บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดถั่วแดง

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมล็ดถั่วแดงที่ศึกษามีความชื้นร้อยละ 9.04 โปรตีนร้อยละ 29.50 ไขมันร้อยละ 1.73 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 56.44 และเถ้าร้อยละ 3.29 นอกจากนี้ยังประกอบด้วย แอนโธไซยานิน 1.12 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมตัวอย่าง และสารประกอบฟีนอลิก 25.07 มิลลิกรัมต่อ กรัมตัวอย่าง เมื่อนำองค์ประกอบไปเปรียบเทียบกับเมล็ดกาแฟสด ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 60 ไขมันร้อยละ 13 โปรตีนร้อยละ 13 และเถ้าร้อยละ 4 (Sivetz, 1977) จากการวิเคราะห์พบว่า ถั่วแดงที่ศึกษามีปริมาณโปรตีนสูง และไขมันต่ำกว่า ส่วนองค์ประกอบอื่นๆมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเมล็ดถั่วแดงไปผลิตในกระบวนการเดียวกันกับกาแฟเพื่อให้ได้เครื่องดื่มที่มีกลิ่นรสที่ดี

5.2 หากระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับเครื่องดื่มผงจากถั่วแดง

5.2.1 ศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงแบบบด

5.2.1.1 ศึกษาสภาวะในการคั่ว

ในการทดลองเบื้องต้นโดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 190 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นรสของวัตถุดิบเกิดขึ้นน้อย เมื่อนำมาชงจะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ชิม และการคั่วที่อุณหภูมิสูงกว่า 210 องศาเซลเซียสในการคั่วจะทำให้เมล็ดถั่วไหม้ ดังนั้นจึงศึกษาสภาวะในการคั่ว โดยกำหนดอุณหภูมิที่ศึกษาช่วงอยู่ในช่วง 190-210 องศาเซลเซียส ในการศึกษาสภาวะในการคั่ว จะแปรอุณหภูมิที่ใช้เป็น 190 200 และ 210 องศาเซลเซียส เวลาในการคั่ว 10 15 และ 20 นาที ติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์โดยตรวจสอบผลทางกายภาพ คือค่าสี พีเอช ความชุ่น ผลทางเคมี คือ ปริมาณแอนโธไซยานินที่เหลืออยู่ ความสามารถในการต้านออกซิเดชั่น และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในเชิง Intensity ด้านความเข้มสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์หลังคั่ว

เมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่เมล็ดถั่ว ในช่วงแรกอุณหภูมิของเมล็ดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากมีการขับน้ำจำนวนมากออกมาภายนอกเมล็ด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึงช่วงประมาณ 185-195 องศาเซลเซียส เมล็ดถั่วจะเกิดเสียงลั่น ทั้งนี้เนื่องจากการขับน้ำที่อยู่ภายในออกมา ส่งผลให้เมล็ดเกิดการขยายตัวขึ้น จึงเกิดเสียงลั่น (crackling) ขณะคั่ว (David, 1976) ช่วงหลังจากนี้อุณหภูมิจะมีเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น เมื่อคั่วเมล็ดแดงได้ตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่

กำหนด จะเมล็ดถั่วคั่วมาทำให้เย็นโดยใช้ลมเป่าผ่าน แล้วนำมาตรวจสอบค่าสีภายนอกของเมล็ดหลังคั่วโดยเปรียบเทียบกับแผ่นเทียบสีจาก Munsell Book of Color ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า ก่อนคั่ววัตถุดิบตั้งต้น มีค่าสี 10 R 4/6 หลังคั่วค่า hue ลดลง อยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 R จนถึง 5 YR value อยู่ในช่วง 3/ ถึง 2.5/ และ chroma อยู่ในช่วง /1 ถึง /4 นั่นคือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่ว ค่าความสว่างของวัตถุดิบลดลง ความเข้มสีเพิ่มขึ้น ระดับของการคั่วจะมีความสัมพันธ์กับสีที่เกิดขึ้น การให้ความร้อนที่เวลานานกว่าและอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้สีเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่า (Freeland-Graves, and Peckham, 1996)

เมื่อนำเมล็ดถั่วคั่วมาบด พบว่าผงที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม ดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากการวิเคราะห์ค่าสีของถั่วแดงหลังบด (ตารางที่ 4.5) พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วมีอิทธิพลร่วมต่อค่าสี (L,a,b) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วจะทำให้ค่าความสว่าง (L) ลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลใน 2 ลักษณะ คือ ปฏิกิริยาคาลาเมลไลเซชั่นของน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนถึงจุดหลอมเหลวคือ 130 องศาเซลเซียส (Varnam, and Sutherland, 1994) โดยการใช้ความร้อนสูงทำให้พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ในน้ำตาลถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำตาลจึงสลาย (thermolysis) จากนั้นจะเกิดพันธะใหม่ขึ้น ทำให้เกิดโพลิเมอไรเซชั่นของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล (Shallenberger, 1974) ปฏิกิริยาอีกแบบคือปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นของน้ำตาลอัลโดสกับหมู่อะมิโนของโปรตีน (Varnam, and Sutherland, 1994) ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim, Lee, and Kim (1998) ซึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการคั่วมอลท์ที่อุณหภูมิ 235-255 องศาเซลเซียส พบว่าค่าสี (L,a,b) ได้รับผลกระทบอย่างมากจากอุณหภูมิที่ใช้คั่ว โดยความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง จากสภาวะที่ทำการทดลองให้ค่าความสว่างอยู่ในช่วง 55.38 ถึง 38.80 ค่าสีแดง +6.72 ถึง +5.18 และค่าสีเหลือง +21.46 ถึง +18.66 เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของกาแฟคั่ว จาก มอก. 522-2527 ซึ่งกำหนดว่าค่าสีของกาแฟหลังคั่ว ต้องมีสีใกล้เคียงมาตรฐาน คือค่าความสว่าง เท่ากับ 25.59 ถึง 34.64 ค่าสีแดง เท่ากับ +10.05 ถึง +12.00 และ ค่าสีเหลือง เท่ากับ +0.90 ถึง +12.00 จะเห็นได้ว่าเมล็ดถั่วแดงที่คั่วได้มีสีอ่อนกว่าสีกาแฟตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ความชื้น พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วมีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วจะทำให้ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในเมล็ดลดลง ในการคั่วช่วงแรก ความร้อนจะทำให้โมเลกุลของน้ำอิสระถูกขับออกจากเมล็ด และเมื่อเพิ่มความร้อนต่อไป โมเลกุลของน้ำที่ไม่อิสระจะถูกขับออกมาเป็นลำดับถัดไป (Freeland-Graves, and Peckham, 1996) จากรูปที่ 4.1 พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 190-200

องศาเซลเซียส ความชื้นจะลดลงอย่างมาก อาจเป็นได้ว่าอยู่ในช่วงที่น้ำอิสระถูกขับออกมา ในขณะที่ช่วงอุณหภูมิ 200-210 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นค่อนข้างน้อยกว่า จึงอาจเป็นช่วงของการขับน้ำที่ไม่อิสระออกมา

ผลการวิเคราะห์พีเอช พบว่าอุณหภูมิที่ใช้คั่วมีผลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้คั่ว จะทำให้พีเอชมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาไพโรไลซีสของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสลายตัวเป็นกรดคาร์บอกซิลิก และคาร์บอนไดออกไซด์กระจายอยู่ในเมล็ด จึงทำให้พีเอชลดลง แต่ถ้าคั่วต่อไปเป็นเวลานานพีเอชจะกลับสูงขึ้น เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้กรดสลายตัวและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกขับออกไป (Sivetz, and Foote, 1963) พีเอชของถั่วแดงคั่วที่ได้อยู่ในช่วง 6.02 - 6.27

สารที่ละลายน้ำได้เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญ เพราะเป็นส่วนที่ผู้บริโภคได้รับในการดื่ม สารในกลุ่มนี้ได้แก่น้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลคาราเมล โปรตีนที่ละลายน้ำได้ และเถ้าที่ละลายน้ำได้ (Sivetz, 1977) จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่ว ผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Kim, Lee, and Kim (1998) ที่รายงานว่าการใช้อุณหภูมิคั่วมอลท์สูงขึ้นจะได้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้จะส่งเสริมปฏิกิริยาไพโรไลซีส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและกายภาพของสตาร์ช ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น แต่จากงานวิจัยของ Nunes และคณะ (1997) พบว่าการใช้ระดับการคั่วที่ไม่รุนแรง จะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการคั่ว และยังพบว่าระดับการคั่วที่รุนแรงขึ้น จะทำให้สารที่ละลายน้ำได้ถูกเปลี่ยนสภาพ ส่งผลให้ความสามารถในการละลายลดลง ดังนั้นจึงมีปริมาณสารที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า ซึ่งเหตุผลดังกล่าว สอดคล้องกับ Sivetz, and Foote (1963) และ Varnam, and Sutherland (1994) ที่รายงานว่า นอกจากระดับของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วแล้ว ปริมาณสารละลายน้ำที่สกัดได้ยังได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอีก ถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการคั่ววัตถุดิบที่มีโปรตีนสูงจะทำให้สกัดสารที่ละลายน้ำได้น้อยลง เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนที่อยู่ภายในเมล็ดเสียสภาพมากขึ้น ดังนั้นความสามารถในการละลายจึงลดลง และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของวัตถุดิบเบื้องต้น พบว่าถั่วแดงที่ศึกษามีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูง ดังนั้นจึงอาจเกิดปรากฏการณ์ดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ปริมาณสารที่ละลายน้ำได้ลดลงเมื่อเพิ่มระดับของการคั่ว จากสภาวะที่ใช้ในการคั่ว จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง ร้อยละ 17.85 ถึง 23.23

ในการวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินที่เหลือ พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการคั่วมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณแอนโธไซยานินอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่ว จะทำให้ปริมาณแอนโธไซยานินลดลง เนื่องจากความร้อนที่ให้ระหว่างกระบวนการทำให้แอนโธไซยานินสลายตัว เปลี่ยนรูปไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้สีน้ำตาล (von Elbe, and Schwartz, 1996) ก่อนแปรรูปถั่วแดงที่ศึกษามีปริมาณแอนโธไซยานิน 1.12 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ภายหลังผ่านกระบวนการ พบว่าปริมาณแอนโธไซยานินที่เหลืออยู่ในช่วง 0.97-0.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ในการวิเคราะห์แอคติวิตี้ของแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant activity) และสัดส่วนของอัตราการเกิดออกซิเดชั่น (oxidation rate ratio) โดยใช้ วิตามินอี (β-carotene) ที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นตัวเปรียบเทียบ พบว่าวิตามินอี เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรมีแอคติวิตี้ของแอนตี้ออกซิแดนท์สูงกว่าถั่วแดงทั้งเมล็ดที่ไม่ผ่านการแปรรูป

จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อติดตามผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วเมล็ดถั่วแดงต่อ antioxidant activity และ oxidation rate ratio พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วไม่มีผลต่อ antioxidant activity และ oxidation rate ratioอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เหตุผลที่ antioxidant activity ไม่ลดลง ทั้งที่การให้ความร้อนทำให้แอนโธไซยานินซึ่งเป็นสารแอนติออกซิแดนท์จากธรรมชาติสลายตัวไปบางส่วน อาจเกิดขึ้นได้ใน 3 กรณี คือในเมล็ดถั่วยังมีสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ ซึ่งมีสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์อยู่ ดังนั้นแม้สารแอนติออกซิแดนท์ตามธรรมชาติบางส่วนจะสูญเสียไปขณะให้ความร้อน แต่สมบัติการเป็นแอนติออกซิแดนท์โดยรวมยังคงมีอยู่ และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้น พบว่า ถั่วแดงมีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ 25.07 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง กรณีที่สอง จากงานวิจัยของ Tsuda และคณะ (1996) พบว่าเมื่อแอนโธไซยานินถูกออกซิไดซ์ ผลิตภัณฑ์ที่สลายตัวยังคงแสดงสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ได้ กรณีสุดท้ายคือ ขณะให้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่นและปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาทั้งสองนี้อาจลดหรือเสริมแอคติวิตี้ของสารแอนติออกซิแดนท์ได้เช่นกัน (Pokorny, Yanishlieva, and Gordon, 2001) ซึ่งเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Murakami และคณะ (2002) ที่พบว่าสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในช่วงต้นและปลายปฏิกิริยาเมลลาร์ด แสดงสมบัติในการจับอนุมูลอิสระได้ ผลิตภัณฑ์ที่ ส่งเสริมแอคติวิตี้ของแอนตี้ออกซิแดนท์แสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ส่งเสริมแอคติวิตี้ของแอนติออกซิแดนท์

ชนิดของสารประกอบ	สารตั้งต้น	ผลต่อเสถียรภาพของอาหาร
Imine (Schiff bases)	Sugars, amino acids	Hydroperoxide reduction
Amino deoxy sugars	Schiff bases	Hydroperoxide reduction
Amadori, Heyns products	Amino deoxy sugars	Hydroperoxide reduction
Melanoidins	Premelanoidins	Metal chelation
Dihydrocyclic derivatives	Strecker compounds	Hydroperoxide reduction
Reductones	Dideoxytriulose	Free radical scavenging

ที่มา: Pokorny, Yanishlieva, and Gordon (2001)

เมื่อนำถั่วแดงคั่วบดมาชงด้วยน้ำร้อน แล้วประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่วมีอิทธิพลต่อ คะแนนเฉลี่ยของค่าความเข้มสี กลิ่นคั่ว กลิ่นถั่ว กลิ่นผิดปกติ รสขม และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่ว จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น กลิ่นคั่ว กลิ่นผิดปกติแรงขึ้น และมีรสขมมากขึ้น ส่วนคะแนนเฉลี่ยของกลิ่นถั่วจะมีลดลง เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวม พบว่าแม้การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้กลิ่นคั่วเพิ่มขึ้น แต่กลิ่นผิดปกติและรสขมจะรุนแรงขึ้นเช่นกัน มีผลให้คะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวมลดลง ทั้งนี้การพัฒนากลิ่นรสซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการคั่ว หากใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาคั่วสั้นๆ จะทำให้การพัฒนาสีและกลิ่นรสน้อยเกินไป ในขณะการคั่วโดยใช้ความร้อนสูงมาก จะทำให้เกิดกลิ่นรสไม่ดี (Van Arsdel, Copley, and Morgan, 1973) Schenker และคณะ (2002) รายงานว่าในช่วงแรกของการให้ความร้อน อัตราการเกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นรสจะต่ำ และเมื่อยังให้ความร้อนต่อไป อัตราการเกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นรสจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับรวมจึงพบว่าการคั่วที่อุณหภูมิต่ำๆเป็นเวลาสั้นๆ จะมีคะแนนการยอมรับรวมน้อย เนื่องจากยังไม่เกิดการพัฒนากลิ่นรสเพียงพอนั่นเอง

สำหรับการลดลงของกลิ่นถั่วเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้คั่ว อาจเนื่องมาจากความร้อนที่ใช้ ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase ไม่ให้เข้าทำปฏิกิริยากับสายโซ่ยาวของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Wilken et al, 1967) ดังนั้นกลิ่นถั่วและกลิ่นเหม็นเขียวจึงลดลง นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงยังส่งผลให้สารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว ซึ่งเป็น volatile compound ระเหยออกไปได้ จากรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะคุณภาพเชิงปริมาณ

ทางประสาทสัมผัสเทียบกับความชอบตามอุดมคติของผู้ชิม จะเห็นว่าผู้ชิมวางอุดมคติของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากถั่วแดงคั่วให้มีสีน้ำตาลปานกลาง มีกลิ่นคั่วไม่แรงเกินไป มีกลิ่นถั่วเล็กน้อย และต้องมีกลิ่นผิดปกติน้อยที่สุด

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มชงจากถั่วแดงคั่วบด พบว่าคะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวม ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 15 และ 20 นาที และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 10 และ 15 นาที มีค่าสูงและไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาผลทางกายภาพและเคมีร่วมกัน พบว่าทุกสภาวะข้างต้นยังให้ค่าความชื้น และพีเอชไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และแอนโธไซยานินที่เหลืออยู่สูงกว่า และมี oxidation rate ratio ค่อนข้างต่ำกว่าสภาวะอื่น รวมทั้งมีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวมสูงไม่แตกต่างจากสภาวะอื่นที่มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด จึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการคั่วถั่วแดงคือ อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที เพื่อศึกษาขนาดอนุภาคที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดต่อไป

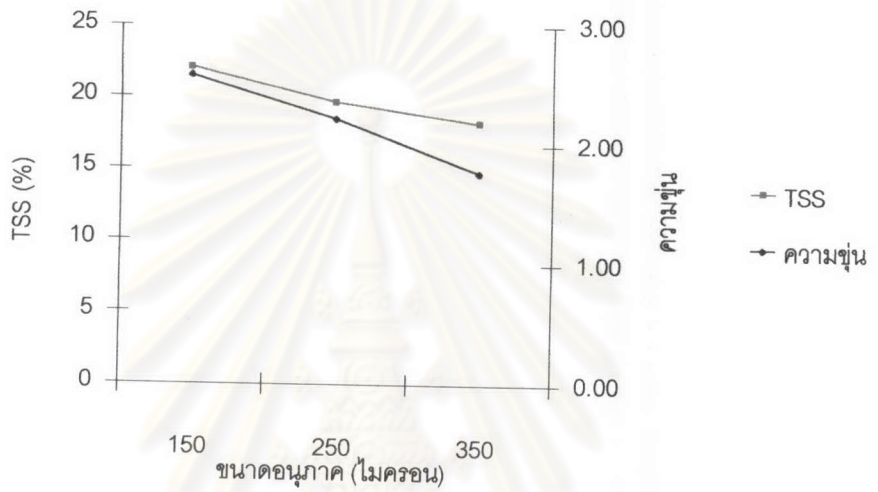
5.2.1.2 <u>หาขนาดอนุภาคของผงถั่วแดงคั่วแบบบด</u>

นำเมล็ดถั่วแดงคั่วที่เลือกจาก 5.2.1.1 มาแปรขนาดอนุภาคเป็น 3 ช่วง คือ 250-350 ไมครอน 150-250 ไมครอน และ เล็กกว่า 150 ไมครอน จากนั้นตรวจสอบความชุ่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8-4.9 การลดขนาดอนุภาคของถั่วแดงคั่วทำเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคผงถั่วแดงที่เหมาะสมต่อการสกัดสารที่ละลายน้ำได้ในถั่วแดงคั่วสูงสุด รวมทั้งมีลักษณะคุณภาพโดยรวมดีที่สุด

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด พบว่าขนาดอนุภาคของผงถั่วแดงคั่วบดมีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดขนาดของอนุภาคให้เล็กลง เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะใช้เวลาที่น้ำจะเข้าสู่ศูนย์กลางน้อย อีกทั้งยังมีพื้นที่ผิวในการสกัดมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงสกัดได้เร็วและมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่า (Masters, 1979)

เมื่อวิเคราะห์ความชุ่นโดยการชงในน้ำร้อน ตามวิธีของ มอก. 522-2527 จะได้เครื่องดื่มที่มีระดับความชุ่นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าขนาดอนุภาคของผงถั่วคั่วบดมีอิทธิพลต่อค่าความชุ่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยความชุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของผงถั่วแดงเล็กลงเมื่อนำมาชงในน้ำร้อน เนื่องจากจะทำให้สารที่

ละลายน้ำได้ถูกสกัดออกมามากกว่าและแขวนลอยได้ดี จากงานวิจัยพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับค่าความขุ่น เมื่อของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้น ความขุ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีปริมาณของแข็งกระจายอยู่ในระบบสูงขึ้น (Kim, Lee, and Kim,1998) ความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และความขุ่นที่ขนาดอนุภาคต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และความขุ่นของผงถั่วแดงคั่วบดที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มชงจากถั่วแดงคั่วบด พบว่าขนาดอนุภาคของผงถั่วแดงมีอิทธิพลต่อคะแนนเฉลี่ยความเข้มสี ความขุ่น และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อกลิ่นคั่ว กลิ่นถั่ว กลิ่นผิดปกติ และรสขม ($p > 0.05$) การที่ความเข้มสีเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของผงถั่วแดงคั่วบดเล็กลง เกี่ยวข้องกับปริมาณสารสีน้ำตาลที่ละลายออกได้ การเพิ่มพื้นที่ผิวจะทำให้สารสีน้ำตาลที่อยู่ภายในโครงสร้างของเมล็ดถั่วแดง ละลายออกมาได้มากขึ้น ดังนั้นถั่วแดงคั่วบดที่มีอนุภาคขนาดเล็กจึงให้ค่าความเข้มสีมากกว่า

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผงถั่วแดงคั่วที่มีขนาดอนุภาค 250-350 ไมครอน มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวมสูงที่สุด เนื่องจากเมื่อชงละลายน้ำ จะได้เครื่องดื่มที่มีความขุ่นและความเข้มสีน้อยกว่าอนุภาคขนาดอื่นๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim, Lee, and Kim (1998) ซึ่งพบว่าความขุ่นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชงละลายน้ำ เมื่อความขุ่นมากขึ้น การยอมรับของผู้บริโภคจะลดลง ดังนั้นจึงนำผงถั่วแดงคั่วที่มี

ขนาดอนุภาค 250-350 ไมครอน ไปศึกษาอายุการเก็บ ในขณะเดียวกันผงถั่วแดงคั่วที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน มีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นคั่ว กลิ่นถั่ว กลิ่นผิดปกติและรสขมไม่แตกต่างจากผงถั่วแดงคั่วที่มีขนาดอนุภาค 250-350 ไมครอน เมื่อพิจารณาผลทางกายภาพและเคมี พบว่า ผงถั่วแดงคั่วที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 150 ไมครอน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด สูงกว่า จึงเลือกอนุภาคขนาดนี้ไปศึกษาสภาวะในการสกัดต่อไป

5.2.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บของผงถั่วแดงคั่วแบบบด

นำเมล็ดถั่วแดงคั่วบดขนาดอนุภาค 250-350 ไมครอน มาบรรจุใส่ถุง laminate (PE/aluminium foil/PE) โดยบรรจุในสภาพบรรยากาศ และสุญญากาศ แล้วเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 35 และ 45 องศาเซลเซียส สำหรับชุดควบคุมจะเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ทุก 2 สัปดาห์

เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง ผลแสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บ มีอิทธิพลร่วมต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยความสว่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาเก็บ สาเหตุที่ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลงอาจเนื่องมาจาก การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อน อย่างไรก็ตามจากการทดลอง พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาเป็นไปอย่างช้าๆ อัตราการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นเร็วหากอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส (Hutchings, 1994) สำหรับวิธีการบรรจุ พบว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) การบรรจุในสภาพบรรยากาศและสภาพสุญญากาศให้ผลไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากออกซิเจนจะไปช่วยออกซิไดซ์สารอื่นให้อยู่ในรูปว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จึงเกิดขึ้นได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Barbosa-Ca'novas and Vega-Mercado, 1996)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของผงถั่วแดงคั่วบด พบว่าวิธีการบรรจุ และระยะเวลาการเก็บ มีผลทำให้ค่าสีทั้งสองลดลง การลดลงของค่าสีเหลืองเป็นผลมาจากปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Kim, Lee, and Kim, 1998) ส่วนการลดลงของค่าสีแดง อาจเกิดจากการสลายตัวของแอนโธไซยานินซึ่งรงควัตถุหลักในถั่วแดง ในสภาพที่มีออกซิเจน แอนโธไซยานินสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ดังนั้นค่าสีแดงจึงลดลงเมื่อบรรจุในสภาพบรรยากาศ และลดลงไปตามระยะเวลาการเก็บ

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช ผลแสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บมีอิทธิพลร่วมต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าพีเอชของเครื่องดื่มชงจากถั่วแดงลดต่ำลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บ เนื่องจากการสลายตัวของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง กลายเป็นกรดและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้พีเอชลดต่ำลง (Sivetz, and Foote, 1963) การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ระหว่างการเก็บอยู่ในช่วง 6.16-6.28

ผลการวิเคราะห์ความข่นของเครื่องดื่มชงจากถั่วแดงคั่วบดระหว่างการเก็บ ผลแสดงดังตารางที่ 4.11-4.12 พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บต่างมีอิทธิพลต่อค่าความข่น อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยความข่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บ เนื่องจากการสลายตัวของสารประกอบภายในผลิตภัณฑ์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง และเก็บเป็นระยะเวลานาน

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานิน พบว่าวิธีการบรรจุและอุณหภูมิที่เก็บมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณแอนโธไซยานินอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลแสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าแอนโธไซยานินลดลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อบรรจุในสภาพบรรยากาศ เนื่องจากอุณหภูมิจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโธไซยานิน ในขณะเดียวกันสภาวะที่มีออกซิเจน สามารถเหนี่ยวนำให้แอนโธไซยานินเกิดการสลายตัวได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น หรืออาจถูกเหนี่ยวนำโดยสารออกซิไดซ์ (Hendry and Houghton, 1996)

นอกจากนี้อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บยังมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณแอนโธไซยานิน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยการเก็บที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน จะทำให้การสลายตัวของแอนโธไซยานินสูงขึ้น แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะค่อนข้างต่ำกว่าที่ 35 และ 45 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลง antioxidant activity ของผงถั่วแดงคั่วบด ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บมีอิทธิพลร่วมต่อค่า antioxidant activity อย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) โดย antioxidant activity มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสลายตัวบางส่วนของแอนโธไซยานินซึ่งเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ตามธรรมชาติ จึงทำให้ antioxidant activity โดยรวมลดลง และที่อุณหภูมิสูงๆ จะกระตุ้นให้สารสลายตัวได้มากขึ้น

5.2.2 ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปจากถั่วแดง

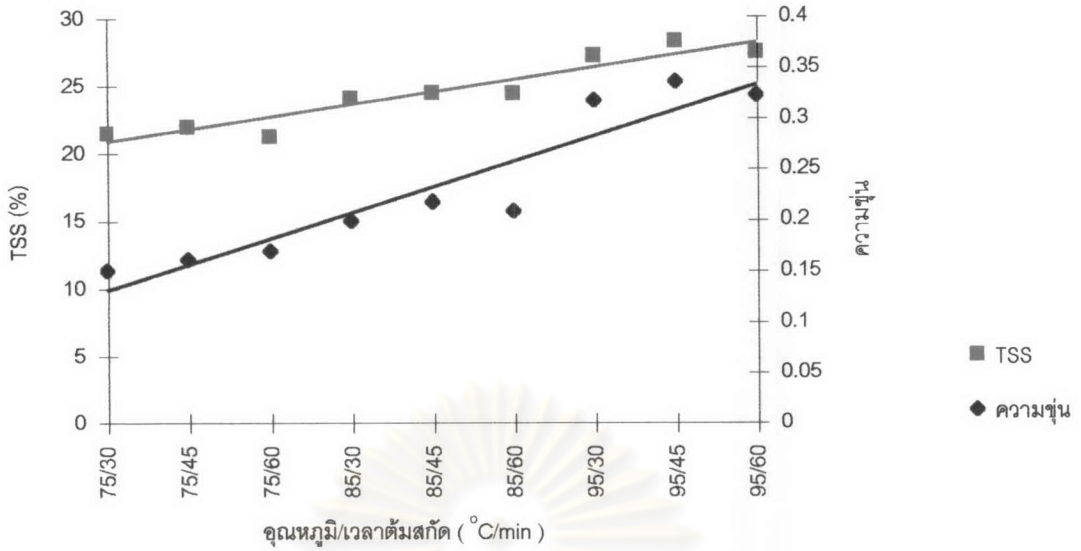
5.2.2.1 ศึกษาสภาวะในการสกัด

นำเมล็ดถั่วแดงคั่วบดขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอน มาต้มสกัดโดยแปรอุณหภูมิที่ใช้ต้มสกัดเป็น 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 30 45 และ 60 นาที จากนั้นตรวจสอบค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ความขุ่น และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของการสกัดทำเพื่อสกัดเอาของแข็งที่ละลายได้ โดยให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนของสารละลายที่สกัดน้อยที่สุด จากการวิเคราะห์ค่าสี (L,a,b) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้มีอิทธิพลต่อค่าสีแดงและค่าสีเหลืองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยค่าสีแดงและค่าสีเหลือง ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้สกัด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจากสารละลายที่สกัดได้จากผงถั่วแดงคั่วบด แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณของแข็งที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด กระบวนการในการสกัดเริ่มจากอนุภาคจะถูกทำให้เปียก ช่วงแรกเป็นการสกัดเอาสารที่ละลายได้บริเวณด้านนอกของอนุภาคออกมา จากนั้นสารที่ละลายได้ซึ่งอยู่ภายในเซลล์จึงถูกสกัดออกมาเป็นลำดับถัดไป (Varnam, and Sutherland, 1994) ในลำดับสุดท้ายเป็นการสกัดเนื่องจากกระบวนการไฮโดรไลซีส ทำให้โพลีแซคคาร์ไรด์ที่มีมวลโมเลกุลสูงแตกตัวและละลายได้มาก ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องใช้พลังงานที่สูงพอเพื่อเร่งกระบวนการ ดังนั้นการสกัดที่อุณหภูมิสูงจึงให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากขึ้น

ผลการวิเคราะห์ความขุ่นของสารละลายที่สกัดได้จากผงถั่วแดงคั่วบด แสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่าอุณหภูมิและเวลาต้มสกัดมีอิทธิพลร่วมต่อความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต้มสกัด ความขุ่นจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระบบเพิ่มขึ้น และอนุภาคที่มีขนาดใหญ่แขวนลอยอยู่ในน้ำสกัดมากขึ้น ความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งที่สกัดได้และค่าความขุ่นแสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าความขุ่นของผงถั่วแดงต้มสกัดที่อุณหภูมิ 75-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-60 นาที

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสารละลายที่สกัดได้จากถั่วแดงคั่วบด ภายใต้สภาวะการต้มสกัดที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ต้มสกัดมีอิทธิพลต่อคะแนนเฉลี่ยความขุ่น กลิ่นคั่ว กลิ่นถั่ว และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต้มสกัด จะทำให้ความขุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สภาวะในการสกัดที่รุนแรง จะทำให้ปริมาณสารสกัดในสารละลายเพิ่มขึ้น ดังนั้นความขุ่นจึงมีค่าสูง นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูง ยังส่งผลกระทบต่อสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำ โดยสารเหล่านี้จะระเหยออกไปจากสารละลายที่สกัดได้ ทำให้ความเข้มของกลิ่นรสต่ำลง ดังนั้นคะแนนเฉลี่ยกลิ่นคั่วและกลิ่นถั่วจึงลดลง ทั้งสามปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อความชอบของผู้ทดสอบชิม ทำให้คะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวมลดลงเมื่อใช้สภาวะในการสกัดที่รุนแรงขึ้น จากตารางที่ 4.15 พบว่า อุณหภูมิต้มสกัด 75 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที มีคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด แต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่ำ เมื่อพิจารณาสภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 และ 60 นาที และที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 45 และ 60 นาที พบว่ามีคะแนนการยอมรับรวมค่อนข้างสูงและไม่แตกต่างกัน แต่ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงกว่า จึงเลือกสภาวะในการสกัดที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่มีคะแนนการยอมรับสูง มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูง และใช้เวลาสกัดสั้นที่สุด เพื่อศึกษาสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นกระจายเพื่อผลิตเป็นเครื่องดื่มสำเร็จรูปต่อไป

5.2.2.2 ศึกษาสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

เตรียมสารละลายน้ำถั่วแดงสกัดจากสภาวะที่เลือกจากข้อ 5.2.2.1 มาศึกษาสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยแปรอุณหภูมิลมขาเข้า chamber 3 ระดับ คือ 175 195 และ 215 องศาเซลเซียส จากนั้นตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและเคมี รวมทั้งทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มผงจากถั่วแดงที่ผลิตโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นกระจาย

จากสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมขาเข้าสูงให้ขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิลมขาออกสูงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานความร้อนของระบบเพิ่มขึ้นทำให้ระหว่างการทำแห้ง ไม่สามารถควบคุมระดับของอุณหภูมิลมขาออกให้คงที่ได้ตลอดเวลา จึงปรับอัตราการป้อนสารละลายเพิ่มขึ้น เพื่อควบคุมอุณหภูมิลมขาออกให้เปลี่ยนแปลงภายในช่วงแคบๆ คือ 70- 85 องศาเซลเซียส ดังนั้นการศึกษาสภาวะในการทำแห้งจากผลของอุณหภูมิลมขาเข้าต่อผลิตภัณฑ์ จึงได้รับผลกระทบจากอัตราการป้อนตัวอย่างด้วย

สำหรับผงถั่วแดงที่ผลิตโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ผงเล็กละเอียดคล้ายแป้ง และดูดความชื้นได้รวดเร็ว เมื่อได้ตัวอย่างออกมา จึงต้องเก็บใส่ถุงและปิดผนึกในสภาพสุญญากาศทันที เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ลักษณะต่างๆต่อไป

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผงถั่วแดงที่ผลิตได้ แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่าอุณหภูมิลมขาเข้ามีอิทธิพลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมขาเข้า ความสว่างจะมีค่าลดลง ส่วนค่าสีแดงและสีเหลืองจะเพิ่มขึ้น ค่าสีที่วัดได้เป็นตัวแสดงให้เห็นถึงการเกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ เป็นผลเนื่องมาจากความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับระหว่างทำแห้ง ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเด่นชัดคือปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นหอมหวานอย่างเด่นชัด ในขณะเดียวกัน อาจเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เนื่องจากสารสกัดที่นำไปทำแห้งแบบพ่นกระจายมีองค์ประกอบที่สำคัญคือน้ำตาล สารประกอบคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และสารประกอบโปรตีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา ค่าสีของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการทำแห้งโดยแปรอุณหภูมิลมขาเข้าทั้ง 3 ระดับ มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 68.92 ถึง 71.85 ค่าสีแดงอยู่ในช่วง +4.12 ถึง +4.98 และสีเหลืองอยู่ในช่วง +23.69 ถึง +26.34

ผลการวิเคราะห์ความชื้น พบว่าอุณหภูมิลมขาเข้าไม่มีอิทธิพลต่อความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ผลการทดลองที่ได้ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Main, Clydesdale, and Francis (1978) ที่รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้ง จะทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้รับผลกระทบจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในส่วนทำแห้ง (Finney, Buffo, and Reineccius, 2002) เมื่ออุณหภูมิลมขาเข้าสูงขึ้น

ความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายควรต่ำลง แต่เนื่องจากอัตราการป้อนของเหลวที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูง ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์บริเวณส่วนทำแห้งจึงเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำภายในอนุภาค ไม่สามารถระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความชื้นไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมขาเข้าต่ำๆ

จากผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค พบว่าอุณหภูมิลมขาเข้ามีอิทธิพลต่อขนาดอนุภาคอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยอนุภาคจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมขาเข้า ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งอย่างรวดเร็วทำให้โครงสร้างภายนอกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ดังนั้นเมื่ออัตราการทำแห้งสูง จะทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย (Finney, Buffo, and Reineccius, 2002) เมื่อส่องดูขนาดอนุภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ผลแสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าอนุภาคจะมีการกระจายขนาดแตกต่างกันไป ที่อุณหภูมิลมขาเข้าต่ำๆ จะมีการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก และเมื่อพิจารณาความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากสภาวะต่างๆ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งที่ขนาดอนุภาคที่วัดได้มีค่าต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าในการทำแห้งแบบพ่นกระจายโดยใช้หัวฉีดแบบ nozzle atomizer ทำให้การกระจายของขนาดอนุภาคมีมาก ดังนั้นที่อุณหภูมิลมขาเข้าต่างๆ ขนาดอนุภาคโดยรวมอาจไม่แตกต่างกัน

เมื่อตรวจสอบความสามารถในการละลาย โดยวัดจากระยะเวลาที่ใช้ในการละลายผลิตภัณฑ์จนสมบูรณ์ ผลแสดงดังตารางที่ 4.18 พบว่าอุณหภูมิลมขาเข้ามีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้อุณหภูมิลมขาเข้าสูง จะใช้เวลาในการละลายสั้นกว่า ทั้งนี้อาจได้รับผลกระทบจากขนาดอนุภาค การผลิตโดยใช้อุณหภูมิลมขาเข้าต่ำจะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็ก ถ้ามีอนุภาคมีขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นฝุ่นผงทำให้เปียกและกระจายตัวได้ยาก (Masters, 1979) เมื่อนำไปละลายอนุภาคจะเกาะกลุ่มกัน ทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ด้านในเป็นไปอย่างช้าๆ ดังนั้นจึงใช้เวลานานกว่าการละลายอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

ผลการวิเคราะห์ความข่นของเครื่องดื่มผงจากถั่วแดงที่ผลิตโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่าอุณหภูมิลมขาเข้ามีอิทธิพลต่อความข่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยความข่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมขาเข้า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระหว่างกระบวนการผลิต โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบภายในสารละลายจากถั่วแดงสกัด เกิดการเสียสภาพเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ความข่นมีค่าสูงเมื่อนำมาคืนรูป

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานิน ผลแสดงดังตารางที่ 4.19 พบว่าปริมาณแอนโธไซยานิน antioxidant activity และ oxidation rate ratio ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิลมขาเข้า โดยเมื่ออุณหภูมิลมขาเข้าสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณแอนโธไซยานินที่เหลืออยู่น้อยลง เนื่องจากแอนโธไซยานินสลายตัวจากความร้อนที่ได้รับ

สำหรับ oxidation rate ratio จะแปรผกผันกับค่า antioxidation activity เมื่อ antioxidant activity เพิ่มขึ้น สัดส่วนของอัตราการเกิดออกซิเดชั่นจะลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมขาเข้า พบว่า antioxidant activity มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดบางตัวแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชั่น (Pokorny, Yanishlieva, and Gordon, 2001)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปจากถั่วแดงที่ผลิตโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นกระจายนี้ พบว่าอุณหภูมิลมขาเข้ามีผลให้คะแนนค่าความเข้มสี ความข่น กลิ่นคั่ว กลิ่นผิดปกติเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการยอมรับรวม การที่กลิ่นคั่วในผลิตภัณฑ์หลังทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมขาเข้าสูง ยังมีความแรงของกลิ่นมากกว่าการทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมขาเข้าที่ต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิลมขาเข้าสูง จะทำให้การเกิดเมมเบรนที่ผิวนอกของอนุภาคขณะทำแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้สารประกอบที่ให้กลิ่นรสถูกกักไว้ภายในอนุภาค Finney, Buffo, and Reineccius (2002) กล่าวว่าการเลือกใช้อุณหภูมิลมขาเข้าสูงพอเหมาะ จะทำให้รักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า

เมื่อพิจารณาผลด้านต่างๆโดยรวม พบว่าสภาวะทำแห้งที่อุณหภูมิลมขาเข้า 215 องศาเซลเซียส มี antioxidant activity และ ความสามารถในการละลายสูง ดังนั้นสภาวะนี้จึงเป็นสภาวะที่คัดเลือกในการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

5.2.2.3 <u>วิเคราะห์องค์ประกอบของเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปจากถั่วแดง</u>

เมื่อนำผงถั่วแดงที่ผลิตโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นกระจาย ด้วยอุณหภูมิลมขาเข้า 215 องศาเซลเซียส มาตรวจสอบผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่ามีองค์ประกอบโดยประมาณดังนี้ ความชื้นร้อยละ 6.64 โปรตีนร้อยละ 11.79 ไขมันร้อยละ 0.53 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 69.65 เถ้าร้อยละ 11.39 และสารประกอบอื่นๆ คือ แอนโธไซยานิน 0.13 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมตัวอย่าง และสารประกอบฟีนอลิก 71.50 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง สำหรับองค์ประกอบในกาแฟสกัดมีคือ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ35.0 โปรตีนร้อยละ 4.0 ไขมันร้อยละ 0.2 เถ้าร้อยละ 14.0 และสารประกอบฟีนอลร้อยละ 5.0 (Sivetz, 1977) จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ยังคงมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูง จึงน่าจะเป็นเครื่องดื่มที่มีกลิ่นรสดี และยังคงมีคุณค่าทางอาหาร