บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้าวไรซ์เบอรี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ภาพที่ 2.1) เป็นข้าวสายพันธุ์ ของ *Oryza sativa Linne (Gramineae)* ที่ได้มาจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากการพัฒนาพันธุ์ข้าวพิเศษ โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลักษณะของข้าวที่ยังไม่ผ่านการขัดสีจะเป็นสีม่วง มีเปลือกแข็ง ด้านในเป็นสีขาว และมีเม็ดสีสีม่วงเข้มอยู่ในเปลือกหุ้มที่ยังไม่ผ่านการขัดสี ความสูง 105-110 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว 130 วัน ผลผลิต 300-500 กิโลกรัมต่อไร่ เม็ดสีในข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งก็คือแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติจะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ กำจัดอนุมูลอิสระต่าง ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นในร่างกาย และยังมีประโยชน์ช่วยในการต้านมะเร็งและช่วยชะลอวัย โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง และโรคสมองเสื่อม ได้อีกด้วย (Bellido and Beta, 2009) เพราะสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากโพลีฟีนอล แอนโทไซยานิน แกมมาโอไรซานอล จะช่วยกำจัดอนุมูลอิสระก่อนที่จะเข้ามาทำลายเซลล์ในร่างกายได้ และยังเหมาะสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน เพราะข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่มีค่าดัชนีน้ำตาลในระดับต่ำถึงปานกลาง และส่วนใยอาหารที่ได้จากผิวรำ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขับถ่าย เพราะใยอาหารที่ได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่จะไปช่วยเพิ่มมวลของอุจจาระ ทำให้ขับถ่ายได้ง่ายขึ้น สารอาหารที่สำคัญที่อยู่ในข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีโอเมก้า 3 กรดไขมันจำเป็นซึ่งจะช่วยต่อการทำงานของสมองตับและระบบประสาท ลดระดับคอเลสเตอรอล ช่วยสังเคราะห์โปรตีน สร้างคอลลาเจน ป้องกันผมร่วงได้ อีกด้วยมีลูทีนช่วยเรื่องป้องกันจอประสาทตาเสื่อม แทนนินส่วยช่วยเรื่องท้องร่วง แก้บิดสมานแผล ซึ่งจากคุณสมบัติต่าง ๆ นอกจากจะใช้รับประทานเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ทางการแพทย์ยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารโภชนบำบัดอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 สารอาหารสำคัญที่พบในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่

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

ที่มา : Leardkamolkarn *et al* (2011)

ภาพที่ 2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

2. ข้าวอินทรีย์

2.1 ความหมายของข้าวอินทรีย์

ข้าวอินทรีย์ (Organic Rice) เป็นข้าวที่ได้จากการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเป็นวิธีการผลิตที่หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีหรือสารสังเคราะห์ต่าง ๆ เป็นต้นว่า ปุ๋ยเคมี สารควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุมและกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดโรค แมลงและศัตรูข้าวในทุกขั้นตอนการผลิตและในระหว่างการเก็บรักษาผลผลิต หากมีความจำเป็นแนะนำให้ใช้วัสดุจากธรรมชาติ และสารสกัดจากพืชที่ไม่มีพิษต่อคนหรือไม่มีสารพิษตกค้างปนเปื้อนในผลผลิต ในดินและในน้ำในขณะเดียวกันก็เป็นการรักษาสภาพแวดล้อม ทำให้ได้ผลิตผลข้าวที่มีคุณภาพดี ปลอดภัยจากอันตรายของผลตกค้าง ส่งผลให้ผู้บริโภคมีสุขอนามัยและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจและเชื่อถือในระบบการผลิตและผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องผ่านการตรวจสอบและรับรองจากหน่วยตรวจสอบที่ได้มาตรฐาน

2.2 หลักการผลิตข้าวอินทรีย์

การผลิตข้าวอินทรีย์ เป็นระบบการผลิตข้าวที่ไม่ใช้สารเคมีทางการเกษตรทุกชนิด เป็นต้นว่า ปุ๋ยเคมี สารควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุมและกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดโรค แมลงและศัตรูข้าว ตลอดจนสารเคมีที่ใช้รมเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูข้าวในโรงเก็บ การผลิตข้าวอินทรีย์นอกจากจะทำให้ได้ผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพสูงและปลอดภัยจากสารพิษแล้ว ยังเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและเป็นการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืนอีกด้วย

การผลิตข้าวอินทรีย์เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่เน้นเรื่องของธรรมชาติเป็นสำคัญ ได้แก่ การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติ การรักษาสมดุลธรรมชาติและการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ เพื่อการผลิตอย่างยั่งยืน เช่น ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการปลูกพืชหมุนเวียน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในไร่นาหรือจากแหล่งอื่น ควบคุมโรค แมลงและศัตรูข้าวโดยวิธีผสมผสานที่ไม่ใช้สารเคมีการเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่เหมาะสมมีความต้านทานโดยธรรมชาติ รักษาสมดุลของศัตรูธรรมชาติ การจัดการพืช ดิน และน้ำ ให้ถูกต้องเหมาะสมกับความต้องการของต้นข้าว เพื่อทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดี มีความสมบูรณ์แข็งแรงตามธรรมชาติ การจัดการสภาพแวดล้อมไม่ให้เหมาะสมต่อการระบาดของโรค แมลงและศัตรูข้าว เป็นต้น การปฏิบัติเช่นนี้ก็สามารถทำให้ต้นข้าวที่ปลูกให้ผลผลิตสูงในระดับที่น่าพอใจ การผลิตข้าวอินทรีย์ มีขั้นตอนการปฏิบัติเช่นเดียวกับการผลิตข้าวโดยทั่วไป จะแตกต่างกันที่ต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในทุกขั้นตอนการผลิต

3. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

3.1 อนุมูลอิสระ

เป็นสารที่มีอิเล็คตรอนอิสระอยู่ในวงนอกของอะตอมหรือโมเลกุล มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา โดยรับอิเล็คตรอนจากสารอื่น ๆ ใกล้เคียงมีผลให้ตัวมันเองเสถียรมากขึ้นในขณะเดียวกันก็ชักนำให้สารที่ให้อิเล็คตรอนไปนั้นมีอิเล็คตรอนไม่ครบคู่จนอาจกลายเป็นสารที่มีความรุนแรง ซึ่งถ้าเกิดขึ้นในระบบสิ่งมีชีวิต อาจทำอันตรายส่วนสำคัญต่อเซลล์รอบ ๆ บริเวณนั้น ไม่ว่าเป็นโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต หรือ ดีเอ็นเอ (DNA) ทำให้สารชีวโมเลกุลเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเสียหน้าที่การทำงาน

อนุมูลอิสระเกิดขึ้นในร่างกายจากการขนส่งอิเล็คตรอนในกระบวนการเผาผลาญอาหารให้เกิดเป็นพลังงาน โดยใช้ออกซิเจนในไมโทคอนเดรียอิเล็คตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกจับ โดยออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลของออกซิเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เรียกว่า Reactive oxygen species (ROS) ตัวอย่าง เช่น ไฮดรอกซิล (Hydoxyl) ซุปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide) และเพอร์รอกซิล (Peroxide) อนุมูลอิสระชนิดอื่นที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น Reactive nitrogen species (RNS) เช่น ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide) และเมทธิล (Methyl) นอกจากการเผาผลาญอาหารที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระแล้ว แหล่งอื่นในร่างกายที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปฏิกิริยาทางเอนไซม์ เช่น แซนทีนออกซิเดส (Xanthine oxidase) พรอสตาแกลนดิน ซินเทส (Prostaglandin synthase) ลิพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) แอลดีไฮด์ออกซิเดส (Aldehyde oxidase) ปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชันของไขมัน

(Lipid peroxidation) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัว สภาวะทางอารมณ์ เช่น ความเครียด และพยาธิสภาพของร่างกาย เช่น การมีไข้ การติดเชื้อ เป็นต้น แหล่งอนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกาย ได้แก่ รังสี โอโซน ควันบุหรี่ ตัวทำละลายอินทรีย์ และมลภาวะต่าง ๆ (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552)

3.2 กลไกลการเกิดออกซิเดชัน

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

3.2.1 ระยะเหนี่ยวนำ (Initiation)

ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ มักเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) แสง (Photolysis) รังสี (Radiolysis) หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) รวมถึงโมเลกุลที่มีความไวสูงในการทำปฏิกิริยา เช่น ไนตริกออกไซด์ ($^{\bullet}NO$) และ Singlet oxygen ($^{1}O_2$) ซึ่งเป็นออกซิเจนในสถานะที่ถูกกระตุ้น สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น

พันธะ O-O ในโมเลกุลของไฮโดรเพอร์ออกไซด์เป็นพันธะที่ไม่แข็งแรง จึงถูกสลายได้ง่ายทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ โดยในปฏิกิริยาที่มีโลหะไอออน เช่น เหล็ก และทองแดง จะช่วยในการเร่งสลายโมเลกุลของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น

3.2.2 ระยะเพิ่มจำนวน

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในระยะเหนี่ยวนำจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปนี้โดยเกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ทาง คือ โดยดึงเอาอะตอมไฮโดรเจนออกจากโมเลกุลข้างเคียง หรือโดยการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจนที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่

3.2.3 ระยะสิ้นสุด (Termination)

เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น 2 อนุมูลมารวมกัน ได้เป็นสารที่มีความเสถียร จึงเป็นการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ (ชัยรัตน์ พึ่งเพียร, 2552)

3.3 สารต้านอนุมูลอิสระ

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

3.3.1 สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ (Primary antioxidants)

เป็นสารที่หยุดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระโดยการให้อนุมูลไฮโดรเจนหรืออิเล็คตรอนแก่ อนุมูลอิสระโดยตรงเป็นผลให้อนุมูลนั้นกลายเป็นสารที่มีความเสถียรภาพมากขึ้น สารที่สมบัติดังกล่าว เช่น สารประกอบฟีนอลิก หรือสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น บิวทิเลเตตไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxyl toluin, BHT) บิวทิเลเตตไฮดรอกซีอะนิโซล (Butylated hydroxyl anisole, BHA) และเทอร์เทียรีบิวทิลไฮโดรควิโนน (Tertiary butyl hydroquinone, TBHQ) เป็นต้น

3.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ (Secondary antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระประเภทนี้ไม่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอนุมูลอิสระ แต่จะทำหน้าที่สลายไฮโดรเพอร์ออกไซด์ของไขมัน ให้เกิดเป็นสารที่มีความเสถียร เช่น กรดไทโอโพรพิโอนิก (Thiopropionic acid)

3.3.3 สารที่ทำหน้าที่ดักจับออกซิเจน(Oxygen scavengers)

เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน แล้วกำจัดออกไปจากระบบได้ซึ่งสารจับออกซิเจนจะช่วยเสริมฤทธิ์ หรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) กรดอิริทรอบิก (Erythobic acid) แอสคอร์บิลปาล์มิเตต (Ascorbyl palmitate) เป็นต้น

3.3.4 เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Enzymatic antioxidants)

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

3.3.5 สารที่ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระ (Chelating agents)

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

3.4 แหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants)

3.4.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthesis antioxidants)

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

3.4.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Naturel antioxidants)

เป็นสารที่พบได้ในธรรมชาติไม่ว่าจะมาจากพืช จุลินทรีย์ หรือเนื้อเยื่อของสัตว์ มีการแบ่งกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของเอนไซม์ เช่น ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมูเทรส กลูทาไทโอนเพอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase) และคะตะเลส (Catalase) กลุ่มสารโมเลกุลใหญ่ เช่น อัลบูมิน(Albumin) เซรูโรพลาสมิน (Ceruloplasmin) เฟอริติน(Ferritin) กลุ่มสารโมเลกุลเล็ก เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคเฟอรอล แคโรทีนอยด์ และโพลีฟีนอล (Polyphenol) กลุ่มของฮอร์โมนบางชนิด เช่น เอสโตรเจน (Estrogen) แองจิโอเทนซิน (Angiotensin) และ เมลาโทนิน (Melatonin) เป็นต้น

3.5 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) เป็นสารกลุ่มเมตาบอลิสระดับทุติยภูมิ (Secondary metabolite) ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตการขยายพันธุ์พืชและการป้องกันจากเชื้อก่อโรค นอกจากนี้อาจเป็นสารที่ให้สีหรือกลิ่นรสในผักและผลไม้ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกนั้นมีอยู่ในอาหารและเครื่องดื่มที่ได้มาจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญชาติต่าง ๆ น้ำผลไม้ ไวน์ ชา และกาแฟ เป็นต้น แต่พบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป

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

3.5.1 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก ทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยการให้ออกซิเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ

เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้ไฮโดรเจนอะตอม แก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีความเสถียร เนื่องจากเกิดการเคลื่อนย้ายของอิเล็คตรอนใน วงแหวนเบนซีน และทำให้ไม่มีตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการเข้าจับของโมเลกุลออกซิเจน นอกจากนี้ อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย

3.5.2 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอลิก ดังนี้

3.5.2.1 ค่าพีเอช เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล ในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช จะมีผลให้หมู่ไฮดรอกซิลเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเช่นกัน

3.5.2.2 อุณหภูมิ มีผลต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิก อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกโมเลกุลเล็กๆ ระเหยกลายเป็นไอได้ นอกจากนี้อุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเช่นกัน

3.5.2.3 การเกิดออกซิเดชัน สารประกอบฟีนอลิกสามารถถูกออกซิไดส์ได้โดยอาจเกิดจากออกซิเจน หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมัน โดยเฉพาะไฮโดรเพอร์ออกไซด์

3.5.2.4 การรวมตัวกับโมเลกุลอื่น ๆ สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่น ๆ เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ หรืออัลคาลอยได้ และปฏิกิริยาอาจจะเป็นแบบสามารถผันกลับได้หรือไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจนไอออนโลหะ เอนไซม์ และกรด เป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในสภาวะสมดุลรวมกัน และตกตะกอนแยกออกมา หรือเกิดพันธะโควาเลนท์รวมกันเป็นสารใหม่ ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ หากปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป จะทำให้สารประกอบฟีนอลิกสูญเสียสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้

4. เครื่องดื่มผง

เครื่องดื่มผง คือ เครื่องดื่มผงแห้งที่มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก เป็นผงละเอียด มักทำให้อยู่ในสภาพเข้มข้นและละลายน้ำได้ดี เช่น นมผง เครื่องดื่มผงรสช็อกโกแล็ต กาแฟผงสำเร็จรูป โกโก้ผง เป็นต้น การผลิตเครื่องดื่มผงได้รับความสนใจอย่างมาก ทั้งนี้เพราะการผลิตเครื่องดื่มที่มีความชื้นสูงย่อมเสื่อมคุณภาพได้ง่ายกว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ เช่น เครื่องดื่มน้ำผลไม้ เครื่องดื่มสมุนไพร เป็นต้น ดังนั้น การทำเครื่องดื่มเป็นผงจึงเป็นการลดปริมาณความชื้นในอาหารลง ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ อีกทั้งการแปรรูปเครื่องดื่มผงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา และขนส่งได้สะดวก ตลอดจนการบริโภคได้ง่าย โดยการชงด้วยน้ำร้อน หรือน้ำเย็นก็สามารถบริโภคได้ (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535)

4.1 คุณลักษณะของเครื่องดื่มผง

ผลิตภัณฑ์อาหารผงมีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก มีน้ำหนักน้อยและมีปริมาตรลดลงจากเครื่องดื่มประมาณ 8 และ 4 เท่า ตามลำดับ เครื่องดื่มผงที่ผ่านกรรมวิธีการทาแห้งจะมีความชื้นต่ำ คือ ประมาณร้อยละ 5 เมื่อเติมน้ำลงไปในผลิตภัณฑ์ผงจะได้เครื่องดื่มที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนทำแห้ง คุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ผง ได้แก่ คุณลักษณะด้านการละลายที่สามารถละลายได้อย่างรวดเร็วแม้ในน้ำเย็น (1-2 นาที) มีสี และกลิ่นรสที่ใกล้เคียงกับ ผลิตภัณฑ์เริ่มต้นก่อนทำแห้งมากที่สุด เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อมคุณภาพ (อรทัย บุญทะวงศ์, 2547)

4.1.1 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

สมบัติการละลายของผง (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996) ได้แก่

(1) ความสามารถในการดูดซึมของผิวอาหาร (wettability) เมื่อมีการเติมน้ำ หากเครื่องดื่มผงมีผิวสัมผัสมากจะดูดน้ำได้ดี ทำให้กระจายตัวในของเหลวได้ง่าย

(2) การกระจายตัว (dispersibility) เครื่องดื่มผงที่มีการกระจายตัวดี ทำให้จมน้ำได้เร็ว หากมีการรวมตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ขึ้น อาจทำให้การกระจายตัวในของเหลวไม่ดี

(3) การจมน้ำ (sinkability) เครื่องดื่มผงที่จมน้ำได้เร็ว มักจะละลายได้ดี ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของผง

(4) ความสามารถละลายน้ำ (solubility) และอัตราเร็วของการละลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับ ชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำผลไม้ผง

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลาย คือ ธรรมชาติของตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย อุณหภูมิ ความดัน ขนาดของอนุภาค และการกวนผสม

4.2 การทำแห้งเครื่องดื่มผง

โดยทั่วไปกรรมวิธีการผลิตเครื่องดื่มผงเริ่มจากการผลิตเครื่องดื่มเสียก่อน แล้วจึงนำไปทำแห้งซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง แบบโฟม-แมท แบบพ่นฝอย แบบฟลูอิดไดซ์เบด หรือการทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นต้น การทำแห้งเครื่องดื่มส่วนใหญ่จะเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มให้มีคุณภาพที่ดีก่อน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงที่มีสีและกลิ่นรสที่ดี กรรมวิธีการทำแห้งให้เป็นผงอาจทำได้หลายวิธี โดยส่วนใหญ่ต้องใช้ความร้อนสูงในการทำแห้ง หากหลีกเลี่ยงไม่ใช้ความร้อนสูงควรออกแบบกระบวนการทำแห้ง โดยแบ่งกระบวนการทำแห้งออกเป็นช่วง โดยช่วงแรกอาหารที่ยังมีความชื้นสูง อาจใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้ลดความชื้นของอาหารอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเมื่อความชื้นของอาหารลดลงบ้างแล้ว อาจลดอุณหภูมิในการทาแห้งให้ต่ำลงด้วย ซึ่งจะส่งผลให้คงคุณลักษณะภายนอกที่ดีของน้ำผลไม้ผง

ในบางกรณีการผลิตเครื่องดื่มผง มีความจำเป็นต้องเติมวัตถุเจือปนอาหารประเภทที่ช่วยถนอมรักษาอาหาร (preservative) เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือสารที่ช่วยในการสร้างโครงสร้างภายในของอาหารให้เหมาะสมต่อการทำแห้ง เช่น สารที่ก่อให้เกิดโฟม รวมทั้งสารที่ทำให้คงตัว (stabilizers) เช่น โปรตีนถั่วเหลือง (soya protein), glyceryl monostearate หรือ alginates เป็นต้น (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2550)

5. การอบแห้งแบบโฟม-แมท (Foam-mat Drying)

กระบวนการอบแห้งแบบโฟม-แมท เริ่มพัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการวิจัย The Western Regional Research Laboratory โดยนายมอร์แกนและคณะ เพื่อผลิตน้ำผลไม้ผงที่มีสีและกลิ่นใกล้เคียงของสด โดยใช้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและแบบสุญญากาศ การทำแห้งแบบโฟม-แมท เป็นกระบวนการทำแห้งต่ออาหารเหลวที่ผ่านการตีให้มีลักษณะเป็นโฟมที่คงตัว ซึ่งการทาให้เกิดโฟมทำได้โดยการนำอาหารเหลวมาตีโดยใช้เครื่องตีความเร็วสูง เพื่อเป็นการเติมอากาศเข้าไปในอาหาร อาหารบางชนิด เช่น น้ำนม ไข่ขาว เมื่อนำมาผ่านกระบวนการดังกล่าวก็สามารถเกิดโฟมขึ้นได้ เนื่องจาก

อาหารเหล่านี้มีองค์ประกอบของโปรตีนและสารโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งมีสมบัติทำให้เกิดโฟมและรักษาโฟมให้คงทนแข็งแรง แต่อาหารบางชนิด เช่น น้ำส้มคั้น จำเป็นต้องมีการเติมสารก่อให้เกิดโฟมลงไปด้วยจึงจะได้โฟมที่คงทน จากนั้นนำโฟมที่ได้ไปเกลี่ยให้เป็นแผ่นบางบนถาดหรือสายพานแล้วจึงนำไปทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการอบจะนำไปบดเป็นผง (รัตนา อัตตปัญโญ , 2547)

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโฟม (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโฟมแบ่งออกได้เป็น 5 ปัจจัย ดังนี้

5.1.1 ความหนืด การทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้น จะทำให้โฟมมีความคงตัวมากขึ้น สารที่ช่วยเพิ่มความหนืดส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำตาล และสารไฮโดรคอลลอยด์ สารพวกนี้นอกจากจะเพิ่มความหนืดแล้วยังลดแรงตึงผิวอีกด้วย

5.1.2 ของเหลวที่มีแรงตึงผิวต่ำ จะช่วยให้ของเหลวมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นรอบฟองอากาศ โดยไม่บีบตัวให้ฟองอากาศแตกเร็วเกินไป ดังนั้น การเปลี่ยนแรงตึงผิวของฟิล์มสามารถทำให้เกิดโฟม หรือการยุบตัวของโฟมได้

5.1.3 ความดันไอ ของเหลวต้องมีความดันไอต่ำ เพราะทำให้ของเหลวกลายเป็นไอได้ยาก หรือของเหลวระเหยได้ช้า ถ้าของเหลวมีความดันไอสูงจะกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้ฟิล์มที่ล้อมรอบฟองอากาศบางลง และโฟมจะยุบตัว

5.1.4 การเกิดฟิล์มของอนุภาคฟองอากาศ โฟมที่มีความคงตัวฟิล์มที่เกิดขึ้นต้องมีค่าความยืดหยุ่นที่ผิวสัมผัสและความหนืดที่ผิวสัมผัสสูง

5.1.5 สารที่จะช่วยให้โฟมมีความแข็งตัว (rigidity) ที่ระหว่างผิวของก๊าซและของเหลว เช่น โปรตีนที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อทำให้เกิดโฟมโดยการตี โปรตีนจะเสียสภาพขณะตี จะช่วยทำให้โฟมมีความแข็งตัวและคงตัวมากขึ้นด้วย

5.2 ข้อดีของกระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมท (รัตนา, 2547)

5.2.1 สามารถใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์อาหารเหลว หรืออาหารกึ่งเหลวที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่สูง โดยยังสามารถรักษากลิ่นและสีไว้ได้ ขณะที่กระบวนการทำแห้งแบบอื่น ๆ เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) ไม่สามารถทำได้เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงกว่าการอบแห้งแบบโฟม-แมท

5.2.2 เป็นการทำแห้งที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยมาก น้อยกว่ากระบวนการทำแห้งแบบอื่น ๆ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่าวิธีการอื่น

5.2.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ สามารถรักษาสี กลิ่น และความสามารถในการคืนรูปไว้ได้ดีกว่า การทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบอื่น ๆ และมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ที่มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า

5.2.4 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผง มีน้ำหนักเบา และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำ

5.3 กระบวนการทำให้เกิดโฟม

การทำให้เกิดโฟมเป็นขั้นตอนแรกของการทำแห้งแบบโฟม-แมท เป็นระบบของสารแขวนลอยอย่างสมบูรณ์ของอากาศในของเหลว ซึ่งแตกต่างจากโฟมของน้ำสบู่ซึ่งมีลักษณะเบากว่ามาก ลักษณะโฟมที่พึงประสงค์ในการอบแห้งแบบโฟม-แมท จะต้องมีความคงตัวที่ดีในระหว่างการอบแห้ง เพื่อให้โฟมยังคงมีลักษณะเป็นโฟม และแตกหักออกเป็นผงได้ง่าย อย่างไรก็ตามโฟมที่คงตัวในบรรยากาศปกติบางครั้งก็ไม่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง การทำให้เกิดโฟมในอาหารเหลว ทำได้โดยการตีด้วยความเร็วสูง ๆ เป็นการผสมของผสม 2 สถานะด้วยแรงเฉือนที่สูง อาหารเหลวมีการแตกตัวทำให้อากาศสามารถแทรกตัวเป็นฟองเข้าไปในของเหลวได้ ซึ่งกลไกของการเกิดโฟมในของเหลวนั้นจะเกี่ยวข้องกับแรงตึงผิว (surface tension) ทั้งนี้โดยปกติเมื่อฟองอากาศในของเหลวลอยขึ้นมาสู่ผิวหน้าจะมีการแตกของฟองอากาศ ดังนั้นถ้าต้องการรักษาสภาพของฟองอากาศให้คงอยู่ที่ผิวของของเหลวได้ จะต้องทำการเปลี่ยนค่าแรงตึงผิวนั้น การตีโฟมในอาหารเหลวจะทำให้อาหารไม่เกาะตัวกันเป็นก้อนเมื่อนำโฟมไปอบในเครื่องอบแห้งแบบสายพานต่อเนื่อง หรืออบแห้งในเตาอบแบบถาดต่อเนื่องในรูปแผ่นบางๆ โครงสร้างของโฟม และการจัดเรียงตัวของโฟมที่เหมาะสมจะทาให้การอบแห้งเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว โดยลักษณะของโฟมที่พึงประสงค์ในการอบแห้ง คือ โฟมจะต้องมีความคงตัวสูง เพื่อให้โฟมสามารถพยุงโครงสร้างของอาหารในระหว่างการอบแห้งได้ โฟมที่อบแห้งจะมีโครงสร้างที่มีรูพรุนสามารถขูดโฟมที่แห้งให้เป็นผง ซึ่งสามารถละลายได้ทันทีในน้ำเย็น ซึ่งจะรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอาหารที่ไวต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน

นอกจากอาหารที่เป็นของเหลวแล้ว อาหารที่แห้งอยู่แล้วสามารถนำมาละลายหรือทำให้เป็นสารแขวนลอยแล้วนำไปอบแห้งแบบโฟม-แมท เพื่อให้ได้ของแข็งที่มีความหนาแน่นน้อยลง และมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น จากการศึกษาปัจจัยที่ผลต่อการผลิตโฟมและความคงตัวของโฟมของน้ำผลไม้เมืองร้อน พบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม คือ ธรรมชาติทางเคมีของผลไม้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด อัตราส่วนของเนื้อผลไม้ ชนิดของสารก่อโฟมชนิดและความเข้มข้นของสารที่

ทำให้โฟมคงตัว ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญน้อย คือ ความเข้มข้นของสารก่อโฟม เวลาและอุณหภูมิในการผสม

5.4 สารก่อให้เกิดโฟม (Foaming Agent)

สารก่อให้เกิดโฟมเป็นสารที่ใช้เติมลงไปในอาหารเหลว เพื่อช่วยให้เกิดโฟมเมื่อนำไปตีในเครื่องตีเพื่อเติมอากาศให้กับอาหารจนเกิดโฟม ซึ่งเป็นของผสมระหว่างของเหลวหรือกึ่งของแข็งและอากาศมีของเหลวเป็นส่วนต่อเนื่อง (continuous phase) และอากาศเป็นส่วนกระจาย (disperse phase) โดยชั้นของเหลวบาง ๆ เรียกว่า ลาเมลเล (lamellae) แยกฟองอากาศออกจากกัน สารก่อให้เกิดโฟมที่เติมลงในอาหารจะช่วยทำให้เกิดสภาพโฟม สารนี้ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงบริเวณลาเมลเล ทำให้อาหารอุ้มอากาศไว้ภายในได้มากขึ้น โดยฟองอากาศนั้นไม่แตกหรือแยกออก ขณะเดียวกันจะช่วยรักษาสภาพโฟมให้คงตัวอยู่ได้นาน ทำให้โฟมมีความคงตัวยิ่งขึ้น ปกติโมเลกุลของสารที่ช่วยให้เกิดโฟมนั้นประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophile) ซึ่งเป็นพวกอนุมูลอิสระที่มีประจุ อาจเป็นประจุบวกหรือลบก็ได้ เป็นส่วนที่ละลายอยู่ในเฟสของน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobe) เป็นส่วนที่ไม่มีประจุ มักเป็นอนุพันธ์คาร์บอนอะตอมที่มีสายยาว ๆ (aliphatic carbon chain) เป็นส่วนที่จะละลายอยู่ในเฟสของน้ำมัน (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

สารก่อให้เกิดโฟมที่เลือกใช้สำหรับอาหารต้องไม่มีรสชาติ ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร สามารถทำให้เกิดโฟมได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณต่ำ และปลอดภัยสำหรับการบริโภค (รัตนา อัตตปัญโญ, 2547) สารก่อให้เกิดโฟมที่ใช้ในอาหาร เช่น เมโทเซล (methocel) โปรตีนถั่วเหลือง (solubilized soya protein) กลีเซอริลโมโนสเตียเรต (glyceryl monostearate) และอัลบูมินจากไข่ (egg albumin)

5.5 เมโทเซล

เมโทเซล เป็นชื่อทางการค้า ผลิตโดยบริษัท Dow Chemical ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถแบ่งเมโทเซลตามชนิดของเซลลูโลส อีเทอร์ (cellulose ethers) ภายในองค์ประกอบทางเคมีได้ 2 ชนิด คือ เมทธิลเซลลูโลส (methylcellulose, MC) และไฮดรอกซีโพรพิล เมทธิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose, HPMC) โดยมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ของเซลลูโลส (polymeric backbone cellulose) ซึ่งมีพื้นฐานคือ หน่วยย่อยของกลูโคส (anhydroglucose unit) เมโทเซลเป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวชนิดหนึ่ง โดยมีสาย โพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีรสชาติและไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่เติมลงไป ลักษณะเป็นผง มีความบริสุทธิ์สูงและให้พลังงานต่ำ และใช้ในปริมาณ

เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมโทเซลสามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (binders) ช่วยให้เกิดการแขวนลอย (suspension agent) และยังช่วยให้อิมัลชันคงตัว (emulsifier colloid) ที่สำคัญคือ เมโทเซลเป็นกัม (gum) ที่มีคุณสมบัติเป็นเจลสามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (thermally gel) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้เกิดสภาพฟิล์มขึ้น (film forming) ในอาหารได้ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวในอาหารที่ต้องการอบแห้งแบบโฟม ความแตกต่างของเมโทเซลชนิดต่าง ๆ เกิดจากการผันแปรสัดส่วนของหมู่แทนที่เป็น hydroxypropyl กับ methoxyl สัดส่วนดังกล่าวนี้จะทำให้ความสามารถในการละลาย ความข้นหนืดและอุณหภูมิเริ่มเกิดเจล (thermal jel point) ของสารละลายเมโทเซลแตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถแบ่งออกตามค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution, D.S.) ซึ่งหมายถึงปริมาณโดยเฉลี่ยของหมู่แทนที่ที่ทำปฏิกิริยาที่วงแหวนตรงบริเวณหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) ของ anhydroglucose unit หากมีการแทนที่ 2 แห่ง เรียก D.S. = 2 เป็นต้น ความหนืดของสารละลายเมโทเซล เริ่มตั้งแต่ 3-100,000 เซนติพอยส์ เมโทเซลละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องไม่ดี แต่สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำร้อน (80-100 องศาเซลเซียส) ซึ่งต้องมีอุณหภูมิน้ำสูงเกินค่าเฉพาะค่าหนึ่ง หลังจากเมโทเซลกระจายตัวในน้ำและทุกอนุภาคเปียกแล้ว การละลายของเมโทเซล จะเกิดขึ้นต่อเมื่อลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลง เมื่อโมเลกุลน้ำจับกับสายโพลิเมอร์เมโทเซลอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการคายตัวของสายโพลิเมอร์เมโทเซลจากที่ซับซ้อนเมื่อเริ่มต้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสายโพลิเมอร์จะปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมา ทำให้ความหนืดลดลงไปจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึงจุดเริ่มเกิดเจล (incipient gelation temperature) สายโพลิเมอร์ที่ปราศจากน้ำนี้จะจับกันและสารละลายเริ่มเกิดเจล ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่มีค่าความแข็งแรงต่อไปอีกเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะเริ่มผันกลับและความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดกราฟลดลงมาจนบรรจบกราฟเดิมเมื่อเริ่มต้นให้ความร้อน โดยกลไกนี้สามารถทำซ้ำได้อีกหลายครั้งตามต้องการ เพราะเจลของเมโทเซลมีคุณสมบัติผันกลับได้ (reversible)

ปรากฏการณ์การเกิดเจลของเมโทเซลที่บริเวณผิวรอยต่อของวัฏภาค (interfacial) ของอาหารที่มีสภาพอิมัลชันเกิดขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของเมโทเซลมีลักษณะเป็นสายโพลิเมอร์เคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ ทำให้เกิดสภาพโฟมที่มีความคงตัวและไม่เกิดการยุบตัว ความหนืดของเมโทเซลมีผลเล็กน้อยต่ออุณหภูมิเริ่มเกิดเจล ในขณะที่หากความเข้มข้นของเมโทเซลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลต่ำลง (Dow Chemical Company, 2000)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lin Pei-Yin (2011) ได้ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวที่กำลังเจริญเติบโต 2 สายพันธุ์ คือ KFSW (ข้าวเหนียวสีแดง) และ TK16 (ข้าวจาปอนิก้า) พบว่า ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ ในข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าสูงกว่าข้าวที่แก่เต็มที่แล้วอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ข้าวอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตและข้าวที่เติบโตเต็มที่จะอุดมไปด้วยสาร tocopherol, วิตามินE และยังมีปริมาณกรดเฟอร์รูลิกที่สูง มีเส้นใยละลายน้ำ และมีสาร oryzanol โดยจะพบในข้าวอ่อนในระยะ 15 และ 18 วัน หลังดอกข้าวติดเมล็ด ซึ่งจะมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้เป็นอาหารโภชนเภสัช

Ji Chen-Ming (2013) ได้ศึกษาองค์ประกอบของสารอาหารที่พบในข้าวของเกาหลี 2 สายพันธุ์ ได้แก่ Chuchungbyeo และ Samkwangbyeo โดยเปรียบเทียบระยะเวลาเก็บเกี่ยว โดยใช้ข้าวที่ระยะการเก็บเกี่ยว 15 และ 25 วัน หลังจากออกดอกซึ่งถือเป็นระยะข้าวอ่อน และใช้ข้าวที่เก็บเกี่ยวในวันที่ 40 หลังจากออกดอก ซึ่งเป็นระยะข้าวแก่เต็มที่ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณโปรตีน (7.46-7.92g/100g) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง (230.85-533.49 mg/100g) ในข้าวอ่อน ซึ่งมีค่าสูงกว่าในข้าวแก่เต็มที่อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมพบมากในข้าวอ่อนที่กำลังเจริญทั้ง 2 สายพันธุ์ ส่วนปริมาณวิตามินซีและ provitaminA (เบตาแคโรทีน) พบเฉพาะในข้าวอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ นอกจากนี้ในข้าวอ่อนยังมีปริมาณ vitaminB2, B3 และ B6 ในปริมาณเมื่อเปรียบเทียบกับในข้าวแก่เต็มที่ และปริมาณ Tocochromanols ในข้าวอ่อนยังมีปริมาณสูงกว่าในข้าวแก่เต็มที่

Alfieri Michela (2015) ได้ศึกษาปริมาณสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) ในข้าวโอ๊ตในระยะกำลังเจริญเติบโต ได้แก่ สารฟีนอล ซึ่งเป็นสาร secondary metabolites ซึ่งมีประโยชน์ในการต้านอนุมูลอิสระ และสามารถต่อต้านโรคหัวใจและหลอดเลือด ยับยั้งมะเร็ง และชะลอความชรา ในการทดลองได้ใช้ข้าวโอ๊ต 20 สารพันธุ์ ได้วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่ละลายได้ (SPC 0.78-1.09 g GAE/kg dm) และค่าความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (TAC 13.99-18.84 mmol TE/kg d.m) โดยใช้ข้าวโอ๊ตในระยะเก็บเกี่ยว 10 วันหลังจากออกดอก ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ข้าวโอ๊ตในระยะกำลังเจริญ (immature oat grains) เพื่อเป็นแหล่งสารอาหารที่ดี

Rahman Nurhanan Abdul (2013) ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารของข้าวโพดระยะอ่อน (immature) กับระยะแก่เต็มที่ (mature) พบว่า ข้าวโพดระยะอ่อนมีความชื้น 89.31% ไขมัน 1.27% และโปรตีน 12.96% ซึ่งสูงกว่าในข้าวโพดระยะแก่เต็มที่อย่างมีนัยสำคัญ แต่ข้าวโพดระยะแก่จะมีปริมาณ

เถ้า 5.51% คาร์โบไฮเดรต 29.74% และเส้นใย 51.25 g/100g ซึ่งมากกว่าในข้าวโพดระยะอ่อน แต่ไม่มีนัยสำคัญ ในการวัดปริมาณแร่ธาตุ พบว่า ข้าวโพดระยะอ่อนจะอุดมไปด้วย Ca Z1087.08ug/g), Mg (1219.17) Cu (5.60) และ Zn (46.37) มากกว่าในข้าวโพดระยะแก่ จากการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า ในข้าวโพดระยะอ่อนจะมีค่าสูงกว่าในข้าวโพดระยะแก่ นอกจากนี้การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS พบว่า ในข้าวโพดระยะอ่อนที่ใช้การสกัดด้วยเอทานอล จะมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าในข้าวโพดระยะแก่

เปรมฤทัย แย้มบรรจง (2542) ได้ศึกษาผลของพันธุ์และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวกับข้าวที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเม่า ข้าวที่ศึกษามี 5 พันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข 15 กข 6 กข 8 และสันป่าตอง ทำการเก็บเกี่ยวแต่ละพันธุ์ 3 ระยะ คือ หลังดอกข้าวติดเมล็ด 15 20 และ 25 วัน หลังจากนั้นนำข้าวไปคั่วที่อุณหภูมิ 90-100°ซ เป็นเวลา 45 นาที ทิ้งไว้ 1 คืน นำไปสีเพื่อแยกเอาเปลือกออก แล้วนำไปคั่วที่อุณหภูมิ 53-69°ซ เป็นเวลา 3 นาที รีดให้แบนมีความหนา 0.6 มิลลิเมตร นำไปทำให้แห้งแล้วนำไปคั่วหรือทอดให้พองเพื่อศึกษาอัตราส่วนการพองตัว พบว่า วิธีทอดจะให้การพองตัวที่สูงกว่าวิธีคั่วอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดคือ 190°ซ สำหรับพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวทั้ง 5 พันธุ์สามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งข้าวแต่ละพันธุ์จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติที่แตกต่างกัน สำหรับระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวข้าว พบว่า พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 คือ 15 วัน และ กข 15 คือ 25 วัน ส่วนข้าวเหนียว คือ พันธุ์ กข 6 กข 8 และสันป่าตอง สามารถทำการเก็บเกี่ยวเพื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์ได้ทั้ง 3 ระยะ หลังจากนั้นนำข้าวเม่าทั้งหมดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ข้าวเม่าคลุก ข้าวเม่าทอดกลิ่นกุ้งและกลิ่นปลาหมึก อาหารว่างแบบแท่ง ข้าวเม่าเคลือบน้ำตาลกลิ่นวานิลาและกลิ่นช็อคโกแลต อาหารเช้ารสผลไม้รวม และข้าวเม่าหมี่ พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดผู้บริโภคให้การยอมรับ ยกเว้นข้าวเม่าคลุกผู้ชิมไม่ยอมรับเนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มมากจนเละ ส่วนทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีไขมันและคาร์โบไฮเดรตสูง สำหรับสูงอายุการเก็บของข้าวเม่าที่บรรจุไว้ในถุงโพลีโพรพิลีน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า สามารถเก็บไว้ได้นานเป็นระยะเวลา 1 ปี โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง

สุพัตรา เลิศวณิชย์วัฒนา (2546) ได้ศึกษาพันธุ์ข้าว 4 พันธุ์ (ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 หอมนิล ปทุมธานี 1 และข้าวเหนียวดำ ระยะเวลาในการเพาะที่เหมาะสมเพื่อนำไปพัฒนาเป็นเครื่องดื่มผงชงจากข้าวกล้องงอก ทำการเพาะข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ที่อุณหภูมิห้องนาน 48 ชั่วโมง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ใช้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ วิตามินบี 1 บี 2 ธาตุเหล็ก และแคลเซียม เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ พบว่าข้าวกล้องหอมมะลิงอก 105 เป็นข้าวที่ได้รับการคัดเลือกเนื่องจากมีปริมาณ

สารอาหารสูง และหาได้ง่าย นำข้าวกล้องหอมมะลิงอก 105 มาบดให้เป็นแป้งแล้วนำไปอบแห้งแบบลูกกลิ้งจึงได้ข้าวกล้องงอกหอมมะลิงอกผง จากนั้นผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ นมผง ครีมเทียม กัมอาระบิก น้ำตาล และผงโกโก้ นาไปหาสูตรที่เหมาะสมโดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture Design พบว่า สูตรที่เหมาะสมประกอบไปด้วยข้าวหอมมะลิกล้องงอกผงร้อยละ 33.6 นมผงร้อยละ 13.42 ครีมเทียมร้อยละ 9.62 กัมอะราบิกร้อยละ 9.62 น้ำตาลร้อยละ 28.85 และ ผงโกโก้ร้อยละ 3.84 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้ประกอบไปด้วย ปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.44 ไขมันร้อยละ 3.82 ใยอาหารร้อยละ 1.25 เถ้าร้อยละ 2.06 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 73.26 วิตามินบี 1 และบี 2 เท่ากับ 0.65 และ 0.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ดวงจงกล สุทธิเนียม (2550) ได้ทำการศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องหอมมะลิงอกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ การผลิตแป้งข้าวกล้องงอกนั้นได้จากข้าวกล้องหอมมะลิที่เพาะนาน 5 วัน จากนั้นนำไปหุงสุก อบให้แห้ง และบดให้ละเอียดได้เป็นแป้งข้าวกล้องหอมมะลิงอก ที่มีปริมาณโปรตีน 9.03 กรัมต่อ100 กรัม ใยอาหาร 3.52 กรัมต่อ100 กรัม และ GABA 7.62 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม แล้วนำไปผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ นมผง น้ำตาล ครีมเทียม พบว่า เครื่องดื่มที่พัฒนาได้ประกอบด้วย นมผงขาดมันเนยร้อยละ 43.6 แป้งข้าวกล้องหอมมะลิงงอกบดผงร้อยละ 20 น้ำตาลทรายร้อยละ 20 อินนูลินร้อยละ 10 และวานิลาผงร้อยละ 5.4 คุณค่าทางโภชนาการของเครื่องดื่มต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (35 กรัม) ประกอบด้วย พลังงาน 120 กิโลแคลอรี โปรตีน 5.64 กรัม ใยอาหาร 3.72 กรัม วิตามินบี6 1 มิลลิกรัม วิตามินบี12 0.86 ไมโครกรัม และแคลเซียม 203 มิลลิกรัม

กฤษณา สุดทะสาร (2554) ทำการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวกล้องงอกของข้าวพันธุ์หอมดอกมะลิ 105 โดยเตรียมแป้งจากข้าวกล้องที่นำไปเพาะให้งอก เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอก มีสูตรพื้นฐานในการทำเครื่องดื่มน้ำข้าวกล้องงอก คือ แป้งข้าวกล้องงอก: น้ำตาล:น้ำ ในอัตราส่วน 1:2:36 โดยน้ำหนัก และเติมนมถั่วเหลืองร้อยละ 10 โดยปริมาตร ปรับปรุงสูตรเพิ่มเติมโดยผสมแป้งข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำในอัตราส่วน ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คือ แป้งข้าวกล้องงอกข้าวขาวดอกมะลิ 105:แป้งข้าวกล้องงอกข้าวเหนียวดำ เท่ากับ 3:1 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกในรูปแบบเครื่องดื่มผงชง โดยนำข้าวกล้องงอกมาทำให้เป็นเกล็ดหรือผง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dry) ได้สูตรเครื่องดื่มข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปดังนี้ ข้าวกล้องงอกอบแห้ง 7 กรัม ถั่วเหลืองอบแห้ง 2 กรัม ลูกเดือยอบแห้ง 1 กรัม ครีมเทียม 6 กรัม นมผง 4 กรัม และน้ำตาล 10 กรัม ต่อน้ำร้อน 150 มิลลิลิตร ผลจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปของข้าวกล้องพันธุ์หอมดอกมะลิ 105 พบว่า มีความชื้นร้อยละ 3.70 โปรตีนร้อยละ 6.77 ไขมันร้อยละ 3.38 ใยอาหารร้อยละ 1.77 เถ้าร้อยละ 1.50 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 81.88 และมีปริมาณสาร GABA 3.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปรับปรุงสูตรเพิ่มเติมโดยผสมข้าวกล้องงอกอบแห้งของข้าวเหนียวดำ ในอัตราส่วนที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคคือ ข้าวกล้องงอกอบแห้งของข้าวหอมดอกมะลิ 105 ข้าวเหนียวดำ เท่ากับ 2.5:1 โดยน้ำหนัก ผลจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมข้าวเหนียวดำ พบว่า มีความชื้นร้อยละ 3.79 โปรตีนร้อยละ 6.12 ไขมันร้อยละ 3.23 ใยอาหารร้อยละ 2.65 เถ้าร้อยละ 1. 41 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 80.80 และมีปริมาณสาร GABA 3.23 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

วรรณิภา สมผุด (2557) ได้การศึกษาจลนพลศาสตร์ของเครื่องดื่มน้ำข้าวก่ำผงสำเร็จรูปโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท ทำการศึกษาโดยการนำข้าวก่ำที่ผ่านการบด และคัดขนาดเรียบร้อยแล้วมาต้มกับน้ำโดยใช้ข้าวก่ำบด 20 กรัม ต่อน้ำ 300 กรัม (1:15) จากนั้นปรับปริมาณให้ได้ 320 กรัม เติมมอลโตเด็กซ์ตรินลงไป 60 กรัม คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการศึกษาหาความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม (ในที่นี้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของเมโทเซล) และเวลาที่ใช้ในการตีโฟม โดยนำน้ำข้าวก่ำที่เตรียมได้มาตีผสมกับสารละลายเมโทเซล และตีโฟมตามเวลาที่ทำการศึกษา พบว่าการใช้เมโทเซลที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.03 ที่เวลาตีปั่น 50 นาที มีค่าโอเวอร์รัน ความหนาแน่น และความคงตัวที่เหมาะสมที่สุดโดยมีค่าโอเวอร์รันเท่ากับร้อยละ 638.32 ความหนาแน่นเท่ากับ 0.37 กรัมต่อมิลลิลิตร และค่าความคงตัวเท่ากับ 0.02 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างของโฟม โดยนำโฟมที่ตีได้ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบเชิงประกอบ (compound light microscope) โดยสุ่มตัวอย่างจากทุก 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที มาเกลี่ยลงบนสไลด์ จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศ์ที่กำลังขยาย 5 เท่า พบว่า การใช้เมโทเซลที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.03 ที่เวลาตีปั่น 50 นาที จะให้ฟองที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เท่ากับ 0.018 มิลลิเมตร

Karim and Wai (1999) ศึกษาการทำมะเฟืองผงโดยการอบแห้งแบบโฟม-แมท โดยเตรียมโฟมจากเนื้อมะเฟืองสดและใช้เมโทเซล 65 เอชจี (methocel 65 HG) เป็นสารก่อโฟมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.4 โดยน้ำหนัก พบว่า ที่ความเข้มข้นของเมโทเซล 65 เอชจี ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก ค่า overrun และความคงตัวของโฟมมีค่าสูงสุด ซึ่งค่าของทั้งสองตัวนี้จะผันแปรตามความเข้มข้นของเมโทเซล 65 เอชจี เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งโฟมของมะเฟืองจาก 70 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศา

เซลเซียส จะลดเวลาในการทำแห้งลงถึง 30 นาที แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลอ่อนและทำให้กลิ่นของมะเฟืองลดลง

Beristain *et al.* (1993) ได้ศึกษาการผลิตน้ำดอกกระเจี๊ยบแดง โดยวิธีทำแห้งโฟม-แมท และมีการเติม emulsifiers (ร้อยละ 0.1-0.4 โดยน้ำหนัก) และมอลโตรเดกซ์ตริน (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) ลงไปในน้ำดอกกระเจี๊ยบแดงเข้มข้น 15°Brix เพื่อก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งในเตาอบแห้งลมร้อน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบ คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที และความหนาของโฟมเท่ากับ 4 มิลลิเมตร โดยมีความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เป็นร้อยละ 3 (น้ำหนักเปียก) โดยผงที่ได้จากการอบแห้งโดยวิธีโฟม- แมท มีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย