทโอเพนมีได้หลายแบบ เช่นเกิดจากการสลายตัวของไรอะมีน การแตกตัวของ alkyl 1-propanyl sulfide และจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องมาจากความร้อนของ cysteine กับน้ำตาลไซโลสหรือกลูโคส

ฟูราน ฟูรานที่มีโครงสร้างเป็น heterocycle จะมีความสำคัญต่อกลิ่นรสของกาแฟมาก สารประกอบในกลุ่มนี้ ได้แก่ เฟอร์ฟูรอล (furfural) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันของน้ำตาล สารประกอบฟูรานอน (furanone) มักให้กลิ่นหอมหวานคล้ายคาราเมลและกลิ่นไหม้ (Maarse, 1991)

ไพโรล มักเกิดจากการให้ความร้อนสูงแก่กรดอะมิโนซีรีน ทรีโอนีน กับน้ำตาลซูโครส โดยเกิดผ่าน cyclicization ของผลิตภัณฑ์ aminocarbonyl

จากการแตกตัวแบบ Strecker (Wong, 1989) แต่ในระบบที่ไม่มีหมูโครส สามารถเกิดอัลคิลไพโรล (alkyl pyrroles) ได้โดยปฏิกิริยาการสลายตัวเนื่องจากความร้อน

ไอชาซอล กลไกในการเกิดยังไม่แน่ชัด แต่สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนผ่านการแตกตัวแบบ Strecker ในปฏิกิริยาเมลลาร์ดของสารอะมิโน คีโตน และทำให้เกิดการควบแน่นของสารประกอบ α -dicarbonyl กับกรดอะมิโน กรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นของไอชาซอลคือซีรีนและทรีโอนีน (Baltes and Bochmann, 1987)

2.6 เครื่องดื่มจากเมล็ดธัญชาติที่ผ่านกระบวนการคั่ว

ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกาแฟแต่ผลิตจากเมล็ดธัญชาติที่มีในประเทศไทย และได้รับความนิยมระดับหนึ่ง แต่เหตุผลที่ผู้บริโภคเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เหล่านี้ เนื่องจากเรื่องของกราดูแลรักษาสุขภาพ และไม่ต้องการบริโภคคาเฟอีน ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักทำมาจากเมล็ดถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียว หรือผสมเมล็ดถั่วเหลืองกับเมล็ดงา เมล็ดข้าวโพด เมล็ดข้าว เป็นต้น แล้วนำมาคั่วด้วยความร้อนจนเป็นสีน้ำตาลคล้ายกาแฟคั่ว เมื่อนำมาบดเป็นผงแล้วชงด้วยน้ำร้อน จะได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีลักษณะคล้ายกาแฟ (พัชนี สุวรรณวิศลกิจ, 2543)

วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ผลิตเครื่องดื่มคล้ายกาแฟ แบ่งออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้

(1) รากพืช

ในต่างประเทศแถบยุโรป มีการนำส่วนของพืชมาใช้ทดแทนเมล็ดกาแฟ เช่น รากของพืชที่เรียกว่าชิโครี รากจากบีท และรากจากแดดีเลี่ยน เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบ (ร้อยละต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) ในรากชิโครีแห้ง พบว่ามีความชื้น 7.5-17.0 คาร์โบไฮเดรต 61.0-78.5 ไขมัน 0.3-1.7 โปรตีน 4.5-6.6 เส้นใยหยาบ 1.1-5.2 และเถ้า 1.1-4.4 วิธีการผลิตคือ นำรากมาหั่นหรือสับเป็นส่วนๆ นำไปตากหรืออบแห้ง จากนั้นคั่ว และบดเป็นผง เมื่อศึกษาองค์ประกอบ (ร้อยละต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) ของรากชิโครีหลังคั่ว พบว่ามีความชื้น 4.3-4.7 โปรตีน 7.3 ไฟเบอร์ 7.9 และเถ้า 3.6 เมื่อหาสารที่ละลายน้ำได้ พบว่ามีมากกว่าในกาแฟคั่วถึง 2 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถนำไปสกัดและทำแห้งได้ แต่อนุภาคจะอ่อนนุ่มกว่าอนุภาคจากกาแฟสกัด (Sivetz, 1963)

(2) วัตถุดิบที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ

ทำมาจากน้ำตาลเผาไหม้ แล้วนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ เช่นรากบีท รากชิโครี ข้าวมอลต์ ตั้งไฟคั่ว โดยต้องพยายามไม่ให้เกิดความร้อนโดยตรง เพราะอาจทำให้เกิดเป็นคาร์บอนได้ และเกิดกลิ่นรสไม่ดี (ไพโรจน์ วิริยะจारी, 2535)

(3) วัตถุประสงค์ที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบ

ได้จากเมล็ดพืชที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบ ดังนี้

ข้าวบาร์เลย์ (Hardeum distichon L. var. nudum L.)

บริเวณตอนใต้ของประเทศเยอรมัน ประเทศแถบยุโรป และอเมริกา มีการนำเอา
มอลต์ของข้าวบาร์เลย์มาคั่ว จะได้เครื่องดื่มที่มีรสชาติค่อนข้างนุ่มและมีความหอมหวาน
เนื่องจากมีน้ำตาลในเมล็ดค่อนข้างสูง

ข้าวสาลี (Triticum vulgare Vill.)

แต่ก่อนมีการใช้กันมากในการทดแทนกาแฟในประเทศสหรัฐอเมริกา ช่วงปี
ค.ศ. 1912 มีผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า Postum Cereal ทำมาจากส่วนผสมของข้าวสาลี รำข้าวสาลี
และกากน้ำตาลจากอ้อย ซึ่งได้รับความนิยมมาก

ข้าวโพด (Zea mays)

ส่วนใหญ่ก่อนที่จะนำไปคั่วต้องนำไปแช่น้ำ หรืออาจใช้วิธีอบไอน้ำให้เมล็ด
ข้าวโพดอืดตัวด้วยน้ำเสียก่อน แล้วจึงนำมาคั่ว แต่ก็มีข้อเสียคือเกิดการเหม็นหืนได้ในระยะเวลา
สั้นๆ เนื่องจากมีไขมันในเมล็ดค่อนข้างสูง ในประเทศไทยพบว่าการนำเอาเมล็ดข้าวโพดมาคั่ว
ผสมกับเมล็ดกาแฟเพื่อลดต้นทุนที่ต้องซื้อเมล็ดกาแฟที่มีราคาแพง
เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบในเมล็ดข้าวต่างๆที่คั่วบดแล้ว พบว่ามีองค์ประกอบดังนี้

ตารางที่ 2.2 ร้อยละส่วนประกอบในเมล็ดข้าวชนิดต่างๆที่คั่วแล้วต่อน้ำหนักเมล็ดสด 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ข้าวบาร์เลย์	ข้าวไรย์	ข้าวโพด
ความชื้น	3	9	9
คาร์โบไฮเดรต	71	65	58
เส้นใยหยาบ	9	7	8
สารประกอบไนโตรเจน	13	14	11
เถ้า	2.9	2.3	1.8
ไขมัน	2.1	2.0	5.1
ส่วนที่ละลายน้ำได้	55	34	67

ที่มา: พัทณี สุวรรณวิศลกิจ (2543) อ้างอิงจาก Maier, 1985.

ถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.)

การคั่วถั่วลิสงเพื่อใช้ทดแทนกาแฟนั้น จะคั่วโดยใช้เวลานานกว่าการคั่วเพื่อบริโภคเป็นถั่วคั่ว แต่ผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงคั่วจะมีคุณภาพด้อยกว่าถั่วเหลืองในด้านกลิ่นรส ถั่วลิสงที่ผ่านการคั่วนานๆ จะเหมาะกับการทดแทนโกโก้มากกว่า

ถั่วเหลือง (*Glycine max*)

มีการใช้ผลิตมานานตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 โดยเฉพาะทางตอนเหนือของอิตาลี เมื่อคั่วเสร็จใหม่ๆ แล้วนำมาชงน้ำร้อนจะมีกลิ่นรสคล้ายกาแฟมาก แต่มีไขมันค่อนข้างสูง ทำให้เก็บไว้ได้ไม่นาน เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะเหม็นหืนง่าย ดังนั้นก่อนทำการผลิต จึงมักนำถั่วเหลืองไปสกัดไขมันออกก่อน

ถั่วลูกไก่ (chickpea; *Cicer arietinum* L.)

ถั่วชนิดนี้เป็นพืชอาหารที่สำคัญในประเทศอินเดีย และประเทศแถบตะวันออก ในการผลิตจะนำเอาเมล็ดถั่วลูกไก่ไปแช่น้ำให้อิ่มตัวก่อนที่จะนำไปคั่วให้มีสีน้ำตาล แล้วจึงนำไปบดเป็นผง ชงด้วยน้ำร้อน

ถั่วลูปิน (lupins; *Lupinus* L.)

มีการนำมาใช้ครั้งแรกในประเทศรัสเซียและยุโรป ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1850 เป็นผลิตภัณฑ์ทดแทนกาแฟที่สำคัญที่สุดในกลุ่มพืชตระกูล Leguminosae นิยมบริโภคแถบเทือกเขาแอลป์ การนำมาใช้จะมีทั้งที่นำถั่วลูปินมาคั่วผสมกับเมล็ดกาแฟประเภทเมล็ดกลม (peaberry) หรือเฉพาะถั่วลูปินอย่างเดียว

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบในเมล็ดถั่วต่างๆ ที่คั่วแล้ว พบว่ามีองค์ประกอบดังนี้

ตารางที่ 2.3 ร้อยละส่วนประกอบในเมล็ดถั่วต่างๆ ที่คั่วแล้วต่อน้ำหนักเมล็ดสด 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ถั่วลิสง	ถั่วเหลือง	ถั่วลูกไก่	ถั่วลูปิน
ความชื้น	4.0	5.0	10.0	8.0
คาร์โบไฮเดรต	12.0	24.0	56.0	26.0
เส้นใยหยาบ	3.0	5.0	3.0	15.0
สารประกอบไนโตรเจน	29.0	40.0	22.0	40.0
เถ้า	2.2	4.8	2.1	4.5
ไขมัน	50.0	20.5	5.1	5.7

ที่มา: พชนี สุวรรณวิศลกิจ (2543) อ้างอิงจาก Maier, 1985.

(4) วัตถุดิบที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ

ส่วนมากผลิตจากผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันออกแล้ว เช่น การผลิตน้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง อาจใช้วิธีบีบกดหรือสกัดด้วยตัวทำละลายก็ได้

(5) เมล็ดพืชอื่นๆ

เช่น เมล็ดมะขาม เมล็ดขนุน โดยอาจใช้ร่วมกับเมล็ดกาแฟบางส่วน

(6) วัตถุดิบผสมต่างๆ

เป็นการผสมกาแฟร่วมกับพืชอื่นๆ เช่น กาแฟบวาเรียผสมกับ ข้าวไรย์ มะเดื่อปืท และ ถั่วแครอบ กาแฟโคลาใช้คาเฟอีนที่สกัดจากผลโคลาผสมกับข้าวสาลี รากชิโครี และเมล็ดถั่ว เป็นต้น (ไพโรจน์ วิริยะจारी, 2535.)

2.7 การทำแห้งแบบพ่นกระจาย (spray drying)

การทำแห้งแบบพ่นกระจาย เป็นกระบวนการทำแห้งที่พัฒนามาจากการทำแห้งแบบ การพาความร้อนของอากาศ (air steam dryer) โดยการทำแห้งวิธีนี้เป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้ ความร้อนสูง มีหลักการคือของเหลวหรือสารละลายที่ถูกป้อนเข้ามาจะถูกฉีดให้เป็นฝอยละออง และสัมผัสกับลมร้อนที่ผ่านเข้ามา ทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วเนื่องจากฝอยละอองจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงแห้งตกลงมา และถูกแยกออกจากลมร้อนด้วยระบบไซโคลน การทำแห้งจะควบคุมจากสภาวะของลมขาเข้า และสภาวะที่ใช้ผลิต (Barbosa-Ca'novas and Vega-Mercado, 1996)

2.7.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย มีดังนี้

(1) หัวฉีด (atomizer or nozzle)

เป็นส่วนสำคัญที่สุดในการทำแห้ง เนื่องจากลักษณะของหัวฉีดจะมีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยทั่วไปหัวฉีดแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

pressure nozzle หัวฉีดประเภทนี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ค่อนข้างหยาบ มีขนาดตั้งแต่ 120-300 ไมครอน ขึ้นกับความดันที่ให้ อัตราการป้อนของเหลว และลักษณะการทำแห้ง (Barbosa-Ca'novas and Vega-Mercado, 1996) หลักการของ pressure nozzle จะอาศัยการฉีดของเหลวภายใต้ความดันให้ของเหลวแตกออกเป็นหยดเล็กๆ ความดันที่ใช้อาจสูง ตั้งแต่ 400 ถึง 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Masters, 1979) ลักษณะของหัวฉีดประกอบด้วยแกน (core) และรูหัวฉีด (orifice) มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.10 ถึง 0.15 เซนติเมตร ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูง และถูกอัดออกมาเป็นละอองด้วยความดัน ลักษณะหมุนเป็นวงรอบๆของขนาดละอองจะขึ้นกับความดันและขนาดรูหัวฉีดเป็นสำคัญ

rotary atomizer หัวฉีดชนิดนี้แตกต่างจาก pressure nozzle ตรงที่ใช้ความดันไม่สูงมาก (Barbosa-Ca'novas and Vega-Mercado, 1996) ของเหลวจะถูกทำให้เป็นฟิล์มบางบนจานหมุน และถูกทำให้มีความเร็วสูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดแรงหนีศูนย์กลางมากจนกระทั่งถูกเหวี่ยงหลุดออกมาจากจานหมุนเป็นหยดเล็กๆ (Masters, 1979)

two-fluid nozzles หัวฉีดชนิดนี้จะประกอบด้วยทางเข้าของอากาศและทางเข้าของเหลวแยกจากกัน ของเหลวจะถูกฉีดออกมาเป็นลำเล็กๆ และเมื่อกระทบกับอากาศที่มีความดันสูงจะเกิดการแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็ก หัวฉีดชนิดนี้เหมาะกับของเหลวที่มีความข้นหนืด แต่จะได้ขนาดอนุภาคผงแห้งที่มีความหยาบปานกลาง (Masters, 1979)

การเลือกใช้หัวฉีดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่จะเลือกใช้งานให้เหมาะสม โดยทั่วไปหัวฉีดแบบ rotary atomizer จะมีความยืดหยุ่นของการใช้งานมากกว่า เพราะสามารถใช้กับของเหลวที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความข้นหนืดสูงได้ และการจุดตันที่หัวฉีดจะมีน้อยกว่าเนื่องจากมีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหมุนด้วยความเร็วสูง แต่จะมีราคาแพงและการออกแบบหัวฉีดยุ่งยากกว่า จากงานวิจัยของ Finney, Buffo, and Reineccius (2002) ที่ศึกษาชนิดของหัวฉีดต่อลักษณะทางกายภาพของสารให้กลิ่นรส พบว่าเมื่อใช้หัวฉีด nozzle atomizer ในการทำแห้งขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะขึ้นกับขนาดของท่อหัวฉีดและความดันที่ใช้ โดยมีการกระจายของขนาดอนุภาคในช่วงกว้างและมีขนาดใหญ่กว่าการใช้หัวฉีด rotary atomizer

(2) ระบบอากาศร้อน

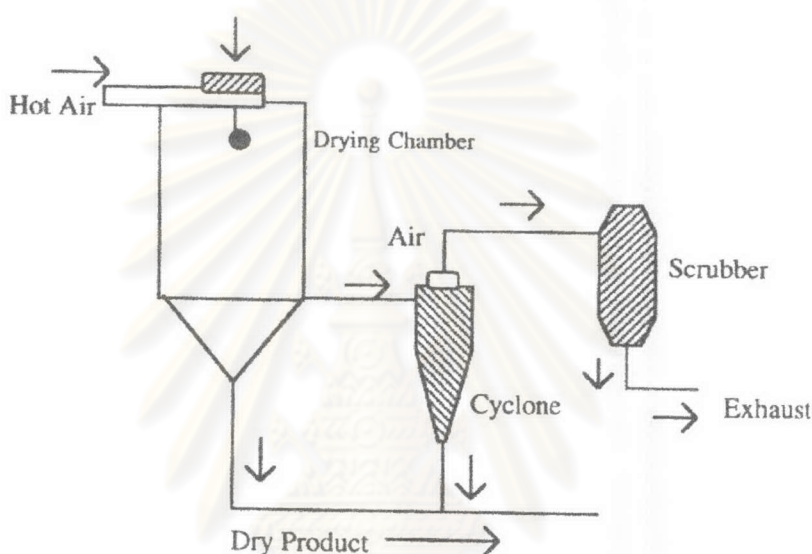
ได้จากการเผาไหม้ของก๊าซ ไขมัน หรือจากไฟฟ้า โดยการถ่ายความร้อนทางอ้อม ผ่านท่อความร้อน และจะกระจายไปทั่ว drying chamber ได้โดยใช้แผงกระจายลม เพื่อให้สัมผัสกับละอองของเหลวที่ฉีดพ่นออกมา คุณสมบัติของอากาศร้อนใน drying chamber ต้องควบคุมให้เหมาะสม หากอุณหภูมิสูงเกินไป ผลิตภัณฑ์จะไหม้ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป ผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นสูง (Hassan, Al-Kahtani, and Hassan, 1990)

(3) ระบบแยกอนุภาค

โดยมากมักใช้ไซโคลนทำหน้าที่แยกผลิตภัณฑ์ผงแห้งออกจากอากาศร้อน โดยอาศัยแรงเหวี่ยงที่มีค่าสูงกว่าแรงโน้มถ่วง พากอากาศร้อนและผลิตภัณฑ์หมุนมาตกกระทบกับผนังไซโคลน และตกสู่ภาชนะรองรับ

2.7.2 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ของเหลวที่นำมาทำแห้ง ต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 และไม่สูงเกินร้อยละ 50 ของเหลวจะถูกป้อนเข้าเครื่องโดยใช้ปั๊ม จากนั้นจะถูกทำให้เป็นละอองด้วยหัวฉีด และสัมผัสกับอากาศร้อนภายใน drying chamber เมื่อน้ำที่อยู่ภายในหยดเม็ดเล็กๆจะระเหยไปอย่างรวดเร็ว และเหลือเป็นผงแห้ง ซึ่งจะถูกแยกออกจากอากาศร้อนโดยระบบไซโคลน ลักษณะการทำงานของเครื่องแสดงดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ผังการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ที่มา: Barbosa-Ca'novas, and Vega-Mercado (1996.) อ้างอิงจาก Dittman, and Cook, 1977

2.7.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

(1) อุณหภูมิลมเข้า (Inlet temperature)

จากงานวิจัยของ Main, Clydesdale, and Francis (1978) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมเข้า จะทำให้ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากอัตราการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น การเลือกใช้อุณหภูมิลมเข้าสูงพอเหมาะ จะทำให้รักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า เนื่องจากขณะทำแห้ง การเกิดเมมเบรนที่ผิวของอนุภาคเป็นไปอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อุณหภูมียังไม่สูงมากจนกระทั่งทำลายสารให้กลิ่นรส (Finney, Buffo, and Reineccius, 2002)

(2) ปริมาณของแข็งในตัวอย่างที่จะทำแห้ง (Feed solid content)

ความต้องการพลังงานความร้อนของเครื่องทำแห้ง ขึ้นกับปริมาณของแข็งในสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างมีปริมาณของแข็งน้อย เครื่องจะต้องการพลังงานจำนวนมากเพื่อระเหยน้ำออก (Masters, 1979) เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งในสารตัวอย่าง ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความชื้นต่ำลง (Hassan, Al-Kahtani, and Hassan, 1990)

(3) อุณหภูมิลมขาออก (Outlet temperature)

อุณหภูมิลมขาออกจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิลมขาเข้าที่ปรับสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานความร้อนของระบบสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิลมขาออกสูง ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความชื้นลดลง ความหนาแน่นรวมต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้ผลลัพธ์ไหม้ (Masters, 1979)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย