

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์



บัวบก

บัวบกเป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Centella asiatica* (Linn.) Urban จัดอยู่ในวงศ์ Umbelliferae ชื่อสามัญคือ Asiatic Pennywort ส่วนชื่ออื่นที่พบว่ามี การเรียกตามท้องถิ่นในประเทศไทย ได้แก่ ผักหนอก (เหนือ), ผักแว่น (ใต้), จำปาเครือ, กระบัง นอก (ลำปาง), ปะหนะ, เอชาเดีอะ (กระเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) ส่วนชาวจีนเรียกว่า เตียก่าเช่า หรือ ยักคัก (วิทย์ เทียงนุรณธรรม, 2534)

บัวบกถือเป็นไม้เลื้อยล้มลุกจัดอยู่ในจำพวกผัก ใบมีลักษณะเป็นใบเดี่ยวรูปร่างคล้าย ไต ขอบใบเป็นหยักเล็กน้อย มักออกเป็นกระจุกที่ข้อ ข้อละ 2-10 ใบ ดอกจะออกเป็นช่อคล้ายร่มมี ประมาณ 2-5 ช่อ ช่อหนึ่งมีประมาณ 3-4 ดอก สีม่วงอมแดง ส่วนก้านดอกจะมีความยาวประมาณ 0.5-5 เซนติเมตร มีริ้วประดับประมาณ 2-3 ใบ ผลมีลักษณะแบนเส้นผ่าศูนย์กลางยาวประมาณ 3-4 มิลลิเมตร การขยายพันธุ์ทำได้โดยใช้เมล็ดหรือลำต้นที่มีดินอ่อนและรากงอกแล้วปลูกในที่ชื้นแฉะ โดยให้ได้รับแสงแดดมากพอควร (วิทย์ เทียงนุรณธรรม, 2534)

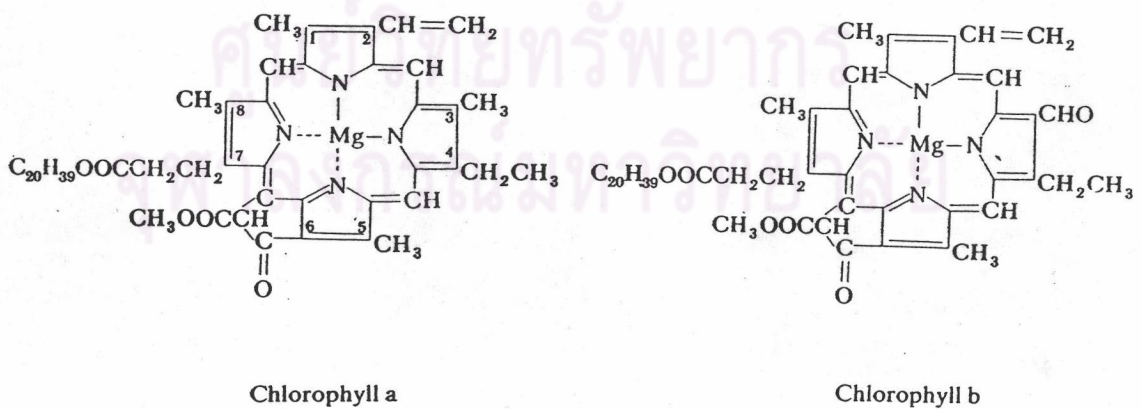
สำหรับข้อมูลทางเภสัชวิทยาและคลินิคของบัวบก พบว่า มีฤทธิ์ในการลดความดัน เลือด ลดไข้ ลดการอักเสบ ยับยั้งเซลล์มะเร็ง สมานแผล แก้เชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย มีฤทธิ์ต่อ ระบบสืบพันธุ์ ระบบประสาทและกล้ามเนื้อเรียบ นอกจากนี้ยังพบว่ามีฤทธิ์ในการรักษาแผลใน กระเพาะอาหารและกระตุ้นให้ร่างกายสามารถสร้างภูมิคุ้มกัน (วิทย์ เทียงนุรณธรรม, 2534)

น้ำบัวบก

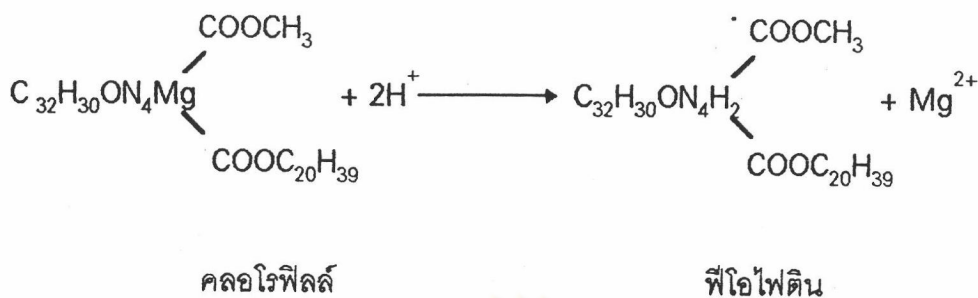
น้ำบัวบกเป็นน้ำผักชนิดหนึ่งที่ได้จากการสกัด โม่บด หรือการบีบคั้นออกจากบัวบก ซึ่งจัดอยู่ในพวกผักที่ไม่มีความเป็นกรด (non-acid vegetable) น้ำผักประเภทนี้สามารถเกิดการ เปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการทั้งในด้านรสชาติและลักษณะปรากฏ Tressler (1961) พบว่า สารที่ให้ กลิ่นรส (flavour) และเนื้อผัก (body) ส่วนใหญ่ที่พบในส่วนของสารแขวนลอยมักตกตะกอนได้ง่าย

ที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส (160 องศาฟาเรนไฮต์) หรือสูงกว่านั้น ทำให้น้ำผักที่ได้มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดและมีกลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป แต่น้ำผักประเภทนี้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อลดกิจกรรมของเอนไซม์และฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จำพวก spore-forming ที่อาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสียแก่น้ำผักได้ (วิชัย ฤทธิยานาสนันต์, 2521) นอกจากนี้การใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตสูงเป็นสาเหตุให้น้ำผักเกิดการเปลี่ยนแปลงสีซึ่งถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้น้ำผักมีลักษณะเฉพาะและเป็นที่ยังคงดูดีใจของผู้บริโภคได้ สีที่พบในน้ำผักส่วนใหญ่เกิดจากรงควัตถุจำพวกคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งเป็น tetrapyrrole pigment ที่ประกอบด้วย porphyrin ring และมีแมกนีเซียม อยู่กลางวงแหวน ทำให้น้ำผักมีลักษณะปรากฏเป็นสีเขียวสด (Tressler, 1961) คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชสีเขียวมี 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี โดยอัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ ต่อ คลอโรฟิลล์ บี ในพืชสีเขียวส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 3 ต่อ 1 ทั้งนี้คลอโรฟิลล์ บี จะแตกต่างจากคลอโรฟิลล์ เอ ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 โดยคลอโรฟิลล์ บี จะมีหมู่อัลดีไฮด์ (-CHO) แทนหมู่มเมธิล (-CH₃) ดังรูปที่ 1 (Schwartz and Lorenzo, 1990)

เนื่องจากคลอโรฟิลล์เป็นสารที่ไวต่อแสง ความร้อน ออกซิเจน และกรด (Francis and Clydesdale, 1975) การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์จึงเกิดได้ง่าย สำหรับน้ำผักส่วนใหญ่มักเกิดปฏิกิริยาฟีโอฟิตินไนเซชัน (pheophytinization) ทำให้สีของน้ำผักเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวของคลอโรฟิลล์ไปเป็นสีเขียวมะกอกของฟีโอฟิติน (pheophytin) ดังรูปที่ 2 (John, 1980)



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ เอ และ บี



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอฟิติน

การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของคลอโรฟิลล์

การเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวของคลอโรฟิลล์ไปเป็นสีเขียวมะกอกของฟีโอฟิติน ตามปฏิกิริยาฟีโอฟิตินในเขชันในน้ำผักเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีนี้อาจทำให้เกิดน้อยลงหรือทำให้ไม่เกิดเลยโดย

1. การเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เพื่อลดความเป็นกรดลงทำให้แมกนีเซียมไอออนในคลอโรฟิลล์ไม่หลุดออกจาก porphyrin ring โดยต่างที่นิยมใช้ได้แก่ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ และ MgCO_3 (Meyer, 1978) อย่างไรก็ตาม Gupte และ Francis (1964) พบว่า การใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวปรับค่า pH ให้สูงขึ้นใน spinach puree ช่วยให้คลอโรฟิลล์คงอยู่ในช่วงแรกและปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเรื่อยๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ส่วน Hagiwara (1992) พบว่าการใช้ NaOH และ Na_2CO_3 เพื่อปรับค่า pH ในผลิตภัณฑ์น้ำผักผง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเขียวแต่มีกลิ่นแปลกปลอมของสบู่ที่เกิดจากปฏิกิริยา saponification ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2. การเติม metallic ions เช่น Zn^{2+} , Cu^{2+} หรือ Fe^{2+} ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับฟีโอฟิติน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (pheophytin metal ion complex) มีสีเขียวคล้ายคลอโรฟิลล์หลังจากเติมเกลือของโลหะเหล่านี้แล้วระยะเวลาหนึ่ง เกลือของ Zn และ Cu ที่นิยมใช้ คือ ZnCl_2 หรือ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Meyer, 1978) Jones และคณะ (1977) พบว่าระดับความเข้มข้นของ Zn^{2+} และ Cu^{2+} มีค่าเท่ากับ 10 และ 1 $\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ ของรงควัตถุที่พบใน heated spinach slurry หรือเท่ากับ 120 และ 12 ppm ตามลำดับ จะช่วยให้ spinach slurry มีสีเขียวสดหลังจากเติม ZnCl_2 และ CuSO_4 แล้วผ่านการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสนาน 60 และ 20 นาที

ตามลำดับ

3. การใช้กระบวนการ high temperature short time (HTST) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงแต่ใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้นมาก ทำให้คลอโรฟิลล์โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ เอ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นฟิโอฟิตินได้น้อย สีเขียวของผลิตภัณฑ์ส่วนมากจึงยังคงเหลืออยู่ (Gupte and Francis, 1964) Luh และคณะ (1964) พบว่ากระบวนการ HTST มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และสีของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน Clydesdale และ Francis (1968) พบว่าการใช้กระบวนการ HTST ในการฆ่าเชื้อทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เหลือใน spinach puree มีค่ามากกว่าการใช้กระบวนการผลิตที่ใช้เวลาในการฆ่าเชือนาน ทำให้สีของน้ำผักเขียวสด

การทำแห้งแบบพ่นกระจาย

การทำแห้งแบบพ่นกระจาย (spray drying) เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงแต่ใช้ระยะเวลาสั้นในการแปลงของเหลวซึ่งอาจเป็นสารละลายหรือของเหลวข้นให้เป็นผงแห้งในขั้นตอนเดียว โดยอาศัยหลักการพื้นฐาน คือ อาหารเหลวจะถูกฉีดให้เป็นละอองและให้สัมผัสกับลมร้อนที่ไหลเข้ามา ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วเนื่องจากละอองฝอยมีพื้นที่ผิวมากหลังจากนั้นจะได้ผงแห้งตกลงมาและผงนี้จะถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อ (Karel, Fennema and Lund, 1975)

ในขั้นตอนการทำให้อาหารเหลวกลายเป็นละออง อาจใช้หัวฉีดแบบแรงดันจากเครื่องสูบลมอาหารเหลว (feed pump) หรือจากเครื่องอัดอากาศ (air compressor) โดยผ่านเครื่องทำละออง (atomizer) ซึ่งมีลักษณะต่างๆ กัน คือ เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดัน (pressure nozzle) เครื่องทำละอองแบบหัวฉีด 2 หัวพร้อมกัน (two-fluid nozzles) และเครื่องทำละอองแบบจานหมุน (rotary disc atomizer) (Masters, 1979) เครื่องทำละอองเหล่านี้มีข้อได้เปรียบเสียเปรียบ และให้ลักษณะละอองอาหารเหลวแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1 (เรียวโซ โทเอ, 2529) ในการเลือกชนิดของเครื่องทำละอองจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ และลักษณะการกระจายของขนาดผลิตภัณฑ์ผง (particle size distribution) ที่ต้องการ Tamsma, Kontson และ Pallansch (1967) พบว่า การเพิ่มความดันในเครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดัน หรือการเพิ่มรอบ



ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายที่ใช้เครื่องทำละอองแบบจานหมุน และแบบหัวฉีดแรงดัน

ปัจจัยที่พิจารณา		เครื่องทำละอองแบบ	
		หัวฉีดแรงดัน	หัวจานหมุน
เงื่อนไชของอาหารเหลว	ของเหลวแขวนลอย แฉ่งเปียก ของที่ใหม่เกรียมติดง่าย การแปรเปลี่ยนของความหนืด การแปรเปลี่ยนของปริมาณที่อบแห้ง	พอใช้ได้ ใช้ได้ ยาก ค่อนข้างใช้ได้	ใช้ได้ พอใช้ได้ ค่อนข้างยาก ใช้ได้
การป้อนอาหารเหลว	ปั้มความดันสูง การบำรุงรักษา	มี ยาก	ไม่มี ง่าย
เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย	ราคา กำลังที่ใช้เดินเครื่อง การบำรุงรักษา	ถูก น้อยสุด ยาก	แพง ปานกลาง ง่าย
หอบแห้ง	ทิศทางการไหลของลมร้อน เส้นผ่าศูนย์กลางหอบ ความยาวหอบ	ขนาน, สวนทาง เล็ก ยาว	ขนาน ปานกลาง สั้น
ผลิตภัณฑ์	ขนาดอนุภาค ความหนาแน่นปรากฏ ความชื้นในผลิตภัณฑ์ ความสม่ำเสมอของอนุภาค	หยาบ หนัก มาก ดี	ละเอียด เบา น้อย ดี

ในการหมวนของเครื่องทำละอองแบบจานหมุน หรือการเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อนและอาหารเหลวในเครื่องทำละอองแบบหัวฉีดสองหัวพร้อมกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีขนาดเล็กลงแต่มีความหนาแน่นรวม (bulk density) สูงขึ้น ส่วนขั้นตอนในการสัมผัสกันระหว่างละอองอาหารเหลวกับลมร้อนสามารถทำได้ 3 วิธี คือ การให้ละอองอาหารเหลวไหลไปในทิศทางเดียวกับลมร้อน (cocurrent flow) ซึ่งเหมาะกับอาหารที่ไวต่อความร้อนมาก การให้ละอองอาหารเหลวไหลสวนทางกับลมร้อน (counter-current flow) เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมาก เพื่อให้ได้ลักษณะหรือคุณภาพบางอย่างที่ต้องการ เช่น ความโปร่ง (porosity) ของผลิตภัณฑ์ผง การให้ละอองอาหารเหลวไหลไปทางเดียวและสวนทางพร้อมๆ กันกับลมร้อน (mixed flow) ในช่วงการระเหยพบว่าการระเหยของการทำแห้งแบบพ่นกระจายแบ่งเป็นสองช่วง คือ ช่วงการระเหยที่ให้อัตราการระเหยคงที่ ซึ่งเกิดเมื่อความชื้นภายในละอองอาหารเหลวมีอยู่มากพอที่จะกระจายไปที่ผิวของละอองอาหารเหลวอย่างคงที่จนเกิดภาวะอิ่มตัว และช่วงอัตราการระเหยไม่คงที่ ซึ่งเกิดเมื่อปริมาณความชื้นลดต่ำกว่าภาวะอิ่มตัวและเข้าสู่จุดวิกฤต (critical point) ผิวของละอองอาหารเหลวจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายความชื้นผ่านผิวนอกที่แห้ง ซึ่งความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา อัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง (Masters, 1979) Tamsma และคณะ (1967) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยในการทำแห้งแบบพ่นกระจาย คือ ความเข้มข้นของอาหารเหลว โดยการเพิ่มความเข้มข้นของอาหารเหลวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีอนุภาคใหญ่และมีค่าความหนาแน่นรวมสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าโดยที่อัตราการไหลของอาหารเหลวเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายคงที่จะทำให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ผงลดลงและมีความโปร่งมากขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยน้ำเกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้ Bhandari และคณะ (1992) ได้ศึกษาถึงเทคนิคการกักเก็บกลิ่นรส (flavour encapsulation) โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าอย่างรวดเร็วในการทำแห้งแบบพ่นกระจายให้แก่ละอองอาหารเหลวจะทำให้เกิดเปลือกแข็งเป็นชั้นๆ บนผิวของละอองอาหารเหลวเกิดเป็นอนุภาคผลิตภัณฑ์ผง สารระเหยที่ให้กลิ่นรสในอาหารเหลวไม่สามารถผ่านออกมาได้ ทำให้มีปริมาณสารระเหยที่ให้กลิ่นรสเหลืออยู่ถึงร้อยละ 84 ส่วนขั้นตอนสุดท้ายในการทำแห้งแบบพ่นกระจายคือ การแยกอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงออกจากภาชนะทำแห้งเพื่อบรรจุ Masters (1979) อธิบายว่าอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายมีน้ำหนักเบาถูกดูดโดยแรงจากพัดลมและส่งออกทางท่อลมออกโดยอาศัยระบบไซโคลน (cyclone) โดยอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงตกกระทบกับผนังท่อไซโคลน และตกลงในภาชนะ

ที่รองรับ สำหรับระบบในการแยกเอาอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงที่ลอยตัวอยู่ในภาชนะทำแห้งออกจากลมร้อนมีสองระบบ คือ การแยกภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย เป็นการแยกผลิตภัณฑ์ผงที่มีขนาดใหญ่ออกจากลมร้อน ส่วนผลิตภัณฑ์ผงที่มีขนาดเล็กจะไหลออกจากเครื่องพร้อมกับอากาศและถูกแยกออกจากผลิตภัณฑ์ผงที่มีขนาดใหญ่ด้วยเครื่องเก็บอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงแบบลมหมุน (cyclone collection) เครื่องกรองแบบถุง (bag filter) หรือเครื่องจับอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงแบบเปียก (wet scrubber) ส่วนระบบที่สอง คือการแยกภายนอกเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงที่ได้และลมร้อนจะไหลออกจากเครื่องทำแห้งพร้อมๆ กัน โดยการแยกอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงออกจากลมร้อนจะใช้เครื่องเก็บอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงเช่นเดียวกับระบบที่หนึ่ง หรืออาจใช้เครื่องเก็บอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงแบบอาศัยไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic precipitation) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายมักเกิดปัญหาในเรื่องการสูญเสียกลิ่นรส และการจับตัวเป็นก้อนทั้งในระหว่างและหลังการทำแห้ง การแก้ปัญหาเหล่านี้ทำได้โดยการเติมสารช่วยในการทำแห้งและกักเก็บกลิ่นรส (Schultz and Talburt, 1961)

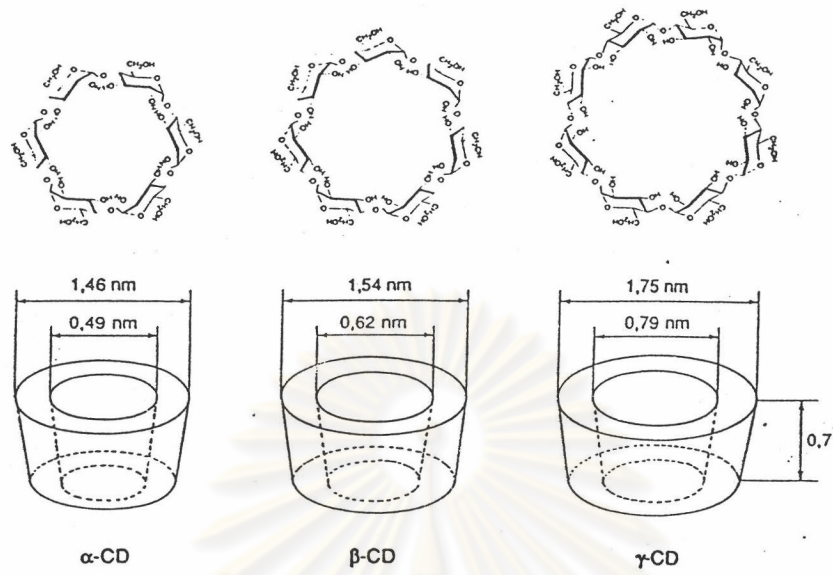
สารช่วยในการทำแห้งและกักเก็บกลิ่นรส

สารช่วยในการทำแห้งและกักเก็บกลิ่นรสเป็นสารที่ช่วยให้เกิดการทำแห้งอย่างสมบูรณ์ ช่วยรักษาสารให้กลิ่นรสในกระบวนการทำแห้งและช่วยห่อหุ้มส่วนประกอบของอาหาร (Merritt, 1981) ช่วยลดการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งและช่วยลดการจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ (Stranshun and Talburt, 1954)

ตัวอย่างสารช่วยในการทำแห้ง ได้แก่ เดกซ์ทรีน ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์แป้ง (Samant and Pai, 1991) Narkpravit (1981) ได้ทดลองเติมเดกซ์ทรีนร้อยละ 5-15 ลงในน้ำกะทิที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30-40 และนำไปทำแห้งแบบพ่นกระจายจนได้กะทิผงที่ร่วน เมื่อนำไปละลายน้ำได้น้ำกะทิที่มีความคงตัว Masanori (1980) ได้เตรียมเครื่องตีผงจากน้ำผลไม้ธรรมชาติโดยเติมเดกซ์ทรีนร้อยละ 48 ลงในน้ำผลไม้เข้มข้น และนำไปทำเป็นผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่าเครื่องตีมีการละลายดี นอกจากนี้ Bangs และ Reineccius (1982) พบว่าเดกซ์ทรีนให้ลักษณะเนื้อ (body) แก่อาหารเหลวเพื่อเป็นการปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดให้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 20-50 ซึ่งเหมาะกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายและช่วยในการกักเก็บกลิ่นรสของสารประกอบที่ให้กลิ่นรสในอาหารเหลว ส่วน Bhandari และคณะ (1992) ได้ทดลองใช้

เดกซ์ทรีนกับกัมอะราบิกในอัตราส่วน 3 ต่อ 2 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่มีสารให้กลิ่นรส คือ citral และ linalyl acetate ในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก แล้วนำไปทำแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณสารให้กลิ่นรสถึงร้อยละ 84

ปัจจุบันมีการปรับปรุงเดกซ์ทรีนเพื่อให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ผู้บริโภคต้องการ ไฮโคลเดกซ์ทรีน (cyclodextrin) เป็นเดกซ์ทรีนที่ได้จากการใช้เอนไซม์ cyclodextrin glucanotransferase ในการเปลี่ยนแปลงสายตรงให้มีลักษณะเป็นวงกลม ดังรูปที่ 3 ซึ่งถือเป็น cyclic oligosaccharide ที่เกิดจากการต่อกันของกลูโคสเป็นวง (Bender and Komiyama, 1978) ทั้งนี้สามารถแบ่งชนิดของไฮโคลเดกซ์ทรีนออกเป็น 3 ชนิดด้วยกัน คือ แอลฟา-ไฮโคลเดกซ์ทรีน (α -cyclodextrin) บีต้า-ไฮโคลเดกซ์ทรีน (β -cyclodextrin) และแกมมา-ไฮโคลเดกซ์ทรีน (γ -cyclodextrin) ซึ่งเกิดจากกลูโคสจำนวน 6, 7 และ 8 หน่วยมาจับกันเป็นวงตามลำดับ (Samant and Pai, 1991) สมบัติของไฮโคลเดกซ์ทรีนทั้ง 3 ชนิดจะมีความแตกต่างกันตามตารางที่ 2 (Bender and Komiyama, 1978) โดยด้านวงในของไฮโคลเดกซ์ทรีนจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนวงนอกของไฮโคลเดกซ์ทรีนจะเป็น hydrophilic (Samant and Pai, 1991) จากสมบัตินี้ทำให้ไฮโคลเดกซ์ทรีนเป็นสารที่นำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้ ใช้เป็นสารในการก่อให้เกิดความคงตัวของอาหารและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีความไวต่อแสง ความร้อน และออกซิเจน เช่น วิตามินต่างๆ รอยัลเจลลี่ ยาจำพวกเอสโตรเจนและอาหารเสริมเด็กอ่อน ใช้ในการกักเก็บกลิ่นรสของอาหารและผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ชาผง ลูกอม และเครื่องเทศต่างๆ ใช้ลดหรือกลบกลิ่นรสชาติขมและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์ เช่น ยาจีน ข้าวที่ต้องเก็บไว้เป็นเวลานาน กลิ่นคาวปลา ใช้เป็นอิมัลชันไฟเออร์ (emulsifier) ในผลิตภัณฑ์ที่การละลายในน้ำไม่ดี ใช้เป็นตัวเพิ่มเนื้อของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เลซิทิน น้ำมันไม้ (Samant and Pai, 1991) นอกจากนี้ Hicks, Sapers และ Seib (1990) พบว่าการใช้ไฮโคลเดกซ์ทรีนในน้ำผักและน้ำผลไม้จะช่วยยืดอายุการเก็บ เนื่องจากไฮโคลเดกซ์ทรีนจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction)



รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของไซโคลเดกซ์ทรินแต่ละประเภท

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและทางโครงสร้างของไซโคลเดกซ์ทรินแต่ละชนิด

สมบัติทางกายภาพ	ชนิดของไซโคลเดกซ์ทริน		
	α	β	γ
จำนวนหน่วยกลูโคส	6	7	8
น้ำหนักโมเลกุล	972	1135	1297
การละลายในน้ำที่ 25 องศาเซลเซียส (g/100ml)	14.5	1.85	23.2
เส้นผ่าศูนย์กลาง (nm)	0.47-0.53	0.60-0.65	0.75-0.83
ปริมาตรความจุ (nm ³)	0.174	0.262	0.427

การเพิ่มความสามารถในการละลายของเครื่องตีผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันที

ผลิตภัณฑ์เครื่องตีผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายมักมีสมบัติในการจม (sinkability) การกระจายตัว (dispersibility) การเปียก (wettability) และการละลาย (solubility) ไม่ดี (Hall and Hedrick, 1971) ดังนั้นการผลิตเครื่องตีผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันทีจึงจำเป็นต้องทำให้เกิดการรวมกลุ่ม (agglomeration) ของอนุภาคผลิตภัณฑ์ผง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติต่างๆ ข้างต้นดีขึ้น รวมทั้งลดการฟุ้งกระจายของผลิตภัณฑ์ผงด้วย (Bergquist, Lorimor and Wildy, 1992)

วิธีการทำให้เกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงมีหลายวิธี เช่น tumbling, rolling, mixer agglomeration เป็นต้น (Capes, 1987) อย่างไรก็ตามขั้นตอนพื้นฐานของการทำให้เกิดการรวมกลุ่มของผลิตภัณฑ์ผงมี 4 ขั้นตอน คือ การทำให้ผิวของอนุภาคผงแห้งเปียก โดยใช้ไอน้ำ ละอองน้ำ หรือทั้งสองอย่าง การทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงจับหรือรวมกลุ่มกันเป็นก้อน การทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงที่รวมกลุ่มกันเป็นก้อนแล้วแห้งอีกครั้งด้วยลมร้อนและการทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นลงพร้อมที่จะบรรจุต่อไป (Hall and Hedrick, 1971)

Rapp (1988) พบว่าในการผลิตเครื่องตีผงสำเร็จรูป ผงโกโก้ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายจะถูกนำมาทำให้ผิวของอนุภาคผงโกโก้เปียก โดยปริมาณความชื้นที่วัดได้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 1-20 ซึ่งจะทำให้อนุภาคผงโกโก้รวมกลุ่มกันเป็นก้อนดี ส่วน Peeble และ Clary (1955) ผลิตนมผงขาดมันเนยชนิดละลายทันที โดยนำนมผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายมาทำให้ผิวของอนุภาคนมผงเปียกด้วยไอน้ำจนได้ปริมาณความชื้นร้อยละ 10-15 เพื่อให้อนุภาคของนมผงเกิดการรวมกลุ่มกันเป็นก้อน จากนั้นนำมาทำแห้งอีกครั้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 110-121 องศาเซลเซียส (230-250 องศาฟาเรนไฮต์) ได้ผลิตภัณฑ์นมผงขาดมันเนยชนิดละลายทันทีที่มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 4.0 แล้วทำให้เย็นก่อนบรรจุ ส่วนการผลิตน้ำกระเจี๊ยบผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันทีจากผงกระเจี๊ยบแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจาย ทำได้โดยนำผงกระเจี๊ยบแห้งมาผสมกับน้ำตาลซูโครสบดละเอียด เพื่อให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกันและนำมาผ่านตะแกรงร่อนจนได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมาทำให้ผิวของอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงเปียกด้วยน้ำสะอาดในอัตราส่วนผลิตภัณฑ์ผง 100 กรัมต่อน้ำ 4.0 มิลลิลิตร ทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงรวมกลุ่มกันจนสามารถปั้นเป็นก้อนได้ จากนั้นนำมาเกลี่ยบนตะแกรงร่อนเบอร์ 8 และอบไล่ความชื้นที่ 60 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์

น้ำกระเจี๊ยบผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันทีที่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1-3 (นันทนา แก้วอุบล, สัมภาษณ์, 25 ตุลาคม 2537) อย่างไรก็ตามการทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นก้อนสำหรับผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันที พบว่าสาเหตุที่ให้เกิดกลิ่นรสต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาจสูญหายไปได้ในระหว่างกระบวนการผลิต ถ้าการควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ภาวะความชื้นในการทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงเปียก การทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงเกิดการจับตัวเป็นก้อน และกระแสลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งอีกครั้งไม่ดี (Hall and Hedrick, 1971) นอกจากนี้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาจสูญหายไปเนื่องจากการบรรจุและการเก็บรักษาไม่ดีเช่นกัน

การเก็บรักษาและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันที

ผลิตภัณฑ์อาหารสามารถเก็บได้เป็นระยะเวลาหนึ่งโดยไม่เสื่อมคุณภาพถือเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ระยะเวลาในการเก็บนี้ทำให้ทราบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุ ภาวะการเก็บรักษา ซึ่งภาวะการเก็บรักษาที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ออกซิเจน และแสง การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องเข้าใจถึงหลักการในการแปรรูปผลิตภัณฑ์นั้นๆ และเข้าใจถึงลักษณะการเสื่อมเสียที่อาจเกิดได้กับผลิตภัณฑ์นั้นๆ (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2533)

อายุการเก็บ หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์นั้นถูกผลิตขึ้นมาจนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ (อนุวัตร แจ่มชัด, 2533) การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ 4 วิธี ได้แก่ การทดลองเก็บจริง การคำนวณอย่างประมาณโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ วิธีการสร้างสถานการณ์จำลองเลียนแบบสถานการณ์จริง และวิธีการเร่งอายุการเก็บ (Davis, 1970 ; Quast and Karel, 1973) ทั้งนี้วิธีการเร่งอายุการเก็บเป็นวิธีที่นิยมใช้มากเนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการศึกษา (Labuza, 1982)

วิธีการเร่งอายุการเก็บนี้คล้ายกับการเก็บจริงแต่เร่งเวลาการเสียของผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ วิธีการที่ใช้ได้แก่การใช้ Q_{10} ทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังสมการ

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_1^{\circ}\text{C}}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_1+10^{\circ}\text{C}} \quad \text{-----(1)}$$

$$Q_{10}^{(\Delta/10)} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_2^{\circ}\text{C}}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_1^{\circ}\text{C}} \quad \text{-----(2)}$$

เมื่อ Δ = ผลต่างของ T_1 และ T_2

T_1 = อุณหภูมิที่ทราบอายุการเก็บ

T_2 = อุณหภูมิที่ต้องการทราบอายุการเก็บ

Labuza และ Schmidl (1985) พบว่าการศึกษายอายุการเก็บโดยการเร่งอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง อุณหภูมิที่ควรใช้เป็นตัวควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิเร่งที่ใช้ได้แก่ 25, 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียส Paine และ Paine (1992) พบว่า ถ้าเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์จะมีอายุการเก็บนานถึง 2 ปี แต่อาจลดลงเหลือ 3-6 เดือนถ้าเก็บไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส อนุวัตร แจ่มชัด (2533) ศึกษาอายุการเก็บของอาหารเสริมสำหรับเด็กวัยก่อนเรียนที่มีความชื้นในช่วงร้อยละ 1-5 ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยใช้อุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียสเป็นตัวควบคุม พบว่า อายุการเก็บของอาหารเสริมสำหรับเด็กวัยก่อนเรียนที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียสเท่ากับ 5 และ 1 เดือนตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณค่า Q_{10} ตามสมการที่ 1 จะได้ค่า Q_{10} เท่ากับ 5 และเมื่อนำมาทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของห้างสรรพสินค้าซึ่งเท่ากับ 20 องศาเซลเซียสตามสมการที่ 2 พบว่าอายุการเก็บของอาหารเสริมสำหรับเด็กวัยก่อนเรียนเท่ากับ 55.9 เดือน ส่วนฉันทรา พูนศิริ (2537) ศึกษาอายุการเก็บของยาอมสมุนไพรไทยที่มีกระเจี๊ยบผงเป็นส่วนประกอบโดยการเร่งอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า อายุการเก็บของยาอมสมุนไพรที่ได้มีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 2 เดือนโดยที่คุณภาพทางกายภาพและทางจุลินทรีย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บไว้ที่ 35 องศาเซลเซียส แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันทีถือเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกอาหารแห้ง โดยมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1-3 ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นรูพรุนและมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากทำให้ดูดความชื้นได้ง่าย การเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงอาจเกิดขึ้นได้ถ้าการเก็บรักษาทำในภาวะที่ไม่เหมาะสม (Paine and Paine, 1992)

การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำพอที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้ แต่การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวเคมี และทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บ การเปลี่ยนแปลงที่พบระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งหรืออาหารผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์น้อย เนื่องจากปริมาณความชื้นในระดับต่ำทำให้อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ลดลง (Gravini, 1985 quoted in Minnie, 1987)

2. การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยา non-enzymatic browning

ปฏิกิริยา non-enzymatic browning เกิดได้จากปฏิกิริยาเคมี 3 แบบ (Mc Weeny, 1980) คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือโพลีฟีนอล (polyphenol) ไปเป็นสารประกอบพวกโพลีคาร์บอนิล (polycarbonyl compounds) ปฏิกิริยา caramelization ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพวกโพลีไฮดรอกซีคาร์บอนิล (polyhydroxycarbonyl compounds) ที่อุณหภูมิสูง และปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับหมู่คาร์บอนิลสามารถเกิดได้ง่ายเนื่องจากเป็นปฏิกิริยาจำพวก autocatalytic และใช้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย (Nickerson, 1974 quoted in Minnie, 1987) Mc Weeny (1980) พบว่าการเพิ่มเวลา ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3-4 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านสี กลิ่นรส และปริมาณสารอาหาร (Tressler and Joslyn, 1961)

3. การเกิดกลิ่นอับ (staleness) และกลิ่นหืน (rancidity)

การเกิดกลิ่นอับของอาหารแห้ง เกิดได้จากการรวมกลุ่มของสารระเหยที่ให้กลิ่นรสที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบอื่นที่ให้กลิ่นรสแตกต่างออกไปจากกลิ่นรสเดิม เรียกว่า off-flavour โดยส่วนมากเกิดจากปฏิกิริยาของไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ (Hall and Hedrick 1966)



Parry (1974) พบว่าถ้าเก็บนมผงไว้ที่มีอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสูงกลิ่นอับของนมผงจะเกิดขึ้นได้ง่าย ส่วน Feinberg (1964) อ้างใน Luh และ Woodsroof (1975) พบว่าปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเพียงร้อยละ 0.3 สามารถทำให้เกิดกลิ่นอับในมันฝรั่งแห้งชนิดเกล็ดและเม็ดได้ สำหรับกลิ่นหืนเกิดจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวได้ออนุมูลอิสระ (free-radicle) และเปอร์ออกไซด์เกิดสารจำพวกอัลดีไฮด์ คีโตนและกรดไขมัน (Warmber and Wolf, 1976 quoted in Minnie, 1987) Karel (1974) พบว่าแสง ความชื้น และอุณหภูมิจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหาร การป้องกันการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำได้โดยการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ไอน้ำ แสง และออกซิเจนได้ (Minnie, 1987)

ภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง

ภาชนะบรรจุมีความสำคัญในแง่ใช้ป้องกันและรักษาคุณภาพของสินค้าหรืออาหาร ให้ความสะดวกในการขนส่ง เก็บรักษา และจำหน่าย ช่วยสื่อความหมายและช่วยในการส่งเสริมการขาย (อมรรัตน์ สวัสดิ์ทิต, 2525 อ้างใน สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2535) ภาชนะบรรจุของเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปซึ่งถือเป็นอาหารแห้งที่มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 3 (Paine and Paine, 1992) ควรจะมีสมบัติที่สำคัญ คือ ป้องกันความชื้นหรือไอน้ำจากภาวะอากาศรอบๆ ไม่ให้ผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับอาหารหรือทำให้อาหารขึ้น ป้องกันอากาศและออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของกรดไขมันและสามารถทนต่อการกด บีบ เสียดสีของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มักมีลักษณะแข็ง เพราะและมีส่วนแหลมคมที่สามารถทิ่มแทงภาชนะบรรจุได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2531)

ภาชนะบรรจุของเครื่องดื่มผง มักนิยมใช้ flexible pouch เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ทำให้ง่ายต่อการบรรจุและการขนส่ง (Kahn, 1982) flexible pouch ที่นิยมใช้เป็นพลาสติกที่ผ่านการลามิเนตเพื่อให้ได้ภาชนะบรรจุที่มีสมบัติในการป้องกันความชื้น แสง และออกซิเจนได้ Minnie (1987) พบว่าพลาสติกที่ลามิเนตจะสามารถรักษากลิ่นรสของโยเกิร์ตผงได้ดีกว่าการเก็บไว้ในถุงที่ไม่ผ่านการลามิเนตในภาวะการเก็บแบบการเร่งอายุการเก็บ พลาสติกที่นิยมนำมาลามิเนต ได้แก่ polyethylene หรือ polypropylene โดยนำมารีดเป็นแผ่นบางลามิเนตกับ aluminum foil

(Paine and Paine, 1983) หรือลามิเนตกับพลาสติกที่ผ่านการ metallization เช่น metallized polyester (Griffin, Sacharow and Brody, 1985) เพื่อเพิ่มสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อากาศ และแสง ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ Jayaraman และคณะ (1991) พบว่าผลิตภัณฑ์แกงผงสำเร็จรูปผสมผัก โยเกิร์ตและมะพร้าวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นกระจายบรรจุในถุง polypropylene ที่หุ้มด้วย metallized polyester มีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส เท่ากับ 12 และ 4 เดือนตามลำดับ ซึ่งให้อายุการเก็บมากกว่าการเก็บในถุง polypropylene อย่างเดียว อย่างไรก็ตามการลามิเนตระหว่าง aluminum foil หรือ metallized polyester กับ พลาสติกพวก polyethylene หรือ polypropylene มักมีปัญหาในเรื่องการร่อนออกของส่วนลามิเนต (Brewis and Briggs, 1981) Hjertberg, Sultan และ Sorvik, (1989) ; Ulren และ Hjertberg (1989) อ้างใน Olafsson และคณะ (1993) พบว่า การลดปัญหาการร่อนออกของส่วนที่ลามิเนตทำได้โดยการเพิ่มแรงยึดติด (adhesion) ระหว่างผิวของพลาสติกกับส่วนที่ใช้ลามิเนต โดยการใช้ ethylene acrylic acid (EAA) เป็นตัวเพิ่มประจุเพื่อให้เกิด copolymerization ระหว่างผิวของพลาสติกกับส่วนที่ลามิเนต นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ภาชนะบรรจุด้วย

การหาค่าเหมาะที่สุดโดย response surface methodology

Response surface methodology (RSM) คือ การวางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่าตอบสนองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม การวิเคราะห์ข้อมูลจะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและค่าตอบสนองในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาจเป็นสมการกำลังหนึ่ง (first-order model) หรือสมการกำลังสอง (second-order model) ที่มีหลายเทอม (polynomials) จากสมการที่สร้างขึ้น สามารถนำมาสร้างภาพ 3 มิติที่เรียกว่า response surface plot ซึ่งแสดงระดับของตัวแปรในแนวระนาบและแสดงค่าตอบสนองในแนวตั้ง หรือสร้างภาพ 2 มิติที่เรียกว่า contour plot ซึ่งแสดงค่าตอบสนองในรูปเส้นกราฟหลายเส้น ภาพทั้งสองนี้มีประโยชน์ในการอธิบายผลของตัวแปรที่ศึกษาต่อค่าตอบสนอง ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาและผลรวมของตัวแปรที่ศึกษาต่อค่าตอบสนอง นอกจากนี้ ในกรณีที่มีตัวแปรมากกว่า 2 ตัวแปร หรือมีค่าตอบสนองที่ต้องการศึกษามากกว่า 1 ค่า อาจใช้

เทคนิคการซ้อนภาพ 2 มิติ เพื่อช่วยในการพิจารณาเลือกค่าที่เหมาะสมได้ (Henika, 1982 ; Mason, Gunst and Hess, 1989)

ขั้นตอนการวางแผนการทดลองโดย RSM เริ่มจากกำหนดตัวแปรอิสระ (independent variable) ช่วงของตัวแปรอิสระ และผลตอบสนอง (response) ตัวแปรอิสระที่ถูกกำหนดขึ้นจะต้องมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือต่อกระบวนการผลิต โดยอาจเป็นส่วนผสม เช่น ปริมาณเกลือ ปริมาณน้ำตาล หรือภาวะที่ใช้ในการผลิต เช่น ระดับอุณหภูมิ อัตราเร็วในการไหลของอาหารเหลว เป็นต้น โดยต้องกำหนดช่วงของตัวแปรให้เหมาะสม หากช่วงของตัวแปรกว้างเกินไปอาจทำให้ไม่สามารถหาภาวะที่เหมาะสมได้อย่างชัดเจนจะต้องวางแผนการทดลองใหม่โดยกำหนดช่วงของตัวแปรให้แคบลง นอกจากนี้จะต้องกำหนดค่าตอบสนองที่ต้องการวัด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษา เช่น ในการผลิตแฮมให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยกำหนดตัวแปรอิสระ คือ ปริมาณเกลือ และปริมาณน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนผสมในการผลิตแฮม ค่าตอบสนองที่ต้องการวัด คือ คะแนนความชอบในผลิตภัณฑ์แฮม โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลือกภาวะของตัวแปร คือ ปริมาณเกลือ และปริมาณน้ำตาลที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด (Henika, 1982 ; Mason, Gunst and Hess, 1989) ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกำหนดแบบแผนการทดลองที่เหมาะสมสำหรับ RSM ซึ่งมีหลายแบบด้วยกัน โดยทั่วไปจะใช้ completely และ fractional factorial design แต่ในการใช้ fractional factorial design นี้มีข้อจำกัด คือ ถ้าเป็นการทดลองแบบ two-level factorial ผลการทดลองนี้จะนำมาสร้างได้เฉพาะสมการกำลังหนึ่งเท่านั้น โดยไม่มีเทอมที่เป็นผลร่วมระหว่างตัวแปรใดๆ และถ้าเป็นการทดลองแบบ 3^n factorial โดยที่ n คือ ค่าปัจจัยที่ศึกษามีค่ามากกว่า 2 การใช้ RSM จะมีประสิทธิภาพต่ำและไม่เหมาะสมในการนำไปปฏิบัติจริงเนื่องจากมีจำนวนการทดลองมากเกินไปซึ่งจะทำให้เส้นของผลตอบสนองเบี่ยงเบนออกจากจุดศูนย์กลางรูปอย่างไม่สม่ำเสมอ ผลตอบสนองที่ได้จึงไม่เป็นค่าที่เหมาะสม (Mason, Gunst and Hess, 1989) ดังนั้นการทดลองที่เหมาะสมกับ RSM ได้แก่ Box-Behnken design, central composite design และ rotatable design (Gacula and Singh, 1984) เป็นต้น ซึ่งเป็นแบบการทดลองที่ใช้ทำนายผลการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีสิ่งทดลองไม่มากเกินไป เช่น การศึกษา 3 ตัวแปร แต่ละตัวแปรมี 3 ระดับ จะมีสิ่งทดลองทั้งหมด 15 สิ่งทดลองสำหรับ Box-Behnken design การเลือกแบบการทดลองแบบใดแบบหนึ่งให้เหมาะสมจะเป็นการลดเวลา และประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดลองด้วย

(Henika, 1982 ; Mason, Gunst and Hess,1989) สำหรับขั้นตอนสุดท้าย คือ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ข้อมูลของค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลองด้วยแบบการทดลองที่เหมาะสมจะถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่ศึกษา ในรูปของสมการกำลังสอง รูปแบบของสมการที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ คือ สมการโพลีโนเมียล ซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังนี้ (Gacula and Singh, 1984)

$$Y = A_0 + \sum A_i X_i + \sum A_{i,i+1} X_i X_{i+1} + \sum A_{ii} X_i^2 \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ	Y	= ค่าตอบสนองที่เกิดจากการแปรค่าตัวแปร X_i
	A_0	= ค่าคงที่
	$\sum A_i X_i$	= เทอมที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ X_i
	$\sum A_{i,i+1} X_i X_{i+1}$	= เทอมที่แสดงถึงอิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร X_i, X_{i+1}
	$\sum A_{ii} X_i^2$	= เทอมที่แสดงถึงอิทธิพลของกำลังสองของตัวแปรอิสระ

ทั้งนี้ $i = 1, \dots, n$ เมื่อ n คือ จำนวนของปัจจัยที่ต้องการศึกษา

จากสมการที่ 3 สามารถอธิบายผลของตัวแปรอิสระที่มีต่อค่าตอบสนอง ผลของความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีต่อค่าตอบสนอง (linear effect) และผลร่วมของตัวแปรอิสระที่มีต่อค่าตอบสนองได้ (interaction effect) ดังนั้นเมื่อได้ตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแล้วจะสามารถสร้างภาพ contour plot หรือ response surface plot เพื่อหาภาวะของตัวแปรที่ให้ค่าตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (optimum point) ตามที่ต้องการได้