

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แก่นตะวัน

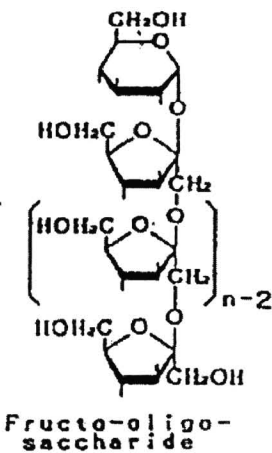
แก่นตะวัน มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Jerusalem Artichoke เป็นพืชอยู่ในตระกูล Asteraceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus tuberosus* L. จัดเป็นพืชอยู่ในตระกูลเดียวกับทานตะวันมีหัวใต้ดิน (Tuber) คล้ายมันฝรั่งแต่ลักษณะของหัวขรุขระคล้ายหัวขิงแต่ละหัวยาวประมาณ 7.5-10 เซนติเมตร เป็นพืชที่ผสมตัวเองไม่ได้ มีการผสมข้ามต้นจึงมีโอกาสสร้างสายพันธุ์ใหม่ขึ้นมาได้ (สนั่น จอกลอยและคณะ, 2549ข) เจริญเติบโตเร็ว ลำต้นแข็งแรง และมีขนปกคลุมความสูงของต้นประมาณ 1-3 เมตร ใบมีลักษณะเป็นวงรี ซึ่งใบมีลักษณะหนาและผิวไม่เรียบ มีความกว้าง 4-8 นิ้ว ด้านบนของใบมีขนปกคลุม ด้านล่างของใบมีขนที่อ่อนกว่า ดอกสีเหลืองคล้ายดอกทานตะวัน เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว ใช้เวลาเจริญเติบโตเต็มที่ประมาณ 130 วัน (Cosgrove *et al.*, 1991) แก่นตะวันเป็นพืชพื้นเมืองของประเทศแคนาดา สามารถปลูกโดยใช้หัวในการแตกหน่อ ปรับตัวในดินเค็มได้ดี (Zhao *et al.*, 2006) และสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นดินทรายและมีการระบายน้ำดี ช่วงเวลาในการเพาะปลูกคือ ในช่วงต้นฤดูฝน หัวแก่นตะวันมีปริมาณฟรุกโตสสูงถึงร้อยละ 55 แต่ถ้าปลูกในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน มีผลผลิตค่อนข้างต่ำหัวมีขนาดเล็ก มีปริมาณฟรุกโตสเพียงร้อยละ 15 ดอกเริ่มบานเต็มที่ในเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม สำหรับอายุการเก็บรักษาแก่นตะวัน ควรเก็บไว้ในถุงโพลีเอทิลีนหนา 150 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เก็บได้นานถึง 12 เดือน (Molder *et al.*, 1993) การเก็บสะสมคาร์โบไฮเดรตใน หัวของแก่นตะวันจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากเก็บเกี่ยวโดยอยู่ในรูปของอินูลินมากกว่าแป้ง (สนั่น จอกลอยและคณะ, 2549ค)

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหัวแก่นตะวัน

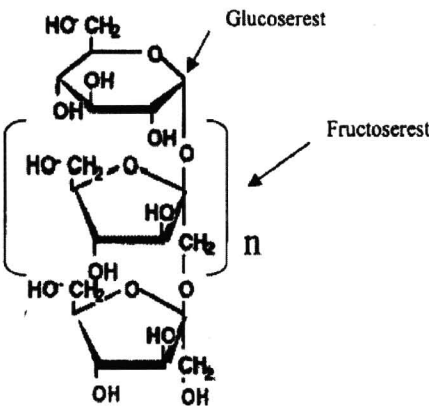
หัวของแก่นตะวันมีน้ำเป็นส่วนประกอบร้อยละ 80 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 13 - 18 ส่วนที่เหลือเป็นสารประกอบพวกไขมัน โปรตีนและเส้นใย ประมาณร้อยละ 80 ของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่พบในหัวของแก่นตะวันเป็นน้ำตาลฟรุกโตสที่อยู่ในรูปของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ โครงสร้างของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ประกอบด้วยเบต้า ดีฟรุกแทน (β-D fructans) สายสั้น คือ ฟรุกโตซิล (Fructosyl) ยึดต่อกันด้วยพันธะเบต้า 2-1 (β-2,1) (ภาพที่ 1) ส่วนโครงสร้างของอินูลินประกอบด้วยฟรุกโตส (Fructose) ร้อยละ 80 และกลูโคส (Glucose) ร้อยละ 20 ยึดต่อกันด้วยพันธะเบต้า 2 - 1 (ภาพที่ 2) เช่นเดียวกัน อินูลินและโอลิโกฟรุกโตสมีสมบัติสามารถละลายน้ำได้ และสามารถคงตัวอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง ไม่มีผลข้างเคียงต่อระบบประสาทสัมผัส เมื่ออินูลินถูกย่อย

โดยเอนไซม์อินนูลเลส (Inulase) ก็จะได้ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งมีความหวานเพียงร้อยละ 30 ของน้ำตาลซูโครส (วิภาวี ศรีคำภา, 2551)

แก่นตะวันมีแคลอรีต่ำเพียง 35 กิโลแคลอรี ต่อการบริโภค 100 กรัม นอกจากนี้มีรายงานคุณค่าทางโภชนาการในหัวแก่นตะวันสดเป็นแหล่งแร่ธาตุและวิตามินที่สำคัญหลายชนิด (ตาราง 1 และตาราง 2) (สุภวันจักรี พลมีศักดิ์, 2545; พิกพ สดสี, 2546 ; อารยา แสงกนิก, 2552)



ภาพ 1 สูตรโครงสร้างของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์
ที่มา : วิภาวี ศรีคำภา (2551)



ภาพ 2 โครงสร้างของอินูลิน
ที่มา : วิภาวี ศรีคำภา (2551)

ตาราง 1 ส่วนประกอบของหัวแค้นตะวัน 100 กรัม

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
	82.1
ความชื้น (ร้อยละ)	
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	65
โปรตีน (กรัม)	2.1
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	14.1
ปริมาณเส้นใย (กรัม)	2.6
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	-
ซูโครส (กรัม)	-
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	-
ปริมาณแป้งทั้งหมด (กรัม)	-
ปริมาณไขมันทั้งหมด (กรัม)	0.6
ถั่ว (กรัม)	1.2
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	28
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.6
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	16
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	561
โซเดียม (มิลลิกรัม)	3
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	72
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.10
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	1.0
แคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัม)	9.0
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.07
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.06
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	1.3

ที่มา : อารยา แสงกนิก (2552)

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการของแก่นตะวันผงแห้ง

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณที่พบ (ร้อยละ) ¹	ปริมาณที่พบ (ร้อยละ) ²
ความชื้น	7.06	3.80
โปรตีน	5.80	7.79
เส้นใย	4.73	3.10
ไขมัน	0.92	0.27
เถ้า	6.35	4.47
แคลเซียม	-	0.11
ฟอสฟอรัส	-	0.2

ที่มา : ¹ศุภวันจักรี พลมีศักดิ์ (2545)

²พิภพ สดสี (2546)

2.1.2 ประโยชน์ของแก่นตะวัน

แก่นตะวันสามารถบริโภคได้ทั้งในรูปของหัวสดและนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ โดยอินูลินซึ่งจัดเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary Fiber) ที่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารได้ยากจะถูกดูดซึมได้ช้า ทำให้ไม่รู้สึกหิว รับประทานอาหารได้ไม่มาก ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานและโรคหัวใจ รวมทั้งเสริมสร้างภูมิคุ้มกันโรคให้ร่างกายและลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในลำไส้ใหญ่ ช่วยเจริญอาหาร สามารถใช้เป็นยาระบาย กระตุ้นกำหนดกระตุ้นการสร้างอสุจิ กระตุ้นการหลั่งน้ำดี เป็นสารขับปัสสาวะและใช้เป็นยาพื้นบ้านในการรักษาโรคเบาหวานและโรคไขข้ออักเสบ ในประเทศฝรั่งเศสหัวแก่นตะวันถูกนำไปใช้ในการผลิตไวน์ (Duke and Wain, 1981) นอกจากนี้หัวของแก่นตะวันยังมีผลช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย ในโตรเจนในลำไส้และกระแสเลือด ขั้วยังการสร้างสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) เนื่องจากอินูลินไม่ถูกย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นระบบทางเดินอาหารส่วนล่างของมนุษย์ ดังนั้นเมื่อมนุษย์บริโภคอินูลินเข้าไปจึงไม่ให้พลังงาน อาหารจึงสามารถอยู่ในระบบทางเดินอาหารเป็นเวลานานทำให้ไม่รู้สึกหิว การที่อินูลินมีผลต่อการป้องกันโรคเบาหวานได้นั้น เนื่องจากอินูลินเป็นอาหารที่เป็น

Low-Glycaemic Food เมื่อรับประทานเข้าไปแล้วถูกเมตาโบลิซึมได้อย่างช้าๆ ทำให้มีน้ำตาลในเลือดต่ำและมีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ร่างกายหลังอินซูลินออกมาในปริมาณน้อยๆ อย่างสม่ำเสมอ ตับอ่อนจึงไม่เกิดความเครียดในการทำงาน แตกต่างจากผู้บริโภคน้ำตาลซูโครสในปริมาณสูงระดับอ่อนต้องหลั่งอินซูลินออกมามากในช่วงหลังการบริโภคน้ำตาล ทำให้เกิดความเครียดในการหลั่งอินซูลินในปริมาณมากๆ จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคเบาหวานประเภทที่ 2 นอกจากนี้อินูลินซึ่งไม่ถูกย่อยจะรวมกับไขมันและสารประกอบอื่นๆ ทำให้การดูดซึมไขมันเข้าในเลือดได้น้อย จึงมีผลต่อการลดไขมันในเลือด รวมทั้งป้องกันการเกิดโรคหัวใจ (Heart Disease) ได้ (นิมิต วรสุตและสนั่น จอกลอย, 2549 อ้างอิงจาก Farnworth, 1993)

อินูลินและโอลิโกฟรุคโตส ได้รับการจัดเป็นอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1992 และในยุโรปในปี ค.ศ. 1995 โดยในยุโรปจัดอินูลินและโอลิโกฟรุคโตสเป็นใยอาหาร ซึ่ง Codex ได้ให้คำจำกัดความคำว่า “ใยอาหาร” ไว้ว่า “เป็นส่วนประกอบอาหารจากพืชหรือสัตว์ที่ไม่สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารและสามารถวิเคราะห์ได้ตามวิธีการกำหนด” คือปริมาณใยอาหารที่ผลากควรเป็นค่ารวมของปริมาณใยอาหารจากวิธีวิเคราะห์ AOAC Total Dietary Fiber Method กับปริมาณของใยอาหารจากวิธีวิเคราะห์ AOAC Fructan Method สำหรับประเทศไทยอินูลินและโอลิโกฟรุคโตสจัดเป็นอาหารตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เมื่อนำไปใช้ในสูตรอาหาร การแสดงฉลากโภชนาการจะแสดงเป็นปริมาณใยอาหาร

2.1.2.1 แก่นตะวันในการเป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic)

แก่นตะวัน มีปริมาณฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์และอินูลิน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นสารพรีไบโอติก เนื่องจากไม่ถูกย่อยดูดซึมในทางเดินอาหารส่วนบน แต่จะผ่านลงสู่ทางเดินอาหารส่วนล่าง จึงเป็นแหล่งอาหารที่จำเพาะของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น ไบฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacterium* spp.) และแลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) ซึ่งใช้ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะไบฟิโดแบคทีเรีย ชนิด *B. infantis* ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์เบต้าฟรุคโตซิเดส (β -fructosidase) สำหรับย่อยฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนในขณะที่จุลินทรีย์ก่อโทษ เช่น ซัลโมเนลลา (*Salmonella*) กลอสตริเดียม (*Clostridium*) ยูแบคทีเรีย (*Eubacteria*) เอนเทอโรแบคทีเรีย (*Enterobacteria*) และโคลิฟอร์ม (*Coliforms*) ใช้ประโยชน์จากฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ได้น้อยหรือไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เลยผลคือร่างกายมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้นกลไกการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์มีประโยชน์ คือ การแก่งแย่งการยึดเกาะที่ผิวหน้าของผนังเซลล์อีพิทีเลียม (epithelium cell) ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นโทษไม่สามารถยึดเกาะที่เยื่อผนังลำไส้จึงถูกขจัดออกไป การเสริมฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในอาหาร มีผลทำให้จุลินทรีย์ที่ก่อโรคลดจำนวนลง

ช่วยควบคุมโรคทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเด็ว การทดสอบคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์โดยเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ร้อยละ 1 ในอาหารเลี้ยงเชื้อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งเสริมกลูโคส ร้อยละ 1 ทดลองกับแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในกลุ่มฟิโดคอคคัส (*Pediococcus*) และ *E. faecium* พบว่า แบคทีเรียที่มีประโยชน์ในทั้งสองกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ร้อยละ 1 โดยพบแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้สูงถึงร้อยละ 68 และ 84 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้เจริญได้เพียงร้อยละ 52 และ 40 ตามลำดับ ($P < 0.05$) และการเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ร้อยละ 1 ในอาหารเลี้ยงเชื้อซัลโมเนลลาเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งเสริมกลูโคส ร้อยละ 1 พบว่า การเสริมฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ร้อยละ 1 ในอาหารเลี้ยงเชื้อสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. mission* *S. californica* และ *S. typhimurium* เจริญได้เพียงร้อยละ 8 สำหรับ *S. senftenberg* เจริญได้เพียงร้อยละ 7 ส่วน *S. enteritidis* เจริญได้เพียงร้อยละ 5 ซึ่งปริมาณเชื้อซัลโมเนลลาที่วัดได้แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2.1.2.2 อินูลินต่อการลดระดับไขมันและระดับคอเลสเตอรอล

อินูลินจัดเป็นคาร์โบไฮเดรต ชนิดฟรุกแทน (Fructans) เนื่องจากไม่ถูกย่อยโดยน้ำย่อยในทางเดินอาหารส่วนบน แต่จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ด้วยเหตุผลนี้จึงจัดอินูลินเป็นเส้นใยละลายน้ำ (Soluble Dietary Fiber) อินูลินเมื่อถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ภายในลำไส้ใหญ่จุลินทรีย์จะปลดปล่อยกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid; VFA) ชนิดกรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรปิโอนิก (Propionic acid) และกรดบิวทิริก (Butyric acid) ออกมาโดยกรดโพรปิโอนิกจะถูกนำเข้าสู่ตับและกระบวนการเมแทบอลิซึม กลูโคสและไกลโคเจน กลไกการลดระดับคอเลสเตอรอลโดยทดลองเสริมอินูลินให้กับลูกหนูที่ระดับต่าง ๆ (ร้อยละ 0 5 10 และ 20) ลูกหนูที่ได้รับอินูลินที่ระดับร้อยละ 10 มีปริมาณกรดโพรปิโอนิกที่วัดได้สูงที่สุดแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ผู้ที่ได้รับอินูลิน 18 กรัม/วัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า กลุ่มที่ได้รับอินูลินปริมาณคอเลสเตอรอลลดลงร้อยละ 8.7 และ Low Density Lipoprotein (LDL) ลดลง ร้อยละ 14.4

2.1.2.3 อินูลินช่วยลดความอ้วน

อินูลิน เป็นอาหารเส้นใยประเภทแป้ง ที่ถูกจัดไว้ว่าเป็นอาหารเส้นใย จะไม่ถูกย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นระบบทางเดินอาหารส่วนบนของมนุษย์ ดังนั้นเมื่อรับประทานอินูลินจึงไม่ให้อาหารพลังงาน (Farnworth, 1993) ลักษณะของอาหารประเภทนี้ว่าเป็น Low - Glycaemic Food ซึ่งเปรียบเทียบการให้อาหารพลังงานของอาหารจำนวน 50 กรัม ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง

หลังจากการรับประทานอาหารนั้นเปรียบเทียบกับรับประทานกลูโคส หรือขนมปังขาว (white bread) เมื่อรับประทานอาหารประเภท Low - Glycaemic อาหารจึงอยู่ในระบบทางเดินอาหารเป็นเวลานาน ทำให้ไม่รู้สึกหิวและรับประทานอาหารได้น้อย ทำให้ไม่อ้วน โดยให้หนูทดลองกินอาหารปกติเปรียบเทียบกับการกินอาหารผสมอินูลิน ในช่วง 3 สัปดาห์ พบว่าหนูทดลองที่กินอาหารผสมอินูลิน มีน้ำหนักตัวน้อยกว่าหนูทดลองที่กินอาหารปกติถึง ร้อยละ 30 (Orafti, 2005)

2.1.2.4 อินูลินช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน

ผลของอินูลินในร่างกายมนุษย์มีผลต่อการป้องกันโรคเบาหวานได้ เนื่องจากอินูลินเป็นอาหารที่ Low - Glycaemic Food ซึ่งเมื่อมนุษย์รับประทานเข้าไปแล้วจะเกิดเมตาบอลิซึมได้อย่างช้าๆ ทำให้มีน้ำตาลในเลือดต่ำและมีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ร่างกายหลั่งอินซูลิน (Insulin) ออกมาในปริมาณน้อยและสม่ำเสมอ ดับอ่อนจึงไม่เกิดความเครียดจากการทำงานแตกต่างจากผู้ที่เป็นโรคเบาหวานระดับสูง ดับอ่อนต้องหลั่งอินซูลินออกมามาก ในช่วงหลังการบริโภคน้ำตาล ทำให้ดับอ่อนมีความเครียดในการหลั่ง จึงเป็นสาเหตุของการเป็นโรคเบาหวานประเภทที่ 2 โดยมีการรายงานไว้ว่าคนที่บริโภคอาหาร Low - Glycaemic Food จะมีโอกาสเป็นโรคเบาหวานน้อยกว่าคนที่บริโภคอาหารพวก High - Glycaemic Food ถึงร้อยละ 40 (นิมิตร วรรณุต และสนั่น จอกลอย, 2549 อ้างอิงจาก Farnworth, 1993)

2.1.2.5 อินูลินช่วยลดไขมันในเลือดและลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ

กลุ่มคนที่มีระดับไขมันในเลือดสูงและบริโภคอาหารที่ผสมอินูลินที่อยู่ในรูปน้ำตาลนีโอ (Neosugar) เฉลี่ย 14.2 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า คนเหล่านั้นมีคอเลสเตอรอลรวม (Total cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ลดลงเปรียบเทียบกับกลุ่มคนที่บริโภคอาหารที่มีน้ำตาลซูโครส (Sucrose) ตามปกติ นอกจากนั้นยังกล่าวถึงความดันโลหิตในคนที่บริโภคน้ำตาลนีโอลดลง เนื่องจากอินูลินไม่ย่อยรวมกับไขมันและสารประกอบอื่น ทำให้การดูดซึมไขมันเข้าในกระแสโลหิตน้อย (นิมิตร วรรณุต และสนั่น จอกลอย, 2549 อ้างอิงจาก Farnworth, 1993) อีกทั้ง พบว่า ผู้ที่มีระดับไขมันในเลือดสูง เมื่อกินอินูลินเป็นประจำมีผลให้ไตรกลีเซอไรด์รวมลดลงได้ ดังนั้น อินูลินมีผลต่อการลดไขมันในเลือดรวมทั้งป้องกันการเกิดโรคหัวใจ (Heart Disease) ได้ด้วย (Orafti, 2005)

2.1.2.6 อินูลิน ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันโรค

การทดลองสกัดน้ำตาลจากหัวแค้นตะวันด้วยวิธีใช้น้ำร้อน มีองค์ประกอบคือ ฟรุคโตส กลูโคส ซูโครส (DP หมายถึง Degree of polymerization) DP 3, DP 4, DP 5, DP 6, DP 7, DP 8 และ DP > 8 (ดังตารางที่ 3) เมื่อนำสารที่สกัดทั้งหมดนี้ใส่อาหารให้คนบริโภคหลังจากนั้น 24 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบน้ำปัสสาวะ พบว่าไม่มีฟรุคแทน ไม่เกิดอาการท้องร่วง (Diarrhea)

ไม่ทำให้เกิดอาการปวดท้อง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือด จึงสนับสนุนว่า ฟรุทแทน ไม่ถูกย่อยในกระเพาะอาหารหรือลำไส้เล็ก สรุปว่าฟรุทแทนที่เป็นอินูลินนั้นจะถูกย่อยโดย จุลินทรีย์ *Bifidobacteria* ที่มีอยู่ในลำไส้ใหญ่ และถูกใช้เป็นอาหารโดยตรง แต่ต้องเป็นอินูลินที่มี ขนาดโมเลกุลไม่ใหญ่มากนัก (มี DP ไม่เกิน 25) (นิมิตร วรสุต และสนั่น จอกลอย, 2549 อ้างอิงจาก Farnworth, 1993) และคนที่บริโภคอินูลินเป็นประจำจะมีผลให้ในลำไส้มีจุลินทรีย์ที่เป็น ประโยชน์เพิ่มขึ้น และประชากรของจุลินทรีย์ที่เป็นโทษลดลง มีภูมิคุ้มกันโรคเพิ่มขึ้นได้ เช่น โรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ (Orafiti, 2005)

ตาราง 3 น้ำตาลและฟรุทแทนที่สกัดได้จากหัวแก่นตะวัน

ชนิดของน้ำตาล	ปริมาณ (ร้อยละ)
ฟรุทโตส	3.8
กลูโคส	5.1
ซูโครส	14.5
DP 3	10.6
DP 4	10.2
DP 5	7.5
DP 6	7.0
DP 7	6.1
DP 8	5.3
DP > 8	29.9

ที่มา : นิมิตร วรสุต และสนั่น จอกลอย (2549)
หมายเหตุ DP หมายถึง Degree of polymerization

2.2 เครื่องดื่มผง

การผลิตเครื่องดื่มผง เป็นการนำวัตถุดิบประเภทผักหรือผลไม้ชนิดต่างๆ มาผ่านกระบวนการทำเป็นน้ำผัก น้ำผลไม้ก่อน แล้วนำไปทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง การผลิตเครื่องดื่มผงในประเทศไทยได้รับความสนใจมาก เพราะการผลิตเครื่องดื่มที่มีปริมาณความชื้นสูง ย่อมเสื่อมคุณภาพได้ง่ายกว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ เช่น เครื่องดื่มจากผลไม้ เครื่องดื่มดัดแปลง น้ำผลไม้ เป็นต้น ดังนั้นการทำแห้งหรือทำให้เป็นผง ซึ่งเป็นการลดปริมาณความชื้นในอาหารลง ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ หลักการทำเครื่องดื่มผงเป็นการทำแห้งอาหารชนิดหนึ่ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีลักษณะผง มีการละลายน้ำดี มีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 5 สามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์อาหารผงที่สามารถชงละลายได้ทันทีมีอีกชื่อหนึ่งว่า Instant Powder (อรทัย บุญทะวงศ์, 2547 อ้างอิงจาก คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546) น้ำผลไม้ในปัจจุบันเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั่วไป การที่จะเก็บน้ำผลไม้ไว้บริโภคได้เป็นระยะเวลานาน ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีการนำผลไม้มาอบแห้ง ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งควรมีสมบัติที่ดี คือ สามารถทำให้กลับคืนรูปเดิมได้อย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็นภายในเวลา 1 - 2 นาที มีสี รส และกลิ่น ใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สดมากที่สุด เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่สูญเสียคุณภาพ (จุฑาทย์ พุเจริญ, 2548 อ้างอิงจาก สมชาติ โสภณธณฤทธิ์, 2532)

2.2.1 วิธีการผลิตเครื่องดื่มผง แบ่งตามกรรมวิธีการผลิตได้ 3 แบบ คือ

1. การผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้แท้ผง ได้จากการสกัดน้ำผลไม้แท้และนำเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) เพื่อฉีดอาหารให้เป็นฝอย และกระทบกับความร้อนทำให้แห้งเป็นผง ต่อมามีการพัฒนาใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dryer) โดยนำน้ำผลไม้มาแช่แข็งแล้วอบภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทั้งนี้เพื่อให้น้ำแข็งในน้ำผลไม้ระเหิดกลายเป็นไอน้ำ ส่วนที่เป็นของแข็งจะคงลักษณะเดิม ดังนั้นผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งจึงมีลักษณะเป็นรูพรุน จึงทำให้กลับคืนรูปเดิมได้ง่ายและเพิ่มการละลายให้มากขึ้นได้ เช่น การผลิตกาแฟผง การผลิตนมผงและน้ำผลไม้ผงต่างๆ แต่วิธีนี้การลงทุนค่อนข้างสูง (อรทัย บุญทะวงศ์, 2547)

2. การผลิตเครื่องดื่มผงดัดแปลงหรือเครื่องดื่มกึ่งแท้ผง เป็นเครื่องดื่มที่ผลิตได้จากการเคลือบสารให้กลั่นรสลงไปในสารที่เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งนิยมใช้น้ำตาล แป้ง หรือนมผง สารที่นำมาเคลือบเพื่อให้กลั่นรสนี้ อาจเป็นสารสังเคราะห์สารที่สกัดได้จากธรรมชาติ คือ สกัดได้จากผลไม้และหัวเชื้อของเครื่องดื่ม การเคลือบสารให้กลั่นรสลงบนส่วนประกอบหลักทำได้โดยการฉีดสารเคลือบลงบนส่วนประกอบหลัก เพื่อเคลือบผิวกลั่นรสน้ำผลไม้ไว้แล้วจึงนำไปอบแห้ง ซึ่งในขั้นตอนการเคลือบนี้อาจต้องทำซ้ำหลายครั้งจนกว่าจะได้กลั่นรสเครื่องดื่มตามต้องการ นอกจากนั้น



อาจมีการผสมสารให้กลิ่นรสเข้าไปโดยตรง โดยบุคคลจะเลือกผสมกับองค์ประกอบผงอื่นๆ เพื่อผลิตเป็นเครื่องดื่มน้ำตามต้องการ เช่น การผลิตเค้กขยพวงและการผลิตเครื่องดื่มน้ำขิงผง เป็นต้น (อรรถ บุญทะวงษ์, 2547)

3. การผลิตเครื่องดื่มน้ำอัดแก๊ส เป็นเครื่องดื่มที่ผลิตเลียนแบบเครื่องดื่มอัดลม แต่ทำในลักษณะผง เป็นเครื่องดื่มที่มีสารโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ เมื่อนำไปละลายน้ำ สารนี้จะทำปฏิกิริยากับกรดและสลายตัวเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดความรู้สึกซ่าได้ (อรรถ บุญทะวงษ์, 2547)

ข้อได้เปรียบของอาหารแห้ง มีน้ำหนักเบา เสียพื้นที่ในการเก็บรักษาน้อยกว่าอาหารชนิดอื่นๆ และสามารถเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามอาหารแห้งก็มีข้อเสียเปรียบเช่นเดียวกัน คือ มีความไวต่อความร้อนในระดับหนึ่ง ทำให้เกิดกลิ่นและรสไหม้ขึ้นได้ ถ้าควบคุมสภาวะไม่เหมาะสม เกิดการสูญเสียกลิ่นและรสที่ระเหยได้ เกิดการฟอกสีของผลิตภัณฑ์ได้ เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากการหดตัวรวมถึงการแห้งกรอบเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ เนื่องจากน้ำตาลได้รับความร้อนสูงทำให้เกิด caramelization ขึ้น และเกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ ถ้าหากว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นช้า หรือปริมาณความชื้นสุดท้ายสูง หรือเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง (ชุดิมา อนุเทศ, 2552 อ้างอิงจาก ไพบุญ ธรรมรัตน์วาลิก, 2532)

2.2.2 องค์ประกอบในการผลิตเครื่องดื่มผง

อรรถ บุญทะวงษ์ (2547) กล่าวถึง องค์ประกอบในการผลิตเครื่องดื่มผงไว้ดังนี้

1. คุณภาพวัตถุดิบ วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตนั้นมีคุณภาพดี การเตรียมน้ำผลไม้เข้มข้นโดยหม้อต้มระเหยจะต้องระวังเรื่องการสูญเสียกลิ่นและสี โดยทั่วไปสามารถต้มระเหยน้ำผลไม้ที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง โดยไม่สูญเสียกลิ่นและสี หากใช้อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส พบว่า เกิดการสูญเสียกลิ่นได้โดยง่ายการนำน้ำผลไม้เข้มข้นที่สูญเสียกลิ่นแล้วมาอบแห้งจะได้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่ไม่มีกลิ่นเช่นกัน

2. โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ควรมีลักษณะเปิดเป็นรูพรุน แข็งแรงไม่พังง่าย โครงสร้างดังกล่าวจะช่วยให้การกลับคืนรูปเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปเครื่องดื่มผงควรละลายได้ในน้ำเย็นภายในเวลา 1 - 2 นาที วิธีการที่ใช้อบแห้งเช่น การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) การอบแห้งแบบพuff (Puff Drying) การอบแห้งในรูปของชั้นโฟม (Foam - Mat Drying) และการอบแห้งแบบพ่นฝอยโฟม (Foam - Spray Drying)

3. อุณหภูมิอบแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกินไป เพราะจะทำให้เสียคุณภาพอันเนื่องมาจากความร้อน (Heat Damage) วิธีการหลีกเลี่ยงความเสียหายดังกล่าวอาจทำได้โดยการอบแห้งเป็น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ห้องสมุดงานวิจัย

วันที่ 22 ส.ค. 2555

เลขทะเบียน 246133

เลขเรียกหนังสือ

หลายช่วง ในช่วงแรกผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นสูงอยู่ สามารถใช้อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง เมื่อความชื้นลดลงบ้างแล้ว จึงลดอุณหภูมิที่ใช้ต่ำลงตามไปด้วย ผลที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์จะไม่เสียหายเนื่องจากความร้อนและอัตราการอบแห้งยังคงค่อนข้างสูงด้วย

4. การทำให้เกาะกันเป็นก้อนเล็ก (Agglomeration) เป็นการนำผลิตภัณฑ์ หลังอบแห้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดมาทำให้ขึ้นเล็กน้อย เพื่อให้ผงขนาดเล็กเหล่านี้เกาะติดกัน ทำให้ขนาดใหญ่ขึ้นแล้วนำไปอบแห้งอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนทำให้สามารถกลับคืนรูปได้เร็วขึ้นเนื่องจากได้รับอิทธิพลของคาพิลลารีช่วยให้น้ำเคลื่อนที่ไปตามรูพรุนได้ดี

5. สารที่ใช้เติมลงไป (Additives) สารที่ใช้เติมลงไปในการผลิตเครื่องดื่มผง อาจแบ่งได้เป็นสารที่ช่วยในการถนอมรักษาคุณภาพ (Preservative or Chemical Effect) และสารที่ช่วยในการสร้างโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม (Physical Effect) สารประเภทแรก ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งช่วยในการป้องกันการเปลี่ยนสี การสูญเสียกลิ่นอันเนื่องมาจากความร้อนสูง นอกจากนี้ยังช่วยรักษาสีและกลิ่นในระหว่างการเก็บรักษาด้วย ส่วนสารประเภทหลัง ได้แก่ อากาศหรือก๊าซต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโฟมรวมถึงตัวทำโฟมมีความคงตัว เช่น อัลจีเนต (Alginates) โปรตีนถั่วเหลือง (Soya Protein) หรือ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glyceryl Monostearate) เป็นต้น

2.2.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผง

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงที่ดื่มนั้นควรจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ความสามารถในการดูดซึมของผิวอาหาร (Wettability) ถ้ามีผิวสัมผัสมากจะดูดน้ำได้ดี เมื่อมีการเติมน้ำลงไป ทำให้เกิดการกระจายตัวในของเหลวได้ง่าย
2. การจมน้ำ (Sinkability) เครื่องดื่มผงที่ละลายได้ดี จะมีการจมน้ำได้เร็ว ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นของผง
3. การกระจายตัว (Dispersibility) เครื่องดื่มผงที่มีการกระจายตัวดี จะมีการจมน้ำได้ดี แต่หากอาหารรวมกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น ความสามารถในการกระจายตัวอาจลดลงได้
4. ความสามารถละลายน้ำ (Solubility) และอัตราเร็วของการละลายขึ้นอยู่กับลักษณะหรือส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร

นอกจากนี้เครื่องดื่มผงยังมีคุณภาพต่างๆ อีก ได้แก่ ลักษณะของเนื้อสัมผัสและความยากง่ายในการคืนรูป ซึ่งองค์ประกอบของอาหารวิธีการทำแห้ง รวมถึงขนาดของผลิตภัณฑ์ จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส การแปรรูปอาหารที่มีไขมันต่ำ เช่น น้ำผลไม้ มั่นฝรั่งและกาแฟ ให้เป็นผงแห้งทำได้ง่ายกว่านมผงที่มีมันเนย หรือสารสกัดจากเนื้อ นอกจากนั้นผิวของผงที่มีไขมันมากจะมีการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า ดังนั้นอาหารที่มีไขมันอาจต้องเติมสารเพิ่มการกระจายตัว (Surface Active Agents) เช่น เลซิทีน หรือเติมสารเพิ่มความสามารถในการดูดซึมของผิวอาหาร



แต่อาจทำให้สมบัติของอาหารเปลี่ยนแปลงไป (อรรถัย บุญทะวงศ์, 2547 อ้างอิงจาก อรุณี อภิชาติสรานกูร, 2530)

2.3 การทำแห้งแบบโฟม-แมท (Foam-mat Drying)

โฟม (Foam หรือ Froth) เป็นภาษาลาตินมาจากคำว่า Spuma หมายถึง ฟอง โฟมประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า “เซลล์” กระจายตัวอยู่ในตัวทำกระจายที่อาจเป็นของเหลวหรือของแข็งก็ได้ ถ้าเซลล์นั้นมีแก๊สหรืออากาศบรรจุอยู่เต็ม และตัวทำกระจายเป็นของเหลวเรียกว่า “โฟมเหลว” (Liquid Foam) เป็นโฟมที่มีฟองอากาศอยู่อย่างอิสระ (Close Cell) ถ้าเซลล์นั้นเป็นฟองอากาศและตัวทำกระจายเป็นของแข็งเรียกว่า “โฟมแข็ง” (Solid Foam) เป็นโฟมที่มีแก๊สกระจายอยู่ในโครงสร้างจึงมักเรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า “โครงสร้างเซลล์ฟองอากาศ” (Gas - Filled Cellular Structure) พบมากในขนมปังปอนด์ เค้ก ไอศกรีมและลูกกวาด เป็นต้น โฟมที่มีฟองอากาศเปิดทะลุถึงกันได้มักเรียกว่า “สปันจ์ (Sponge)” (Dickinson and Stainsby, 1982) นอกจากนี้ในอาหารยังมีโฟมอีกชนิดหนึ่งที่เซลล์มีของเหลวหรือสารละลายบรรจุอยู่เต็ม โดยเซลล์แต่ละเซลล์จะอยู่อย่างใกล้ชิดและเป็นอิสระไม่เปิดถึงกัน โครงสร้างของโฟมแบบนี้ เรียกว่า โครงสร้างเซลล์ของเหลว (Liquid - Filled Cellular Structure) พบมากในผักและผลไม้ เซลล์แบบนี้อาจมีรูปร่างหลายเหลี่ยม เช่น เซลล์ของมะเขือเทศและเซลล์ของมันฝรั่ง เป็นต้น หรือเป็นเซลล์ยาว เช่น เซลล์ของลำต้นและก้านใบ เป็นต้น โฟมชนิดนี้จะอยู่ตัวดีถ้ามีแรงดันของน้ำสูงมากพอ ส่วนแรงดันของน้ำจะมีมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับแรงรัดตัวของผนังเซลล์ แต่ของเหลวที่อยู่รอบๆ ตัวโดยเฉพาะฟองอากาศมีคุณสมบัติของคอลลอยด์ ทำให้โฟมถูกจัดอยู่ในกลุ่มของคอลลอยด์

ในผลิตภัณฑ์ที่มีฟองอากาศหรือฟองแก๊สเป็นส่วนผสมจะมีเนื้ออยู่เป็น 2 เฟส คือ เฟสต่อเนื่องซึ่งจะเป็นส่วนของสารละลายน้ำตาลที่เข้มข้นรวมกับของเหลวอื่น และเฟสไม่ต่อเนื่องจะเป็นก๊าซในรูปของฟองอากาศเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป สารที่ทำให้ขึ้นฟูมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นทั้งส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะทำหน้าที่ ลดแรงตึงผิว ส่วนที่เป็นรอยต่อ (Interface) ระหว่างเฟสทั้งสอง ทำให้คงสภาพของการเป็นโฟมไว้ได้ของเหลวที่อยู่ในรูปโฟมสามารถทำแห้งได้อย่างรวดเร็วโดยน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านรู (Capillary) ระหว่างชั้นฟิล์มที่เป็นชั้นบางๆ ของเหลวที่กั้นฟองอากาศทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นอนุภาคผงที่มีการคืนรูปที่ดี (Instant Powder) ทั้งนี้ยังขึ้นกับความหนาของผนังอนุภาคผงโดยที่ความร้อนไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคผงที่ได้ แต่เป็นการเพิ่มอัตราการทำแห้ง (Drying Rate) เนื่องจากการเกิดโฟมเป็นการลดเวลาในการสัมผัสความร้อนของอนุภาคที่ได้ซึ่งเป็นการลดการทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณฟองและความคงตัวของฟองอากาศที่เกิดขึ้น คือแรงตึงผิว (Surface Tension) ซึ่งอยู่ในส่วนเฟสต่อเนื่องทำหน้าที่รักษาให้ฟองอากาศคงตัวอยู่ได้ เนื่องจากฟองอากาศในของเหลวเมื่อลอยขึ้นสู่ผิวแล้วมักจะแตกออกซึ่งเป็นผลจากแรงตึงผิว ดังนั้น จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงตึงผิวเพื่อรักษาสภาพฟองอากาศให้คงอยู่ที่ผิวของเหลวได้ หรือทำให้ฟองเกิดความคงตัวแตกออกได้ยากซึ่งอาจทำได้โดยเติมสารที่ช่วยให้โม่คงตัว สารที่ช่วยให้โม่คงตัวเมื่อใส่ในของเหลวจะเกิดการแผ่ออกเป็นชั้นบางๆ บริเวณผิวน้ำที่มีการกวนของเหลวให้เกิดฟองอากาศขึ้น สารที่ช่วยให้โม่คงตัวจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างฟองอากาศและของเหลวในลักษณะเป็นชั้นบางๆ หุ้มฟองอากาศไว้โดยที่รอบๆ ฟองอากาศจะพบประจุที่เหมือนกับบริเวณใต้ผิวน้ำ เมื่อเกิดการลอยตัวของโม่ที่ผิวเกิดการผลักดันโม่ จะคงตัวในน้ำ แต่กรณีที่มีแรงที่มากพอมากระทบจะมีผลให้ฟองอากาศดังกล่าวยกฟิล์ม (Film) ที่ผิวน้ำเป็นฟองอากาศ (Bubble) ขึ้น (สุวรรณา สุภิมารส, 2543)

2.3.1 กระบวนการทำให้เกิดโม่

การทำให้เกิดโม่เป็นขั้นตอนแรกของการทำแห้งแบบโม่-เมท เป็นระบบของสารแขวนลอยอย่างสมบูรณ์ของโม่แก๊สในของเหลว ซึ่งแตกต่างจากโม่ของน้ำสบู่ที่มีลักษณะเบาว่ามาก ลักษณะโม่ที่พึงประสงค์ในการอบแห้งแบบโม่-เมท จะต้องมีความคงตัวดีในระหว่างการอบแห้ง เพื่อให้โม่ยังคงมีลักษณะเป็นโม่และแตกหักออกเป็นผงได้ง่าย

อย่างไรก็ตามโม่ที่คงตัวในบรรยากาศปกติบางครั้งก็ไม่เหมาะสำหรับการอบแห้งการก่อให้เกิดโม่อย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นได้โดยการเติมสารที่ทำให้คงตัว การเติมอากาศด้วยสัดส่วนที่ถูกต้อง การผสมของผสม 2 สถานะด้วยแรงเฉือนที่สูง และการทำให้โม่เย็นลงเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากการผสม ความหนาแน่นที่ถูกต้องของโม่ คือ ความหนาแน่นที่ต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดโม่ที่คงตัว โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 0.4-0.6 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยโม่อากาศทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 0.1 มิลลิเมตร กระจายตัวอยู่ในของเหลว โม่ที่เบาซึ่งประกอบด้วยช่องว่างของแก๊สที่ใหญ่กว่าโดยมีผนังของเหลวที่เกือบจะแบนราบกันอยู่นั้น ไม่เหมาะสม การเติมอากาศเข้าไปในโม่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีเท่ากับการใช้แก๊สเฉื่อย

2.3.2 ความคงตัวของโม่ (Foam Stability)

ของเหลวที่บริสุทธิ์จะให้โม่ที่ไม่คงตัว ฟองอากาศที่ไล่ลงไปใต้ผิวจะแตกตัวเมื่อของเหลวที่กั้นระหว่างฟองได้ระบายออกไป การใส่สารที่ก่อให้เกิดโม่จะช่วยให้ฟองอากาศอยู่ตัวดีขึ้น สารชนิดนี้จะเข้าไปอยู่ที่ผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศและของเหลวในลักษณะของชั้นบางๆ โดยปกติสารที่ก่อให้เกิดโม่มีคุณสมบัติของสารช่วยกระจายไขมัน อย่างไรก็ตามโม่จะแตกตัวได้ง่ายเมื่อมีการระเหยของของเหลว มีการสัมผัสกับฝุ่นละอองหรือมีการแพร่กระจายของแก๊ส สาร

ที่ก่อให้เกิดโฟมจะทำให้เกิดชั้นของเหลวกั้นระหว่างฟองอากาศ ความอยู่ตัวของโฟมจะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นของเหลวนี้ ถ้าชั้นของเหลวมีความหนาลดลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกผิวของฟองอากาศจะสัมผัสกันและเกิดแรงดึงดูดขึ้นที่ Plateau Borders ฟองอากาศขนาดเล็กที่มีแรงดึงดูดสูงจะแตกออก ดังนั้นความอยู่ตัวของโฟมจะขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของการระบายของเหลวออกไปจากผิวของฟองอากาศ การเพิ่มความหนืดของเหลวหรือการใส่อนุภาคเล็ก ๆ ลงไปจะทำให้การระบายของของเหลวช้าลง แม้ว่าจะเตรียมโฟมได้แต่ถ้าความหนืดหรือความแข็งแรงของผนังฟองยังไม่มากพอ โฟมจะอยู่ตัวไม่นาน การใส่อนุภาคขนาดเล็กจะทำให้โฟมอยู่ตัวดีขึ้น อนุภาคที่จะช่วยให้โฟมอยู่ตัวดีขึ้นต้องสะสมอยู่ที่ผิวของฟองอากาศ ส่วนจะใช้อนุภาคชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสาร ขนาดของอนุภาคและความเข้มข้นของสารละลาย (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

2.3.3 สมบัติของโฟม

1. การระบายของเหลวออกจากผิวของฟองอากาศ เมื่อทำการตีฟองปริมาตรของฟองจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ฟองที่เกิดขึ้นใหม่จะมีผิวเป็นของเหลวที่หนามาก ฟองอากาศที่เกิดขึ้นก่อนจะถูกดันให้สูงขึ้นด้วยฟองอากาศที่เกิดขึ้นทีหลัง ความหนาของของเหลวที่ผิวฟองอากาศที่เกิดขึ้นก่อนจะบางลงเนื่องจากได้ระบายออกไปด้วยแรงโน้มถ่วงโลก ความหนาของผิวฟองที่อยู่บนสุดจึงมีน้อยและความหนาของผิวฟองที่อยู่ต่ำลงมาจะมากขึ้นตามลำดับ เมื่อความหนาของผิวฟองลดน้อยลงจนถึงจุดหนึ่งฟองจะแตกออก ดังนั้นเมื่อตั้งโฟมทิ้งไว้นานปริมาตรจึงลดน้อยลงตามลำดับ การแตกตัวจะเกิดขึ้นกับฟองที่อยู่บนสุดก่อน แต่ก็มีโฟมอีกหลายชนิดที่ฟองอากาศภายในโฟมแตกออกก่อน โดยฟองอากาศเหล่านี้จะรวมตัวกันเป็นฟองที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้แก๊สที่อยู่ในฟองจะแลกเปลี่ยนกันทำให้ฟองอากาศเปลี่ยนไป (Shaw, 1980)

2. ความยืดหยุ่นของผิวฟองอากาศ เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ ฟองอากาศจะยืดตัวออกทำให้ความหนาของของเหลวที่ผิวลดลงมีผลทำให้ความตึงผิวเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้มีผลให้ฟองอากาศรักษาลักษณะผิวไว้ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ฟองอากาศบางส่วนอาจแตกออก การที่จะรักษาฟองอากาศไว้ไม่ให้แตกหรือให้มีความยืดหยุ่นสูงจะต้องใช้ความเข้มข้นของสารช่วยเกาะติดสูงพอสมควร โฟมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำระหว่างการตีฟองจะทำให้ผนังฟองแตกออกของเหลวที่ผิวฟองจะรวมตัวกันที่มุมของฟอง ถ้าฟองอากาศแตกออกมากจะทำให้ลักษณะเนื้อของโฟมเปลี่ยนไป ฟองอากาศจะเกิดเป็นช่องยาวและเชื่อมต่อกันใน 3 ทิศทาง (Shaw, 1980)

3. สำหรับสมบัติอื่นๆ ของโฟม เช่น ความหนืด การนำไฟฟ้า ความคงทนต่อการแช่แข็ง ความคงทนต่ออุณหภูมิสูง และความคงทนต่อแรงปั่นเหมือนกับอิมัลชัน

2.3.4 สารก่อให้เกิดโฟม (Foaming Agent)

สารก่อให้เกิดโฟม เป็นสารที่ใช้สำหรับเติมลงในอาหารเหลวเพื่อช่วยให้เกิดโฟมเมื่อนำไปตีในเครื่องตีปั่นเติมอากาศให้กับอาหารจนเกิดโฟม ซึ่งเป็นของผสมระหว่างของเหลวหรือกึ่งของแข็งและอากาศ มีของเหลวเป็นส่วนต่อเนื่อง (Continuous Phase) และอากาศเป็นส่วนกระจาย (Disperse Phase) โดยมีชั้นของเหลวบางๆ เรียกว่า Lamellae แยกฟองอากาศออกจากกัน สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่เติมลงในอาหารจะช่วยทำให้เกิดสภาพโฟม สารนี้ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงบริเวณ Lamellae ทำให้อาหารอุ้มอากาศไว้ภายในได้มากขึ้น โดยฟองอากาศนั้นไม่แตกหรือแยกออก ขณะเดียวกันจะช่วยรักษาสภาพโฟมให้คงอยู่ได้นาน ทำให้โฟมมีความคงตัวยิ่งขึ้น ปกติโมเลกุลของสารที่ช่วยให้เกิดโฟมนั้นประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophile) ซึ่งเป็นพวกอนุโมลอิสระที่มีประจุ ซึ่งอาจจะประจุบวกหรือลบก็ได้ เป็นส่วนที่จะละลายอยู่ในเฟสของน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เป็นส่วนที่ไม่มีประจุ มักเป็นอนุพันธ์คาร์บอนอะตอมที่มีสายยาว (Aliphatic Carbon Chain) เป็นส่วนที่จะละลายอยู่ในเฟสของน้ำมัน สารก่อให้เกิดโฟมที่เลือกใช้สำหรับอาหารควรมีคุณสมบัติดังนี้

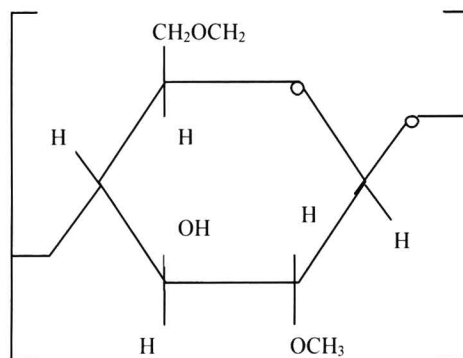
1. ไม่มีรสชาติและไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร
2. สามารถทำให้เกิดโฟมได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณต่ำและปลอดภัยสำหรับการบริโภคสารที่ก่อให้เกิดโฟมที่ใช้ในอาหารที่สำคัญในกระบวนการอบแห้งแบบโฟม-เมท เช่น Methocel, GMS และ CMC (อรทัย บุญทะวงศ์, 2547)

2.3.4.1 เมโทเซล (Methocel)

Methocel เป็นชื่อทางการค้า ผลิตโดยบริษัท Dow Chemical ประเทศสหรัฐอเมริกา Methocel เป็นสารให้โฟมคงตัวชนิดหนึ่ง โดยมีสารโพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีรสชาติและไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่เติมลงไป ลักษณะเป็นผง มีความบริสุทธิ์สูงและให้พลังงานต่ำ และใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น Methocel สามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (Binders) สารช่วยให้เกิดการแขวนลอย (Suspension Agent) สารช่วยให้มีอิมัลชันคงตัว (Emulsifier Colloid) ที่สำคัญคือ Methocel เป็นกัม (Gum) ที่มีคุณสมบัติเป็นเจลสามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (Thermally Gel) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว (Surfactant) ทำให้เกิดสภาพฟิล์ม (Film Foaming) ในอาหารได้ ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำได้ ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวในอาหารที่ต้องการทำแห้งแบบโฟม สามารถแบ่ง Methocel ตามชนิดของ Cellulose Ethers ภายในองค์ประกอบทางเคมีได้ 2 ชนิด คือ Methyl Cellulose (MC) และ Hydroxypropyl Methycellulose (HPMC) โครงสร้างทางเคมีของ Methocel

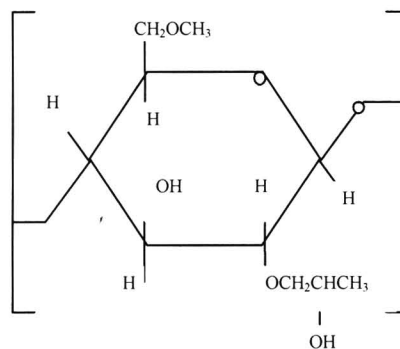
ทั้ง 2 ชนิดแสดงในภาพ 3 และ 4 มีโครงสร้างเป็น Polymeric Backbone Cellulose ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานคือ Anhydroglucose Unit

ความแตกต่างของ Methocel ชนิดต่างๆ เกิดจากการผันแปรสัดส่วนของหมู่แทนที่ที่เป็น Hydroxypropyl กับ Methoxyl สัดส่วนดังกล่าวนี้ จะทำให้ความสามารถในการละลาย ความข้นหนืด และอุณหภูมิเริ่มเกิดเจล (Thermal Gel Point) ของสารละลาย Methocel แตกต่างออกไปสามารถแบ่งออกตามค่าระดับการแทนที่ (Degree of Substitution, D.S.) ซึ่งหมายถึงปริมาณโดยเฉลี่ยของหมู่แทนที่ที่ทำปฏิกิริยาแทนที่วงแหวนตรงบริเวณหมู่ Hydroxyl ของ Anhydroglucose unit หากมีการแทนที่ 2 แห่ง เรียก D.S. = 2 เป็นต้น ความหนืดของสารละลาย Methocel เริ่มตั้งแต่ 3 -100,000 เซนติพอยส์



ภาพ 3 โครงสร้างทางเคมีของ Methocel ชนิด methylcellulose (A)

ที่มา : Dow Chemical Company (1962)



ภาพ 4 โครงสร้างทางเคมีของ Methocel ชนิด Hydroxypropyl Methylcellulose (B)

ที่มา : Dow Chemical Company (1962)

Methocel ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องไม่ได้ แต่สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำร้อน ซึ่งต้องมีอุณหภูมิในระดับที่เหมาะสม หลังจาก Methocel กระจายตัวในน้ำและทุกอนุภาคเปียกแล้ว การละลายของ Methocel จะเกิดขึ้นต่อเมื่อลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลง (Dow Chemical Company, 1962)

2.3.4.2 กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glyceryl Monostearate)

กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (GMS) เป็นที่รู้จักในชื่อของโมโนสเตียรีน (Monostearin) เป็นของผสมที่มีสัดส่วนที่แตกต่างของ กลีเซอรอล โมโนสเตียเรท (Glyceryl Monostearate) กลีเซอรอลโมโนปาลมิเตต (Glyceryl Monopalmitate) และกลีเซอรอลเอสเทอร์ (Glyceryl Ester) ของกรดไขมันที่มีอยู่ในกรดสเตียริก GMS เตรียมได้จากการสลายกลีเซอรอล (glycerolysis) ของไขมันหรือน้ำมันที่ได้มาจากแหล่งที่สามารถรับประทานได้หรือผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ของกรดสเตียริกที่ได้มาจากแหล่งที่สามารถรับประทานได้โดยใช้กลีเซอริน ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และมีรสหวาน GMS เป็นสารประกอบเอสเทอร์ของกรดสเตียริก ในด้านอาหาร GMS ถูกใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด เพิ่มความคงตัว ป้องกันการเกาะกันของแป้ง และใช้เป็นสารกันบูด GMS ยังถูกใช้ในด้านทางเภสัชวิทยา ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์บำรุงเส้นผม อีกทั้งยังทำให้ไอศกรีมและวิปครีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนสม่ำเสมอ

2.3.4.3 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy Methyl Cellulose)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่มีกลุ่มคาร์บอกซีเมทิล (Carboxy Methyl groups : $-\text{CH}_2-\text{COOH}$) ยึดกับกลุ่มไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) ของพอลิเมอร์ดีกลูโคไพราโนส (D - Glucopyranose Polymer) ด้วยพันธะ β 1-4 ซึ่งประกอบเป็นโครงสร้างของเซลลูโลส สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยา Alkali - Catalyzed ของเซลลูโลสด้วย กรดคลอโรอะซิติก (Chloroacetic Acid) การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่แตกต่างกันทำให้ค่าการแทนที่ (Degree of Substitution) แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.60-0.95 ต่อโมโนเมอร์ยูนิต สมบัติทางหน้าที่ขึ้นอยู่กับการแทนที่และความยาวของสายโครงสร้างเซลลูโลส (Chain Length of The Cellulose Backbone Structure)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะละลายน้ำเย็นอย่างรวดเร็ว ความหนืดของสารจะต่ำลงเมื่อมีการให้ความร้อน (Chaplin, 2008) เป็นสารที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นอันตราย จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาและอาหาร นอกจากนี้ยังสามารถดูดความชื้นคงตัวในช่วงความเป็นกรด - ด่าง 2 - 10 น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2,100 - 500,000 เมื่อละลายน้ำจะได้สารแขวนลอยมีลักษณะข้นเหลวไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ สามารถละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับ

ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เช่น เอทานอลหรืออะซิโตน ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6.5 -8.0 เมื่อนำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1 ส่วนละลายน้ำ 100 ส่วน จะได้สารละลายที่มีความหนืด 5-6,000 เซ็นติพอยส์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ average length of macromolecule อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง สมบัติในการละลายขึ้นอยู่กับสารแทนที่ กล่าวคือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีการแทนที่ต่ำกว่า 0.1 จะไม่ละลายน้ำ และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าค่านี้สูงกว่า 0.2 จะละลายน้ำแต่ยังคงไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (ยูกันท์ มิลลเลอร์, 2540)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารที่ปลอดภัยมาก ไม่พบรายงานเกี่ยวกับพิษของสารนี้ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากละลายน้ำได้มีความเป็นกลาง ไม่เป็นอันตราย สำหรับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ใช้ผสมในอาหาร จะต้องมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจำหน่ายมีความหนืดในช่วง 10-6,000 เซ็นติพอยส์ (ในสารละลายร้อยละ 1) สำหรับอุตสาหกรรมอาหารใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นสารป้องกันการตกผลึกในไอศกรีม น้ำเชื่อม น้ำตาลไอซิ่ง อาหารพวกที่ฉาบน้ำตาล สารป้องกันการคอลลอยด์ในมายองเนส สารช่วยในการแขวนลอยในผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกนม น้ำผลไม้ สารทำให้ข้นในน้ำสลัด เครื่องดื่ม อาหารสัตว์ สารทำให้เป็นวุ้นในเยลลี่ ขนมหวาน สารทำให้ขึ้นฟูในไอศกรีม และวิปครีม เป็นต้น

2.3.5 วิธีการเก็บรักษาน้ำผลไม้ผง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งจะต้องมีความชื้นต่ำเพียงพอ เพื่อให้สามารถรักษาผลิตภัณฑ์นั้นไว้ได้นาน (น้ำสัมผองต้องการให้มีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 1 มะเขือเทศผองต้องการให้มีความชื้นเหลืออยู่ร้อยละ 2) การอบแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำระดับนี้จะต้องอบแห้งโดยใช้กระแสลมร้อนที่ไหลแบบสวนทางกับผลิตภัณฑ์ มีการเตรียมโคมที่ดีและบรรจุในห้องที่มีความชื้นต่ำ เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นลงถึงอุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮต์ (37.8 องศาเซลเซียส) จะต้องเก็บไว้ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า ร้อยละ 15

การอบแห้งน้ำมะเฟืองตีปั่นด้วยวิธีโคม-เมท ในแง่ของความคงตัวของโคมและลักษณะการอบแห้งด้วยลมร้อน มีการเติม Methocel 65 HG ลงไปในมะเฟืองตีปั่นเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโคม โดยศึกษาความเข้มข้นของ Methocel 65 HG ตั้งแต่ ร้อยละ 0.1-0.5 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่า overrun และความคงตัวของโคมเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ Methocel 65 HG และมีค่าสูงสุดเมื่อ Methocel 65 HG มีความเข้มข้น ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 70 เป็น 90 องศาเซลเซียส เวลาในการอบแห้งสามารถลดลงได้มากถึง 30 นาที แต่พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป (Karim and Wai, 1999)



2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัลยาณี โสมนัส (2540) ศึกษาการผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบโพร-เมทใช้กล้วยที่มีระยะการสุก 5-6 และ 7-8 สารที่ช่วยให้โพรคงตัว คือ Methocel และ Myvatex ความเข้มข้นของสารที่ช่วยให้โพรคงตัวในกล้วยระยะการสุก PCI 5-6 ร้อยละ 0.5 0.7 และ 0.9 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด และกล้วยระยะการสุก PCI 7-8 ร้อยละ 0.7- 0.9 และ 1.1 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด อุณหภูมิอบแห้ง 75 องศาเซลเซียส พบว่า กล้วยระยะการสุก 5-6 ชนิดและปริมาณของสารที่ช่วยให้โพรคงตัวมีผลต่อความหนาแน่น ระยะเวลาในการตีโพร ความคงตัวของโพร ระหว่างการอบแห้งและระยะเวลาในการอบแห้ง โดยการใช้ Methocel จะให้ผลที่ดีกว่า Myvatex ความเข้มข้นของ Methocel เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นของโพรลดลงส่งผลให้กล้วยผงมีสีอ่อนลงและความหนืดหลังการคืนตัวของกล้วยผงเพิ่มขึ้น กล้วยระยะการสุก 7 - 8 ชนิดและปริมาณของสารที่ช่วยให้โพรคงตัวมีผลต่อความหนาแน่น ความคงตัวของโพร แต่ระยะเวลาในการตีโพร และระยะเวลาในการอบแห้งนานกว่า เนื่องจากมีความชื้นและปริมาณน้ำตาลมากกว่า กล้วยหอมผงมีสีเข้มและกลิ่นแรงกว่าแต่ความหนืดหลังการคืนตัวของกล้วยผงต่ำกว่ากล้วยระยะการสุก 5-6

วัชร รมหัทธนพรรค และรัตนา อัดตปัญญา (2543) ศึกษาสูตรน้ำลำไยและสารที่ก่อให้เกิดโพรในการผลิตน้ำลำไยผงโดยการทำแห้งแบบโพร-เมท พบว่า ส่วนผสมน้ำลำไยเข้มข้นที่เหมาะสม ประกอบด้วยเนื้อลำไยสดร้อยละ 50 เนื้อลำไยอบแห้งร้อยละ 20 น้ำตาลทรายร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก สารที่ก่อให้เกิดโพรที่เหมาะสม คือ Methocel 65 HG ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ตีให้เกิดโพรด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 15 นาที ทำการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

ชนันท์ ราษฎร์นิยม (2545) ศึกษาการผลิตน้ำลำไยผงโดยการทำแห้งแบบโพร-เมท ใช้สารที่ก่อให้เกิดโพร 6 ชนิด คือ Methocel 65 HG, Egg albumin, Glyceryl monostearate, methyl cellulose, Methocel 65 HG กับ Egg albumin อัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก และ Methocel 65 HG กับ Glyceryl Monostearate (GMS) อัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยใช้ปริมาณของสารที่เติมลงไปในส่วนที่ต่างกัน 5 ระดับ ในส่วนผสม โดยระดับต่ำที่สุด คือ ปริมาณของสารที่เติมลงไปในส่วนผสมของน้ำลำไยในสัดส่วนที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดโพรได้และเพิ่มปริมาณระดับละ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของส่วนผสม อุณหภูมิอบแห้ง 2 ระดับ คือ 70 และ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการอบแห้ง 6 ระดับ คือ 10 20 30 40 50 และ 60 นาที โดยมีความเร็วลมคงที่ 1 เมตรต่อวินาที และสารที่เหมาะสมที่สุด คือ Methocel 65 HG ความเข้มข้นร้อยละ 0.13 กับ Glyceryl Monostearate (GMS) ความเข้มข้นร้อยละ 0.13 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสม คือ 70 องศา-เซลเซียส และระยะเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม คือ 50 นาที

ความหนาของโฟม 5 มิลลิเมตร ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความขึ้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.120 ความสามารถในการคืนรูป ร้อยละ 98.5 โดยน้ำหนักแห้ง ค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 70.64 4.28 และ 16.79 ตามลำดับ ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า น้ำลำไยผง ภายหลังชงละลายมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน สีนวล มีรสหวาน และมีกลิ่นลำไยผงตรงตามความต้องการของผู้ทดสอบ แต่มีสีเข้มกว่าที่ผู้ทดสอบต้องการเล็กน้อย

ศุภหทัย พุเจริญ (2548) ศึกษาวิธีการผลิตน้ำนมข้าวโพดผงโดยวิธีการทำแห้งแบบ โฟม-เมท ใช้สารที่ก่อโฟม คือ Glycerol Monostearate (GMS) Methocel และสารผสมระหว่าง GMS และ Methocel อัตราส่วน 1 : 1 ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 5 โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณ น้ำตาล 15 องศาบริกซ์ มอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 25 และสารผสมระหว่าง GMS และ Methocel อัตราส่วน 1 : 1 ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดโดยทำให้เกิดโฟมที่คงตัว ความหนาแน่นต่ำสุด 0.12 ± 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร อัตราการแยกตัวของของเหลวต่ำสุด 0.06 ± 0.01 มิลลิลิตรต่อนาทีและค่าโอเวอร์รันสูงสุด คือ ร้อยละ 698.9 ± 52.92 เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 27.27 ± 0.65 ความสามารถในการกระจายตัวและการคืนรูปสูง 0.66 ± 0.07 และร้อยละ 84.66 ± 0.19 ตามลำดับ ค่าสีทั้งก่อนและหลังชงละลาย การละลาย ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณแคโรทีนอยด์และปริมาณจุลินทรีย์ ไม่มี ความแตกต่างกันในทางสถิติ เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตีปั่นอากาศ คือ 8 นาที และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โฟมมีความหนาแน่นต่ำสุดคือ 0.14 ± 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ 70 องศาเซลเซียส เวลา 70 นาที มีปริมาณแคโรทีนอยด์ เท่ากับ 8,570.78 ไมโครกรัมต่อกรัมและปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ $4.25 \times 10^2 \pm 2.64 \times 10^2$ cfu/g ปริมาณยีสต์และรา เท่ากับ $5.50 \times 10^2 \pm 8.08 \times 10^1$ cfu/g ความสามารถในการกระจายตัว ความสามารถในการคืนรูป ค่าสีทั้งก่อนและหลังชงละลาย การละลาย ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

พิสิษฐ์ จินตวิวัฒน์ และคณะ (2548) ศึกษาการผลิตลำไยผงโดยการทำแห้งแบบโฟม-เมท ด้วยการแช่เนื้อลำไยแห้งในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส ต้มและเติมน้ำตาลทรายขาวรอให้อุณหภูมิ ลดลง 30 องศาเซลเซียส เติมน้ำมันผสม Methocel 65 ดีให้เกิดโฟมจากนั้นฉีดโฟมให้เป็นเส้นหนา บนถาดโปร่ง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที บดให้ละเอียด และบรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ ได้เป็นผลิตภัณฑ์ลำไยผงชงพร้อมดื่มเพื่อการจำหน่ายต่อไปในระดับอุตสาหกรรม

สมชาย จอมดวง และอรทัย บุญทะวงศ์ (2548) ศึกษาการผลิตมะเขี๋ยผงโดยทำแห้งแบบ โฟม-เมท ใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟม คือ Methocel , Carboxy Methyl Cellulose (CMC) และ Glycerol

Monostearte (GMS) พบว่าการใช้ใช้Methocel ร่วมกับ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้โฟมที่มีคุณภาพดี ความหนาแน่น 0.42 กรัมต่อมิลลิลิตร และค่าโอเวอร์รันร้อยละ 707.85

อัสจรรย สัจศิริพงษ์ และปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล (2548) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำลูกหม่อนผงโดยการทำแห้งแบบโฟม-เมท ใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟม 3 ประเภท คือ Methocel, Glyceryl Monostearte (GMS) และ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง พบว่า การใช้ Methocel ในปริมาณร้อยละ 45 โดยน้ำหนักของน้ำลูกหม่อนสกัดเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด โฟมที่ได้มีความหนาแน่นน้อย 0.165 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าโอเวอร์รัน ร้อยละ 607.56 และได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 27.83 เมื่อน้ำลูกหม่อนผงที่ได้จากการผลิตมาละลายน้ำแล้วตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมี พบว่าน้ำลูกหม่อนมีสีแดงเข้มอมม่วง ($L^*=13.74$ $a^*= 39.82$ และ $b^* = 21.20$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 14 องศาบริกซ์ ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.4 ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก ร้อยละ 0.12 ปริมาณแอนโรซัยยานิน เท่ากับ 152.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 30 cfu/g ปริมาณยีสต์ รา เท่ากับ 3 cfu/g และไม่พบเชื้อโคลิฟอร์มในผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลาง

คุ้มเกล้า ตูลาติลล และพินดา รัตนปิติกรณ (2551) ศึกษาชนิดของสารที่ก่อให้เกิดโฟม โดยใช้สารละลาย MethocelTM ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.9 โดยน้ำหนักร่วมกับ Maltodextrin 10 กรัม ในน้ำกระเทียมดองทั้ง 2 สูตร ให้ค่าความคงตัวที่เหมาะสม คือ 1.35 และ 0.6 ml/min ตามลำดับ ความหนาแน่น 0.128 และ 0.103 g/ml ตามลำดับและค่า Overrun เท่ากับ 717.09 และ 915.93 ตามลำดับ ค่า overrun ของโฟมที่สูงขึ้นแสดงถึงความสามารถในการกักเก็บอากาศในโฟมมากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการผลิตพบว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำกระเทียมดองสดมากที่สุด

Karim and Wai (1999) ศึกษาการทำแห้งแบบโฟม-เมทของมะเฟือง โดยการผันแปรความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟม คือ Methocel ที่ 5 ระดับความเข้มข้นคือ ร้อยละ 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักและอุณหภูมิอบแห้ง 2 ระดับ คือ 70 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ Methocel เพิ่มขึ้น ค่าโอเวอร์รันจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าความหนาแน่นของโฟมลดลง ค่าโอเวอร์รันจะเพิ่มขึ้นสูงมากที่ความเข้มข้น ของ Methocel เท่ากับร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก Methocel ช่วยให้ฟิล์มมีความแข็งแรงและผิวหน้าระหว่างฟิล์ม

คงตัว ลดแรงตึงผิวและแรงตึงผิวหน้าระหว่างฟิล์ม ความเข้มข้นของ Methocel เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงค่าสูงสุดที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.4 ได้ค่าโอเวอร์รัน ร้อยละ 653.2 ความหนาแน่นโฟมเท่ากับ 0.153 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การหดตัวและขับของเหลวออกมาจะเกิดอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น 10 นาทีแรก และค่อยๆ ลดลง หรือถึงระดับที่ไม่มีการไหลของของเหลวออกมาเมื่อมีเวลาการให้ความร้อนต่อไป โฟมที่ไม่มี Methocel จะให้ค่าการแยกตัวของน้ำสูงที่สุด เมื่อความเข้มข้นของ Methocel เพิ่มขึ้น อัตราการขับออกของโฟมลดลง ลักษณะเฉพาะการทำแห้งที่ใช้ Methocel เท่ากับร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก อุณหภูมิโฟมเพิ่มขึ้นเท่ากับ 42 องศาเซลเซียส ในช่วง 10 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ หลังเวลา 40 นาที ทั้งที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิโฟมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อัตราการทำแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสมากกว่าที่ 70 องศาเซลเซียส ในตอนแรกของการให้ความร้อน และค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่ 10 นาที จากนั้นอัตราการแห้งจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาให้ความร้อนเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการแห้งมากกว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส การทำแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งลงได้เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส การประเมินผลิตภัณฑ์ด้านสีจะเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งแบบโฟมแม่กับแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า พงที่ได้จากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะให้ค่า L^* มากกว่าแบบโฟมแม่ ค่า a^* ของวิธีทำแห้งแบบโฟมแม่ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และแบบแช่เยือกแข็ง จากการรวมตัวกับน้ำพบว่าพงจากวิธีทำแห้งแบบโฟม-แม่ ขาดกลิ่นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบแช่เยือกแข็ง โดยเฉพาะถ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

Sankat and Castaigne (2004) ศึกษาวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แม่และแบบลมร้อนใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟม คือ Glyceryl Monostearate (GMS) ความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 1.0 และ 2.0 Soy Protein Isolate (SPI) ความเข้มข้น ร้อยละ 10 Whip Cream ความเข้มข้น ร้อยละ 5 และ 10 และ Gelatin ความเข้มข้น ร้อยละ 3.5 และ 7.0 พบว่า การใช้ Soy Protein Isolate มีผลทำให้ความหนาแน่นลดลงจาก 0.93 เป็น 0.50 กรัมต่อมิลลิตร หลังจากตีโฟมนาน 12 นาที โฟมแข็งขนาดเล็ก ความหนาแน่นต่ำ ทนความร้อน อัตราส่วนความหนาแน่นลดลง เมื่อเวลาและระดับ Soy Protein Isolate เพิ่มขึ้น การใช้ GMS ไม่มีผลต่อการเกิดโฟม การใช้ Whip Cream และ Gelatin ทำให้เกิดโฟมมีขนาดเล็ก ละเอียด ความหนาแน่นต่ำ แต่โฟมที่เกิดจาก Whip Cream และ Gelatin จะเกิดการยุบตัวลงมาจากเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการทำแห้ง และโฟมที่เกิดจาก Gelatin จะเสถียรเวลาอบให้ความร้อนหลังเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โฟมมีความเหนียวที่ด้านนอก แต่ด้านในจะอ่อนซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการทำแห้ง ดังนั้น

Soy Protein Isolate ในการทดลองอื่นๆ ปริมาณความชื้นโพลีเมลดอนเริ่มต้นประมาณ $2.31 \text{ kgH}_2\text{O/kg DM}$ หลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ปริมาณความชื้นโพลีเมลดอนจะลดลงอย่างรวดเร็วเหลือประมาณ $0.1 \text{ kg H}_2\text{O/kg DM}$ ปริมาณความชื้นโพลีเมลดอนเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เวลาที่ให้ความร้อน มีผลสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาของโพลีเมอร์ ค่าคงที่ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 0.248 h^{-1} เป็น 0.809 h^{-1} เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 45 เป็น 90 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจาก 0.62 เป็น 1.03 เมตรต่อวินาทีไม่มีผลต่ออัตราการแห้ง

Rajkumar *et al.* (2007) ศึกษาลักษณะการทำแห้งแบบโพลีเมอร์-เมทริกซ์ของมะม่วง โดยการใช้ Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 15 และ Methyl Cellulose ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ความหนาของโพลีเมอร์ 1 2 และ 3 มิลลิเมตร อุณหภูมิอบแห้ง 60 65 70 และ 75 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้ Egg Albumin ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ Methyl Cellulose ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส ความหนาของโพลีเมอร์ 1 มิลลิเมตร ให้ผลการทำแห้งดีที่สุด ความหนืดเท่ากับ $5.7 \pm 0.06 \text{ Pa.s}$ ความเหนียวเท่ากับ $18.9 \pm 0.1 \text{ g force}$ ค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ $3.66 \pm 0.02 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ เวลาที่ใช้ในการทำแห้งแบบโพลีเมอร์-เมทริกซ์เท่ากับ 35 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำแห้งที่ใช้ความร้อนโดยใช้เวลา 75 นาที สามารถลดระยะเวลาการทำแห้งลงได้ประมาณ 2 เท่า การกระจายตัวของความชื้นเท่ากับ 9.7×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที ดังนั้นการอบแห้งด้วยวิธีโพลีเมอร์-เมทริกซ์เป็นวิธีการที่ประหยัดพลังงานมากกว่าการอบแห้งด้วยความร้อน เนื่องจากการอบแห้งแบบโพลีเมอร์-เมทริกซ์มีอัตราการแห้งมากกว่าจึงใช้เวลาการอบแห้งน้อยกว่า