บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะม่วง

มะม่วง (Mango) มีชื่อในภาษาสันกฤตว่า อัมรา (Amra) หรือ อัมพะ (Amba) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า แมนกิเฟรา อินดิคา (*Mangifera Indica* Linn.) อยู่ในตระกูล *Anacardiaceae* เป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนแถบประเทศอินเดียและพม่า สำหรับในประเทศไทยมะม่วงจัดว่าเป็นผลไม้ที่ปลูกกันอย่างแพร่หลาย ปลูกได้ในทุกสภาวะอากาศ และทุกภาคของประเทศ ดังนั้นจึงจัดว่าเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญ มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีรสเลิศสามารถรับประทานได้ตั้งแต่ใบอ่อน ช่อดอก ผลอ่อน ผลดิบ และผลสุก ซึ่งมีรสชาติแปลกแตกต่างกันออกไป ชาวต่างชาติได้ขนานนามมะม่วงว่า "แอปเปิ้ลของถิ่นร้อน" มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และสามารถดัดแปลงทำเป็นอาหารได้หลายชนิด (นฤมล มานิพพาน 2534)

มะม่วงที่ปลูกในประเทศไทยมีหลากหลายพันธุ์ มีทั้งพันธุ์เก่าดั้งเดิมและพันธุ์ที่มีการปรับปรุงขึ้นมาใหม่ มีรายงานว่ามะม่วงในประเทศไทยมีมากกว่า 200 พันธุ์ ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มด้วยกัน คือพันธุ์มะม่วงรับประทานผลดิบ ได้แก่ พันธุ์เขียวเสวย พิมเสนมัน หนองแซง พันธุ์มะม่วงรับประทานผลสุก ได้แก่ พันธุ์อกร่อง พันธุ์น้ำดอกไม้ ทองคำ หนังกลางวัน และพันธุ์มะม่วงสำหรับแปรรูปทางอุตสาหกรรม ได้แก่ พันธุ์สามพันปี และพันธุ์แก้ว (นฤมล มานิพพาน 2534)

สำหรับองค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของมะม่วงบางสายพันธุ์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของมะม่วงบางสายพันธุ์ต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม

องค์ประกอบทางเคมี	พันธุ์มะม่วงไทย				
	น้ำดอกไม้สีทอง	แรด	แก้ว 007	มหาชนก	โชคอนันต์
ความชื้น (ร้อยละ)	78.70±1.7	81.10±2.8	77.40±1.9	83.40±0.3	82.3±1.8
ปริมาณเยื่อใย (ร้อนละ)	0.60±0.1	0.70±0.1	1.50±0.3	0.60±0.1	0.90±0.1
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	17.20±0.5	17.60±1.6	19.10±1.8	15.8±0.3	16.80±2.4
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริคซ์)	17.70±0.9	18.40±1.4	19.80±1.0	15.8±0.3	16.90±2.6
ปริมาณกรดทั้งหมด(ร้อยละ)	0.20±0.1	0.20±0.0	0.10±0.0	0.10±0.0	0.30±0.1
อัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่อปริมาณกรดทั้งหมด	83.49±4.2	92.50±5.6	174.0±21.8	132.30±26.1	64.1±38.2
อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมารกรดทั้งหมด	85.60±4.0	96.70±7.5	180.80±20.4	132.10±24.2	65.60±39.7
ปริมาณ β-carotene	0.20±0.1	1.70±0.2	4.70±0.9	1.40±0.3	2.40±0.5

ที่มา : เกษม นันทชัย และสมไฉน นาถภากุล (2543)

2.2 มะม่วงโชคอนันต์

มะม่วงโชคอนันต์มีถิ่นกำเนินอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ เป็นมะม่วงในกลุ่มรับประทานสุก ติดผลง่ายโดยจะติดผลบริเวณกิ่ง สามารถทำให้ติดผลนอกฤดูได้ง่ายกว่าพันธุ์อื่น (พันธิตร์ มะลิสุวรรณ 2549) เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ได้จากการกลายพันธุ์ของเมล็ดมะม่วงสามปี จึงยังคงกลิ่นของมะม่วงสามปีเอาไว้ได้ ตลอดจนการติดผลก็คล้ายมะม่วงสามปีคือมีลักษณะเป็นพวง ลักษณะเด่นคือออกดอกทั้งปีและไม่กลัวฝน ผลมีขนาดปานกลางเฉลี่ยยาว 12 เซนติเมตร กว้าง 7.2 เซนติเมตร หนา 6.2 เซนติเมตร (พานิชย์ ยศปัญญา 2544) มีน้ำหนักผลประมาณ 300 กรัม เมล็ดลีบ เสี้ยนน้อย ความหวานสูง รสชาติดี ขนาดผลโตปานกลาง กลมยาว รูปทรงไม่สม่ำเสมอ เปลือกหนา ให้เนื้อแน่น ผลดิบมีสีเขียวเข้ม เมื่อสุกมีสีเหลือง เมื่อแก่เต็มที่มีกลิ่นหอม (เปรมปรี ณ สงขลา 2537) ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกกระทั่งเก็บเกี่ยวประมาณ 110 วัน ผลสามารถเก็บไว้ได้หลายวัน (พันธิตร์ มะลิสุวรรณ 2549)

2.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วง (ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา 2542)

คุณภาพของมะม่วงที่จะนำมาใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับระยะความแก่อ่อนของมะม่วงซึ่งสิ่งที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความแก่อ่อนของผลมะม่วงคือการใช้ลักษณะปรากฏที่เห็นเด่นชัดและองค์ประกอบทางเคมี สำหรับดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วงโดยทั่วๆ ไปแสดงดังต่อไปนี้

2.3.1 การนับจำนวนวัน

การนับจำนวนวันเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการหาระยะความแก่ของผล โดยทั่วไปจะนับจากวันที่ดอกบานร้อยละ 50 บานเต็มที่ หรือจากเริ่มติดผล มะม่วงแต่ละพันธุ์จะมีจำนวนวันดังกล่าวแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามการนับจำนวนวันอาจไม่แน่นอนนักเนื่องจากความแก่ของผลมีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นๆ ด้วย ปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งคืออุณหภูมิของสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิสูงจะทำให้มะม่วงแก่เร็ว ดังนั้นในกรณีการนับจำนวนวันอาจให้ความผิดพลาดได้

2.3.2 การวัดความถ่วงจำเพาะ

เมื่อผลมะม่วงแก่จะเกิดการสะสมสารต่างๆ มากขึ้น เช่น ปริมาณน้ำตาลและคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น ทำให้ผลมะม่วงมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการวัดความแก่ของมะม่วงจึงทำได้โดยวัดความถ่วงจำเพาะของมะม่วงโดยเทียบกับความถ่วงจำเพาะของน้ำ ซึ่งทำได้โดยการสังเกตการจม-ลอยในน้ำ ถ้าพบว่ามะม่วงจมน้ำหรือมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำแสดงว่าผลมะม่วงมีความแก่พอที่จะเก็บเกี่ยวได้

2.3.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณกรด

เมื่อถึงระยะแก่ของผลมะม่วง ผลมะม่วงจะมีอัตราส่วนของปริมาณกรดต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในการชี้บอก ถึงความแก่ของผลได้ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีค่าที่แน่นอนของอัตราส่วนดังกล่าวในการตัดสินเพียงแต่สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบเท่านั้น

2.3.4 ปริมาณแป้ง

ในระหว่างการเจริญเติบโตของผลมะม่วงจะมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นแต่การวิเคราะห์หาปริมาณแป้งดังกล่าวต้องอาศัยเครื่องมือและเวลาในการปฏิบัติมาก ดังนั้น จึงไม่นิยมใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวมะม่วง

2.3.5 ลักษณะภายนอกที่มองเห็น

ลักษณะภายนอกของผลมะม่วงที่สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความแก่ของผลมะม่วงได้เช่น รูปร่างของผล นวลของผล สีของก้าน หรือการดูที่ไหล่ของผล ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ ดังนั้นการใช้ลักษณะดังกล่าวเป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวจึงต้องอาศัยความชำนาญของผู้ดูแลเป็นหลัก

2.4 การเก็บเกี่ยวผลมะม่วง (ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา 2542)

ในการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงโดยทั่วไปควรให้ผลมะม่วงมีการกระทบกระแทกน้อยที่สุดเพื่อป้องกันรอยช้ำหรือแผลที่อาจเกิดขึ้นได้ นอกจากนี้จะต้องระวังไม่ให้ยางของมะม่วงไหลเปื้อนผลด้วย เพราะจะทำให้เกิดรอยตำหนิที่ผลได้ โดยการเก็บให้มีก้านผลติดมาด้วย แล้วคว่ำผลลง เด็ดก้านผลออก ปล่อยให้ยางไหลลงพื้นหญ้า หรือพื้นกระสอบป่านจนแห้งจึงขนย้าย

ดังนั้นการเก็บผลมะม่วงด้วยมือจึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดแต่ถ้าต้นมะม่วงมีความสูงมากอาจต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการเก็บ โดยการตัดขั้วของผลแล้วนำมาเด็ดก้านออกตามวิธีข้างต้น นอกจากนี้การเก็บมะม่วงไม่ควรเก็บในช่วงเช้าของวันเนื่องจากจะมีน้ำยางออกมามากอาจทำให้เกิดความเสียหายดังกล่าวได้

2.5 การคัดขนาดและการบ่มมะม่วง (ชูทวีป ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา 2542)

หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจำเป็นต้องคัดขนาดเพื่อให้ได้ขนาดผลตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังต้องมีการกำจัดเชื้อโรคราโดยการแช่ในสารละลายน้ำยาเบนเลทเข้มข้นร้อยละ 0.5 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาวางผึ่งลมให้แห้ง

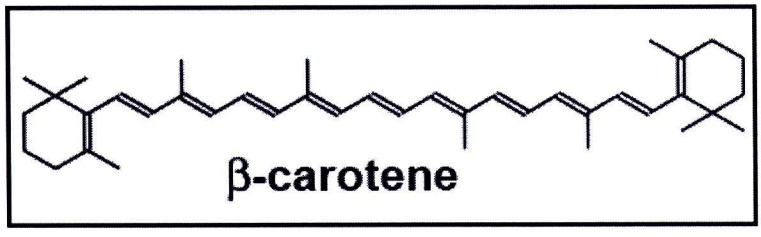
เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ที่ไม่นิยมปล่อยให้สุกบนต้น เนื่องจากมะม่วงที่สุกบนต้นจะมีรสชาติ กลิ่น และคุณภาพต่ำกว่ามะม่วงที่เก็บเกี่ยวขณะแก่จัดแล้วบ่มให้สุกภายหลัง นอกจากนั้นการเก็บเกี่ยวผลมะม่วงขณะเริ่มสุกหรือขณะผลสุกบนต้น จะทำให้ผลช้ำและมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง

ในการบ่มมะม่วงโดยทั่วไปจะใช้การคลุมด้วยฟางแห้ง ใบไม้แห้ง หรือวัสดุแห้งที่สามารถเก็บรักษาความร้อนได้ เช่น กระสอบป่าน เป็นต้น เพื่อช่วยให้กระบวนการการสุกของมะม่วงเกิดได้ดีขึ้น หรืออาจแช่ในน้ำอุ่น อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที แล้วทำให้แห้งได้เช่นกัน การบ่มมะม่วงในปัจจุบันอาจใช้ก๊าซอะเซธิลีนที่เกิดจากแคลเซี่ยมคาร์ไบด์เพื่อช่วยเร่งกระบวนการสุกของมะม่วง แต่รสชาติที่ได้ต่ำกว่ามะม่วงที่บ่มให้สุกได้ตามธรรมชาติ

2.6 สารสำคัญที่พบในมะม่วง

2.6.1 เบต้าแคโรทีน (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2551)

เบต้าแคโรทีน เป็นชื่อเรียกทางเคมีของสารชนิดหนึ่ง ที่ถูกค้นพบในพืช หลายชนิด และพบมากในพืชที่มีสีเหลือง และ สีส้มซึ่งเมื่อรับประทานเข้าไปในร่างกาย ตับ (liver) จะทำหน้าที่เปลี่ยนโมเลกุลของเบต้าแคโรทีนให้กลายเป็น วิตามิน เอ (Vitamin A) และสำหรับเบต้าแคโรทีน 1 โมเลกุล จะสามารถให้ วิตามิน เอ 2 โมเลกุล สำหรับโครงสร้างของเบต้าแคโรทีน แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างเบต้าแคโรทีน

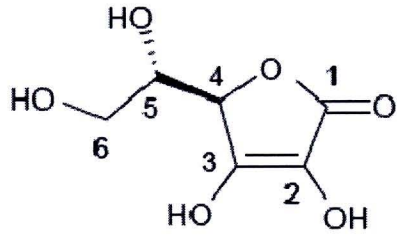
ที่มา : Siems and others (2005)

เบต้าแคโรทีนมีประโยชน์หลายประการเช่น ช่วยดูแลรักษาผิวพรรณให้ผ่องใส ลดความเสี่ยงต่อภาวะมะเร็ง ทั้งยังพบว่าเบต้าแคโรทีนให้ผลกระตุ้นเซลล์ภูมิต้านทานในร่างกายที่ชื่อ ที-เฮลเปอร์ให้ทำงานต้านสิ่ง

แปลกปลอมได้ดีขึ้น ให้ผลดีกับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อมะเร็ง ช่วยบำรุงสุขภาพของดวงตาโดยเบต้าแคโรทีนเมื่อโดนย่อยสลายที่ตับจะได้วิตามินเอ ซึ่งร่างกายนำไปใช้สร้างสารโรดอปซินในดวงตาส่วนเรตินา ทำให้ตามีความสามารถในการมองเห็นในตอนกลางคืนได้ และยังลดความเสื่อมของเซลล์ของลูกตา ลดความเสี่ยงต่อการเป็นต้อกระจกด้วย นอกจากนี้เบต้าแคโรทีน ยังช่วยชะลอความแก่โดยเบต้าแคโรทีนให้ผลในการลดความเสื่อมของเซลล์จากอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดกระบวนการแก่

2.6.2 กรดแอสคอร์บิค (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2551)

กรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) หรือวิตามินซี เป็นสารอาหารที่ละลายได้ในน้ำ ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากการรับประทานเข้าไป วิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ช่วยเพิ่มภูมิชีวิตได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถป้องกันและรักษาการอักเสบอันเนื่องมาจากแบคทีเรียและไวรัสได้ สำหรับโครงสร้างของวิตามินซี แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างวิตามินซี

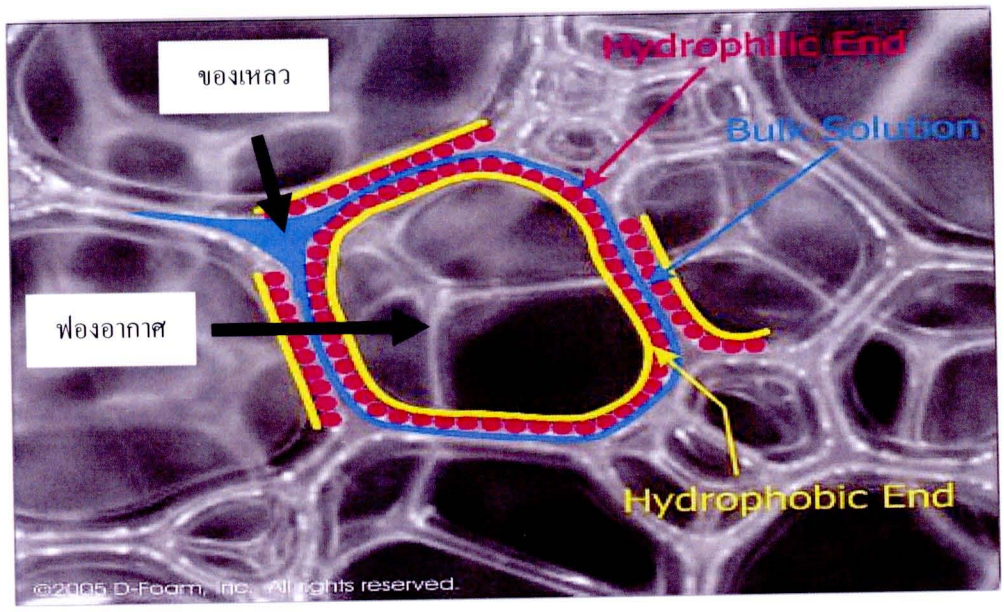
ที่มา : Hao and others (2006)

ประโยชน์ของวิตามินซีมีหลายประการเช่นเป็นตัวสร้างคอลลาเจน ซึ่งเป็นเส้นใยทำหน้าที่เชื่อมเนื้อเยื่อต่างๆไว้ด้วยกัน ทั้งยังเป็นตัวสร้างกระดูก ฟัน เหงือก และเส้นเลือด ช่วยให้แผลสดและแผลไฟไหม้หายเร็วขึ้น ช่วยให้การดูดซึมธาตุเหล็กดีขึ้น ซึ่งเป็นการสร้างเม็ดเลือดทางอ้อม ช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ (mutation) ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดโรคนอนหลับตายในกรณีเด็กอ่อน (SIDS: Sudden Infant Death Syndrome) ช่วยแก้โรคเลือดออกตามไรฟัน ช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด และช่วยคลายเครียดเป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการฉีดด้วยวิตามินซี อาจช่วยหยุดยั้งโรคมะเร็งได้ โดยวิตามินอาจเข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีในเซลล์ มะเร็งให้กลายเป็นกรดขึ้น ทำให้เนื้อร้ายชะงักและน้ำหนักลดไปได้

2.7 โฟมและการเกิดโฟม

โฟมเป็นระบบคอลลอย์ชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยก๊าซหรือก๊าซผสมกระจายตัวอยู่ในของเหลวที่มีความหนืดสูง ฟองอากาศเล็กๆจะถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มบางๆ ของของเหลว การทำให้เกิดโฟม หรือการทำให้อากาศสามารถกระจายตัวเป็นฟองเล็กๆอยู่ในของเหลว นั้นทำได้โดยการใช้เครื่องตี หรือปั่นในเครื่องปั่นไฟฟ้า (electric mixer) ซึ่ง เครื่องมือเหล่านี้ได้ออกแบบขึ้นเพื่อทำให้ฟองอากาศแทรกตัวเข้าไปอยู่ในของเหลวได้มากที่สุดและเร็ว

ที่สุด รอยต่อระหว่างผิว (interface) ของอนุภาคอากาศและของเหลวในโฟมจะมีลักษณะเหมือนกับรอยต่อระหว่างผิวของของเหลวสองชนิดในอิมัลชัน ฟองอากาศเล็กๆ จะถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มบางๆของของเหลว ผิวของของเหลวที่ล้อมรอบฟองอากาศขยายตัวได้เมื่อถูกความร้อน ซึ่งทำให้โฟมไม่ค่อยคงตัว ดังนั้นจึงต้องอาศัยสารทำให้เกิดโฟม (foaming agent) ช่วย เพื่อให้ได้โฟมที่คงตัวมากขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2534) ภาพที่ 3 แสดงลักษณะการอยู่ร่วมกันระหว่างของเหลวและอากาศในระบบโฟม



ภาพที่ 3 การอยู่ร่วมกันของของเหลวและอากาศใน โฟม

ที่มา: D-Foam, Incorporated (2010)

ในการทำให้เกิดฟองภายในเนื้ออาหารหรือทำให้เกิดโฟมนั้น พบว่า อาหารบางชนิดไม่สามารถเกิดโฟมได้แม้จะใช้วิธีการทางเชิงกลเข้าช่วย เช่น การกวน การตีปั่น แล้วก็ตาม หรือบางชนิดเกิดโฟมได้แต่โฟมไม่อยู่ตัว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สารเคมีเข้าช่วยนั่นคือ สารช่วยให้เกิดฟอง (foaming agent) หรือสารช่วยให้ฟองคงตัว (stabilizer) นั่นเอง

2.8 กลไกของการทำให้เกิดโฟม (สมบัติ ขอทวีวัฒนา 2529)

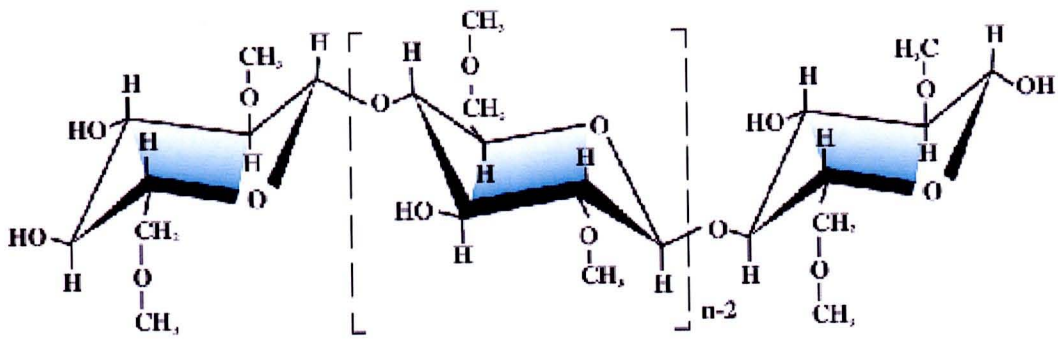
กลไกของการเกิดโฟมในของเหลวนั้น จะเกี่ยวข้องกับแรงตึงผิว (surface tension) ทั้งนี้เพราะโดยปกติเมื่อฟองอากาศในของเหลวลอยตัวขึ้นสู่ผิวแล้วฟองอากาศมักจะแตกออก ดังนั้นถ้าหากต้องการรักษาสภาพของฟองอากาศให้คงอยู่ที่ผิวของของเหลวได้ จะต้องเปลี่ยนค่าแรงตึงผิวของของเหลวที่อยู่รอบๆ ฟองอากาศ ดังนั้นความคงทนของฟองอากาศในของเหลว (โฟม) จะเกิดขึ้นได้เมื่อฟิล์มของของเหลวมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากขึ้นซึ่งจะช่วยให้ฟองอากาศแตกตัวได้ยากขึ้น ดังนั้นสารช่วยให้เกิดฟอง (foaming agent) จึงจะไปลดค่าแรงตึงผิวของของเหลวอย่างรวดเร็วและสามารถสร้างฟิมล์ที่มีความยืดหยุ่น (viscoelastic film)รอบๆ ฟองอากาศซึ่งสามารถต้านทานการยุบตัวหรือแตกตัวของฟองอากาศได้ดี (Dickinson 1992)

2.9 สารช่วยทำให้เกิดโฟมและช่วยให้โฟมคงตัว (วิริยา พรมกอง 2552)

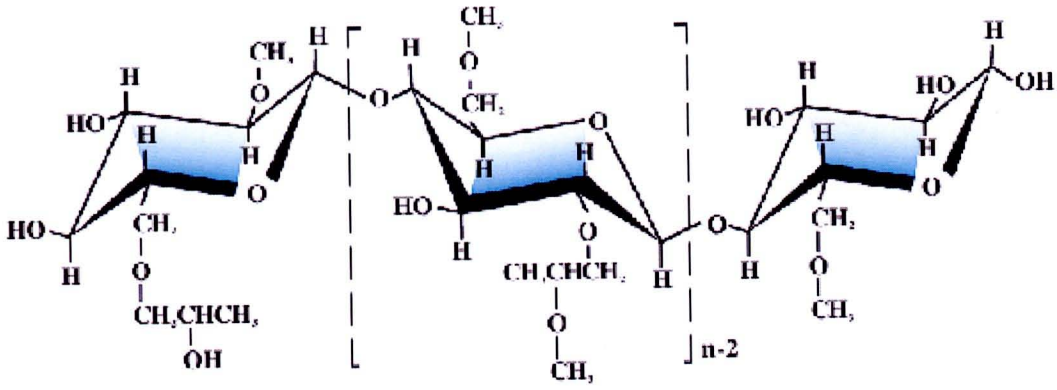
เป็นสารประกอบที่ช่วยทำให้เกิดสภาพโฟมขึ้นภายในของเหลวขณะเดียวกันยังช่วยรักษาสภาพโฟมไว้ให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่แตกหรือแยกออก ซึ่งสารเหล่านี้เมื่อเติมลงในของเหลวจะทำให้ของเหลวนั้นอุ้มอากาศไว้ภายในได้มากขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการตีปั่นเติมอากาศเข้าไปจึงเกิดสภาพเป็นโฟมขึ้นมา ปกติโมเลกุลของสารช่วยทำให้เกิดโฟมนั้นประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic part) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic part) โดยส่วนที่ชอบน้ำจะเป็นอนุมูลอิสระที่มีประจุอยู่เช่น OH^-, COO^-, HN_2^+ และ N^+ เป็นต้น ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำจะเป็นพวกอนุมูลอิสระที่มีพันธะคาร์บอนอะตอมที่ยาวๆ (aliphatic carbon chain)

เมทโทเซล® เป็นสารที่ช่วยให้โฟมเกิดความคงตัวที่ดี โดย บริษัท Dow Chemical (2010) ซึ่งเป็นผู้ผลิตเมทโทเซล® ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้คำจำกัดความว่า เมทโทเซล® เป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมและช่วยให้โฟมเกิดความคงตัวชนิดหนึ่ง โดยมีสายพอลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเคมีหลัก ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา มีลักษณะเป็นผงมีความบริสุทธิ์สูง และให้พลังงานต่ำ ไม่ให้กลิ่นรสกับอาหารที่ถูกเติมลงไปและใช้ในปริมาณน้อยเท่านั้น เมทโทเซล® มีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (binders) สารช่วยให้เกิดการแขวนลอย (suspension agent) สารช่วยให้อีมัลชันคงตัว (emulsifier) สเตบิไลเซอร์(stabilizer) และสารป้องกันไม่ให้สารแขวนลอยแยกตัว (protective colloid) นอกจากนั้นยังแสดงคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่น รักษาความชื้นให้กับอาหาร ที่สำคัญคือ เมทโทเซล® มีคุณสมบัติเป็นเจล ที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ สามารถทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดโฟมขึ้นในอาหาร เมทโทเซล®สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ methylcellulose (MC) และ hydroxypropyl methycellulose (HPMC) โดยโครงสร้างทางเคมีของ เมทโทเซล® ทั้ง 2 ชนิดแสดงในภาพที่ 4

ความแตกต่างของเมทโทเซล®ชนิดต่างๆเกิดจากการแปรผันในสัดส่วนของหมู่แทนที่ที่เป็น hydroxypropyl กับ methoxyl ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวนี้จะให้ความสามารถในการละลาย ความหนืดและอุณหภูมิการเกิดเจล (thermal gel point) ของสารละลายเมทโทเซล®แตกต่างกันออกไป



A

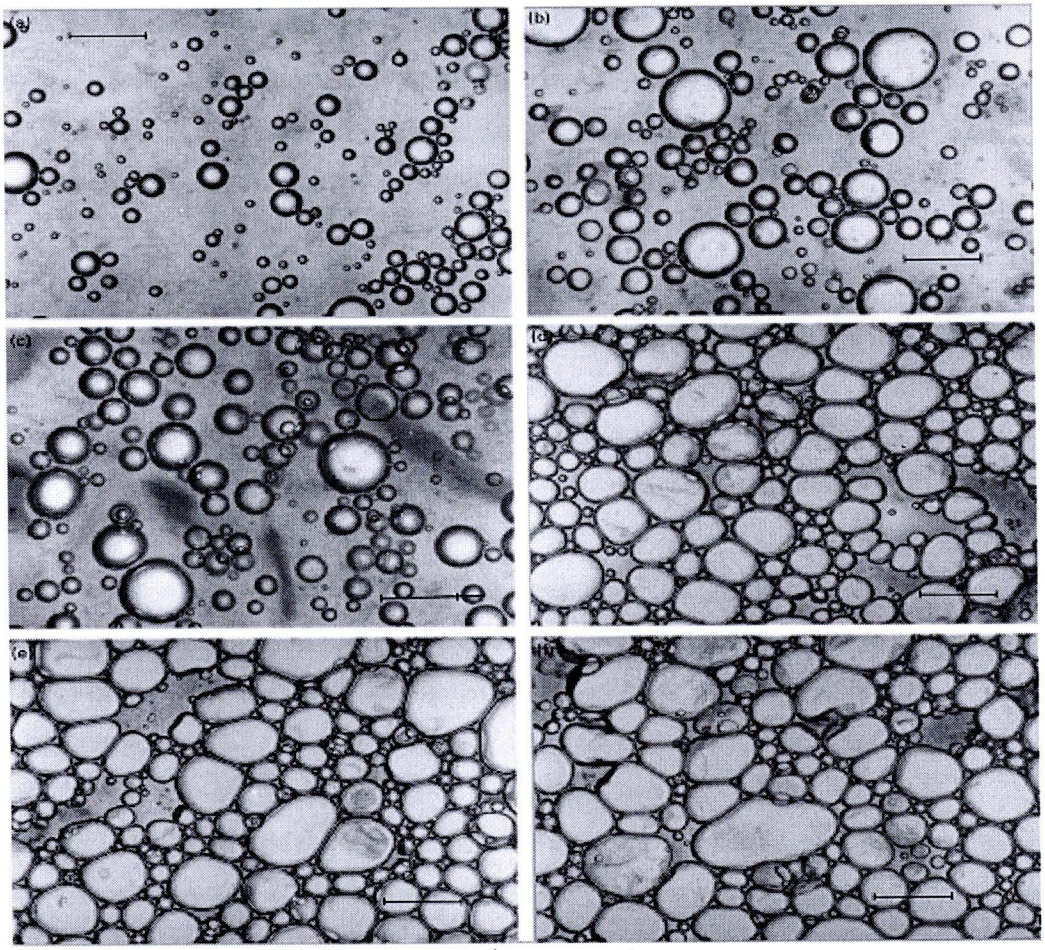


B

ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของเมทโทเซล® ชนิด (A) methylcellulose และ ชนิด (B) hydroxypropyl methycellulose

ที่มา : Dow Chemical Company (2010)

Karim and Wai (1999) ได้ศึกษาผลของปริมาณ methylcellulose (Methocel 65HG) ต่อลักษณะของฟองอากาศในโฟมเนื้อมะเฟืองบด ซึ่งพบว่าฟองอากาศแต่ละฟองในโฟมจะมีแผ่นฟิมล์รอบๆผิวของมันเอง (own interfacial film) (ภาพที่ 5) ที่ระดับของ methylcellulose ต่ำกว่าร้อยละ 0.3 ฟองอากาศจะมีลักษณะกลม (round) และแยกจากกันอย่างเด่นชัด (ภาพที่ 5) เมื่อความเข้มข้นของสารดังกล่าวเพิ่มขึ้นฟองอากาศจะเข้ามาใกล้ชิดกันและมีการสัมผัสกันตรงบริเวณผิวทำให้ฟองอากาศบางฟองไม่สามารถรักษาลักษณะทรงกลมไว้ได้แต่ฟองอากาศจะยืดตัวยาวออก (elongated) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแรงที่ส่งมาจากฟองอากาศที่อยู่ติดกัน (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ลักษณะรูปร่างของฟองอากาศในโฟมเนื้อมะเฟืองบดที่เติมสาร methylcellulose ในปริมาณต่างๆกัน โดย ใช้เวลาตีปั่น 4 นาทีที่ 30 องศาเซลเซียส (a) ไม่เติม (b) ร้อยละ 0.1 (c) ร้อยละ 0.2 (d) ร้อยละ 0.3 (e) ร้อยละ 0.4 (F) ร้อยละ 0.5

ที่มา : Karim and Wai (1999)

2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ไพโรจน์ วิรินจารี 2547)

ในการตีส่วนผสมด้วยเครื่องตีความเร็วสูง เช่น เครื่องตี (mixer) ของบริษัท Hobart เพื่อให้ได้โฟมที่มีความหนาแน่นน้อยและมีความคงตัว จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร อาหารบางชนิดมีสารก่อให้เกิดโฟมอยู่ด้วยตามธรรมชาติ เช่น น้ำสับปะรด ประกอบด้วยสาร galactomannans ซึ่งมีสมบัติทำให้เกิดโฟมที่คงทน จึงไม่ต้องเติมสารก่อให้เกิดโฟม ก็สามารถเกิดโฟมที่คงตัวได้จากการตีส่วนผสม ขณะที่น้ำเสาวรสไม่มีสารก่อให้เกิดโฟม จึงจำเป็นต้องเติมทั้งสารก่อให้เกิดโฟมและสารเพิ่มความคงตัว

2. ปริมาณของสารที่ละลายได้ทั้งหมด อาหารที่มีสารละลายได้ทั้งหมด มากโฟมที่ได้จะมีค่าความหนาแน่นน้อย ส่งผลให้โฟมมีความคงตัวระหว่างการทำแห้งได้มาก

3. ปริมาณของเนื้ออาหาร น้ำผลไม้ที่มีเนื้อผลไม้ปนมาด้วยจะมีผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อความคงตัวของโฟมระหว่างการทำแห้ง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4. ชนิดของสารช่วยทำให้เกิดโฟม สารช่วยทำให้เกิดโฟมมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีสมบัติและวิธีการใช้ที่แตกต่างกันออกไป

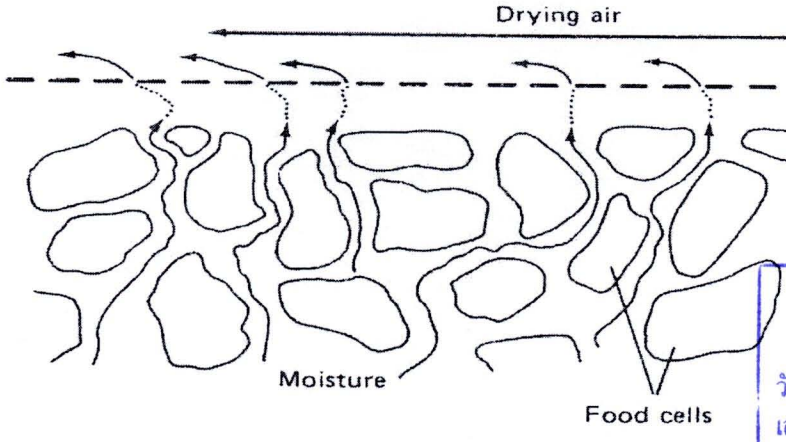
5. ชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวของโฟม การเลือกใช้ชนิดของสารเพิ่มความคงตัวของโฟมและความเข้มข้นเท่าไรจึงจะได้โฟมที่คงตัวระหว่างการทำแห้งย่อมแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร

2.11 การทำแห้งอาหาร (นิธิยา รัตนปนนท์ 2544)

การทำแห้ง เป็นการให้ความร้อนแก่อาหารระดับหนึ่ง เพื่อไล่เอาน้ำออกจากอาหารให้เหลืออยู่ในปริมาณน้อยที่สุด การทำแห้งทำได้หลายวิธี เช่น การตากแดด (sun drying) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar drying) การทำแห้งในตู้อบแบบใช้ลมร้อน (hot air drier) ตู้ทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum shelf drier) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งระเหิดแห้ง (freeze drying หรือ sublimation) เป็นต้น ซึ่งอาหารแห้งที่ได้จะมีปริมาณน้ำหรือความชื้นประมาณร้อยละ 2-3 ทำให้ลดค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ในอาหารให้ต่ำลงด้วย จึงทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น เพราะเมื่ออาหารมีน้ำหรือค่า a_w ลดลงจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และ กิจกรรมของเอนไซม์ได้ นอกจากนี้การทำแห้งยังช่วยลดน้ำหนักของอาหาร ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง อาหารแห้งบางชนิดยังสามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้อง

2.12 กลไกการทำแห้งด้วยลมร้อน (นิธิยา รัตนปนนท์ 2544)

เมื่ออากาศร้อนถูกเป่าลงบนชิ้นอาหารที่เปียกชื้น ความร้อนจากอากาศจะถูกถ่ายโอนไปที่ผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำที่ผิวอาหารระเหยกลายเป็นไอน้ำ จากนั้นน้ำที่อยู่ภายในชิ้นอาหารจะเคลื่อนออกมาที่ผิวหน้าของอาหาร โดยกลไกที่สำคัญ 2 กลไกได้แก่ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านช่องว่างเล็กๆ ระหว่างเซลล์ของอาหาร (capillary force) และการแพร่ของน้ำ (diffusion) เนื่องจากความแตกต่างของความดันไอของน้ำภายในชิ้นอาหารและผิวของอาหาร สำหรับรูปที่ 6 แสดงถึงกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากอาหารระหว่างการทำแห้งด้วยลมร้อน



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 13 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 249730
เลขเรียกหนังสือ

ภาพที่ 6 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการทำแห้ง

ที่มา : Fellows (2000)

2.13 อัตราการทำแห้ง (Drying rate) (สมบัติ ขอทวีวัฒนา 2529)

อัตราการทำแห้ง เป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อเวลาและหรือต่อพื้นที่ โดยทั่วไปพบว่า การทำแห้งจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง (ภาพที่ 7) ได้แก่

1.ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ หรือช่วงการปรับตัว (preheating period)

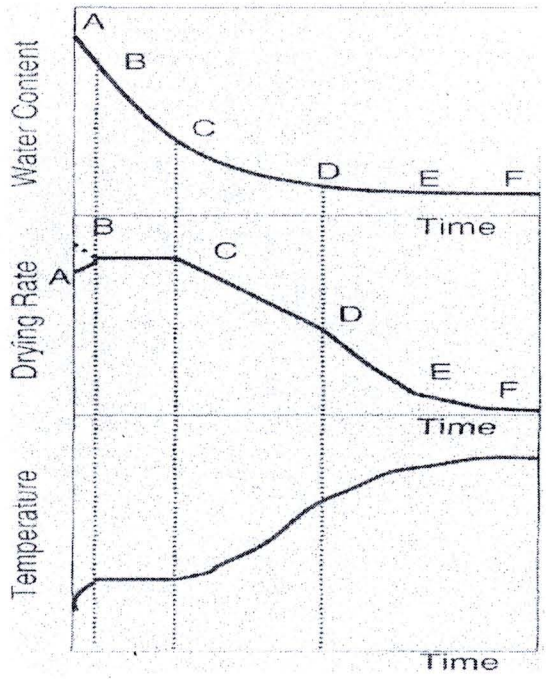
2.ช่วงการทำแห้งที่อัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period)

3.ช่วงการทำแห้งที่อัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period)

ในการทำแห้งวัสดุใดๆด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่นั้น พบว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้คือ อุณหภูมิของวัสดุขณะทำแห้งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิหนึ่งและจะเริ่มคงที่ที่อุณหภูมินี้เรียกช่วงนี้ว่าช่วง การให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุหรือช่วงการปรับตัว หลังจากนั้นอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างการทำแห้งจะคงที่อยู่ระยะหนึ่งจากนั้นจึงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในบางกรณีอาจจะขึ้นไปใกล้เคียงอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งดังแสดงในภาพที่ 7

การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในวัสดุที่อยู่ในระหว่างการทำแห้งและความชื้นที่ระเหยออกไปจากอาหารจะเป็นไปตามขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 7 ในตอนแรกความชื้นจะระเหยออกจากวัสดุน้อย ความชื้นภายในวัสดุจึงค่อยๆ ลดลง (ช่วง A-B) ต่อมาความชื้นจะระเหยออกจากอาหารอย่างรวดเร็วและเป็นอัตราที่คงที่ (ช่วงB-C) ทำให้ความชื้นภายในวัสดุเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงที่อัตราการทำแห้งคงที่ ในช่วงการปรับตัวและช่วงอัตราการทำแห้งคงที่จะเป็นการระเหยของน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุ ซึ่งความร้อนจากลมร้อนจะถูกถ่ายโอนให้กับน้ำโดยตรง และน้ำที่ระเหยออกมาก็จะถูกลมร้อนพัดพาจากผิวหน้าไปเรื่อยๆ เมื่อการทำแห้งดำเนินไปพอสมควรความชื้นจะระเหยออกจากอาหารได้ช้าอีกครั้งหนึ่งและจะช้าลงอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่ผิวหน้าวัสดุระเหยไปหมดแล้ว เหลือแต่น้ำภายในที่อยู่ลึกเข้าไปในวัสดุ หรือห่างไกลจากลมร้อนซึ่งไม่สามารถสัมผัสกันโดยตรงได้ ความร้อนต้องส่งผ่านผิวหน้าของวัสดุลงไปจนถึงบริเวณภายในอาหารที่มีน้ำอยู่ ดังนั้นจึงทำให้ใช้เวลามากขึ้นและความชื้นภายในอาหารเมื่อกลายเป็นไอก็ต้องเดินทางผ่านชั้นของวัสดุมายังผิวหน้า ดังนั้นช่วงนี้อัตราการทำแห้งจึงช้ามาก เรียกช่วงนี้ว่าอัตราการทำแห้งลดลง ซึ่งมีสองช่วงคือ ช่วง C-D และ D-E ส่วนที่จุด F นั้นเป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเริ่มคงที่และจะไม่ลดลงอีกแล้ว และอัตราการทำแห้งเริ่มเป็นศูนย์ ความชื้นของอาหารเมื่ออัตราการทำแห้งเป็นศูนย์เรียก ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture constant)

ในการทำแห้งทั่วๆไปนั้น พบว่าช่วงแรกของการทำแห้งนั้นมักจะใช้เวลาสั้นมาก เมื่อเทียบกับช่วงที่ 2 และ 3 โดยเฉพาะถ้าเลือกเครื่องทำแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้สูงๆ เช่น เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized bed dryer) ช่วงที่ 1 จะสั้นมากจนไม่ต้องนำมาพิจารณา



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความชื้น อัตราการทำแห้งและอุณหภูมิในอาหารชนิดหนึ่งๆระหว่างการทำแห้งด้วยลมร้อน

ที่มา : Gustavo and Humberto (1996)

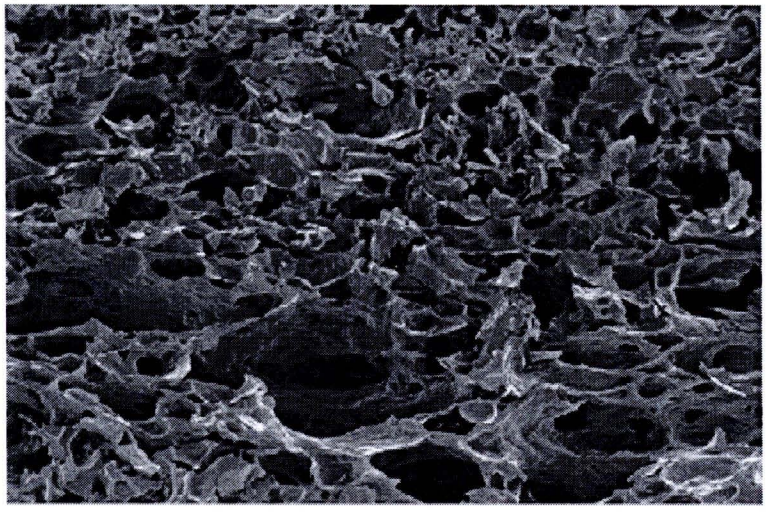
2.14 หลักการทำแห้งแบบ โฟม-แมท

กระบวนการทำแห้งแบบโฟม (foam-mat drying) เป็นกระบวนการซึ่งอาหารที่เป็นของเหลวหรือกึ่งแข็ง-กึ่งเหลวถูกทำให้เกิดเป็นโฟมที่คงตัวโดยการตีปั่นอากาศเข้าไปในอาหารร่วมกับการเติมสารที่ทำให้เกิดโฟม จากนั้นนำโฟมของอาหารที่คงตัวเกลี่ยเป็นชั้นบางและนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน การที่อาหารมีลักษณะที่เป็นโฟมจะช่วยทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการทำแห้ง ดังนั้นผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จึงมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและบดเป็นผงแห้งได้ง่ายรวมทั้งสามารถดูดน้ำกลับคืน (rehydration) ได้เร็ว (Thuwapanichayanan and others 2008)

ดังนั้นการทำแห้งแบบโฟม จำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับอาหารที่จะสัมผัสกับอากาศร้อน ซึ่งจะทำให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้น ดังนั้นการทำให้อากาศกระจายตัวเป็นฟองอยู่ภายในเนื้ออาหารและเกิดเป็นโฟมที่คงตัว จากนั้นเมื่อเกลี่ยโฟมให้เป็นแผ่นบางแล้ว สัมผัสกับอากาศร้อนจะทำให้น้ำระเหยออกไปจากโฟมอาหารได้อย่างรวดเร็ว การควบคุมความหนาของแผ่นโฟมอาหารประมาณ 2-3 มิลลิเมตร จะทำให้โฟมของอาหารแห้งได้ภายในเวลา 10-20 นาที โดยใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก (สมบัติ ขอทวีวัฒนา 2529)

Bates (1964) ได้สรุปปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทำแห้งแบบโฟมของน้ำผลไม้เมืองร้อน ซึ่งได้แก่ ธรรมชาติของผลไม้ (ปริมาณของของแข็งที่ละลายได้) ชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้เกิดโฟม ชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้โฟมคง อุณภูมิและเวลาในการตีปั่นให้เกิดโฟม

Thuwapanichayanan and others (2008) ได้แสดงให้เห็นว่าโฟมเนื้อกล้วยหลังการทำแห้งจะมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โครงสร้างของโฟมเนื้อกล้วยหลังจากทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และมีความชื้น 0.03 kg/kg db (โฟมสดมีความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความหนา 5 มิลลิเมตร)
ที่มา : ดัดแปลงจาก Thuwapanichayanan and others (2008)

2.15 ข้อดีของกระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมท (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ไพโรจน์ วิรินจารี 2547)

1.ใช้ได้ดีกับอาหารเหลวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่สูงโดยยังสามารถรักษาสีและกลิ่นไว้ได้ ขณะที่กระบวนการทำแห้งอื่นๆ เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) ไม่สามารถทำได้

2.เป็นการทำแห้งที่ใช้ระยะเวลาทำแห้งน้อยมากน้อยกว่ากระบวนการทำแห้งอื่นๆส่งผลให้ค่าใช้ จ่ายในการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น

3.คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ สามารถรักษาสี กลิ่น และความสามารถในการคืนรูปไว้ได้ดีกว่า การทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบอื่นๆ และมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

4.ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผง น้ำหนักเบา และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำ

2.16 แบบจำลองการทำแห้งอาหารแบบโฟม

โดยทั่วไปแล้วการทำแห้งแบบโฟมมักเกิดขึ้นในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) (Thuwapanichayanan and others 2008, Rajkumar and others 2007b) ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือสมการที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของการทำแห้งแบบโฟมมักเป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า

ความชื้นของอาหาร (%db) และเวลาในการทำแห้ง โดยสมมุติให้ค่าความชื้นสมดุลของอาหารที่สภาวะการทำแห้งต่างๆเป็นศูนย์ (วิริยา พรมกองและคณะ 2552) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt) \quad (1)$$

เมื่อ M คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

M_0 คือ ความชื้นที่เริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

M_e คือ ความชื้นสมดุลที่สภาวะการทำแห้งหนึ่งๆซึ่งสมมุติว่าเป็นศูนย์

t คือ เวลาในการทำแห้ง (นาที)

k คือ ค่าคงที่ของอัตราการทำแห้ง (นาที$^{-1}$)

MR คือ อัตราส่วนความชื้น

เมื่อแทนค่า Me เป็นศูนย์ สมการที่ (1) จะลดรูปเหลือเพียง

$$MR = \frac{M}{M_0} = \exp(-kt) \quad (2)$$

โดยทั่วไปแล้วปัจจัยการผลิต เช่น อัตราเร็วของลมร้อน อุณหภูมิในการทำแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน ชนิดของวัสดุ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ ต่างก็มีผลต่ออัตราการทำแห้งทั้งสิ้น ซึ่งการแปรปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อค่าคงที่ของอัตราการทำแห้ง (k) ที่ปรากฏอยู่ในสมการ ดังนั้นจึงพบว่าแบบจำลองประเภทนี้จะสามารถประยุกต์ใช้ได้กับวัสดุอาหารชนิดต่างๆ โดยไม่ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของตัวอย่าง เช่น Newton Model ซึ่งกำหนดให้ค่าความชื้นสมดุลที่สภาวะการทำแห้งเป็นศูนย์สามารถใช้อธิบายการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงของผักผลไม้ที่ตัดเป็นแผ่นบางรวมทั้งโฟมของน้ำผักและน้ำผลไม้ที่เกลี่ยเป็นแผ่นบางได้ดี (Rojanakorn 2004) Phongchandang and Woods (2000) กล่าวว่าการกำหนดให้ค่าความชื้นสมดุลเป็นศูนย์ยังคงทำให้การ fit ข้อมูลการทำแห้งผักผลไม้ที่มีความชื้นสูงกับสมการที่ (1) เป็นไปอย่างถูกต้อง

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในระหว่างทำแห้งกับค่าคงที่ของอัตราการทำแห้งสามารถแสดงได้โดยใช้ความสัมพันธุ์ของ Arrhenius ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$k = k_0 \exp(\frac{-Ea}{R.T}) \quad (3)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของอัตราการทำแห้ง (รอบต่อวินาที)

k_0 คือ ค่าพารามิเตอร์ของสมการ

E_a คือ ค่าพลังงานกระตุ้น (จูลต่อโมล)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 จูลต่อโมล)

T คือ ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ (เควิน)

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในระหว่างการทำแห้งแบบโฟมนั้นสามารถหาได้จากสมการการแพร่ของ Fick's สำหรับวัตถุแผ่นบางตามสมการที่ (4) (Thuwapanichayanan and others 2008, Rajkumar and others 2007)

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \quad (4)$$

เมื่อ M คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

M_0 คือ ความชื้นที่เริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

M_e คือ ความชื้นสมดุลที่สภาวะการทำแห้งหนึ่งๆซึ่งสมมุติว่าเป็นศูนย์

t คือ เวลาในการทำแห้ง (นาที)

D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (Effective moisture diffusivity) (ตารางเมตรต่อวินาที)

L คือ ครึ่งหนึ่งของความหนาโฟม (เมตร)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ กับอุณหภูมิของลมร้อน หาได้จาก Arrhenius equation ดังในนี้ (Thuwapanichayanan and others 2008, Rajkumar and others 2007b)

$$D = D_0 \exp(\frac{-Ea}{R.T}) \quad (5)$$

เมื่อ D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (ตารางเมตรต่อวินาที)

D_0 คือ ค่าพารามิเตอร์ของสมการ

E_a คือ ค่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ของน้ำ (จูลต่อโมล)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 จูลต่อโมล)

T คือ อุณหภูมิสมบูรณ์ (เควิน)

2.17 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเมื่อทำแห้งด้วยลมร้อน (สมบัติ ขอทวีวัฒนา 2529)

การทำแห้งอาหาร (food drying) เป็นกระบวนการลดความชื้น (dewatering) ที่มีอยู่ในอาหาร โดยการใช้ความร้อนเปลี่ยนโมเลกุลน้ำให้กลายเป็นไอ หรือการเปลี่ยนโมเลกุลน้ำในสภาพของเหลวให้กลายเป็นของแข็งเสียก่อนจากนั้นจึงระเหิดให้กลายเป็นไอ การทำแห้งเป็นการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ลดลงทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตามการทำแห้งอาหารอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับอาหารดังนี้

1. การเกิดเปลือกแข็งที่ผิวของอาหาร (case hardening)

อาหารที่มีแป้ง และโปรตีนที่ละลายได้ หรือมีสารที่ทำให้เกิดเจลในปริมาณสูง เมื่อการทำแห้งเป็น

เวลานาน ความร้อนจะทำให้น้ำในเซลล์อาหารลดลง ผลที่ตามมาคือ สารพวกแป้ง โปรตีน หรือสารที่ทำให้เกิดเจล จะเกิดการจับตัวเป็นก้อนแข็ง ทำให้น้ำซึมผ่านตามรูของอาหารได้ยากขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า "case hardening" ซึ่งจะทำให้การทำแห้งอาหารเกิดได้ไม่ดี และภายในอาหารยังคงเหลือน้ำในปริมาณมาก การเกิดเปลือกแข็งที่ผิวของอาหารจะมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง องค์ประกอบของอาหารที่ใช้ในการทำแห้ง เป็นต้น ซึ่งการป้องกันปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจจะทำได้โดยควบคุมอุณหภูมิของการทำแห้งไม่ให้สูงเกินไป

2. การสูญเสียวิตามิน

ในระหว่างการทำแห้งจะเกิดการสลายตัวของสารอาหารบางชนิด โดยเฉพาะการสูญเสียวิตามิน เนื่องจากความร้อน นอกจากนั้นแล้ว การทำแห้งจะทำให้เกิดการสูญเสียของสารที่ระเหยได้ (volatile compounds)

3. การหดตัวที่ทำให้โครงสร้างเสียหาย (shrinkage)

โดยธรรมชาติเซลล์ในอาหารจะอยู่ในลักษณะเต่งตึง (turgor) เสมอและผนังเซลล์จะมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นได้ ซึ่งผนังเซลล์จะมีความต้านทานต่อแรง หรือการยืดตัวได้ขนาดหนึ่ง ถ้าเกินความสามารถที่มันจะรับได้ก็จะทำให้ผนังเซลล์แตกทำให้เซลล์เกิดการผิดรูปไป (deformation) ในกระบวนการทำแห้งอาหารนั้นเมื่อน้ำระเหยออกไปจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในอาหาร ซึ่งผิวของอาหารจะพยายามเข้าไปแทนที่ช่องว่างเหล่านั้นทำให้ลักษณะเซลล์เกิดการหดตัว

4. การเกิดสีน้ำตาล (browning)

เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความร้อนไปทำให้สารบางตัวโดยเฉพาะแป้งและน้ำตาลเกิดการเผาไหม้โดยปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ลักษณะของอาหารผิดไปการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเช่นนี้จะเกิดได้เร็วขึ้น ถ้าใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงๆ จากการศึกษาพบว่า เมื่อทำแห้งอาหารจนมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 15-20 จะทำให้การเปลี่ยนแปลงเกิดเร็วมาก ทั้งนี้เพราะในช่วงนี้ความเข้มข้นของแป้งและน้ำตาลจะสูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งอาหารโดยวิธีโฟมแมท

Beristain and others (1993) ได้ทดลองผลิตน้ำดอกจาไมกาผงด้วยการทำแห้งแบบโฟม จากน้ำดอกจาไมกาที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 15 องศาบริกซ์ โดยแปรปริมาณสาร emulsifier ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ถึง 0.4 และเติมสารมอลโทเดร็กซ์ทรินร้อยละ 5 (โดยน้ำหนัก) จากนั้นทำแห้งที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งคือใช้โฟมหนา 4 มิลลิเมตรและทำแห้งที่ 60 นาน 70 นาทีซึ่งจะให้โฟมแห้งที่มีความชื้นเป็นร้อยละ 3 (น้ำหนักเปียก) นอกจากนี้ผู้วิจัยยังรายงานว่าผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟมจะมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Karim และ Wai (1999) ได้ศึกษาการทำแห้งแบบโฟม ของเนื้อมะเฟืองบดโดยใช้สารเมทโทเซลเป็นสารช่วยทำให้เกิดโฟม ในปริมาณต่างๆ จากนั้นเปรียบเทียบค่าการขึ้นโฟม (Foam overrun) และค่าความหนาแน่น

ของโฟม (foam density) ที่เกิดขึ้น รวมทั้งเสถียรภาพของโฟม ซึ่งวัดได้จากปริมาณน้ำที่แยกออกจากโฟม จากการทดลองพบว่าค่าการขึ้นโฟมและเสถียรภาพของโฟมจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเมทโทเซลเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดเมื่อเมทโทเซลมีความเข้มข้น ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำโฟมที่คงตัวไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งในทั้งสองอุณหภูมิจะพบทั้งช่วงของการปรับตัว (preheating period) และช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) การทำแห้งที่ 90 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาสั้นกว่าที่ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากการประเมินค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงแห้งโดยใช้การประเมินทางด้านประสาทสัมผัสและการวัดสี (hunter lab) พบว่าผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 90องศาเซลเซียส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีและกลิ่นมากกว่าที่ 70 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Falade and others (2003) ได้ศึกษาการทำแห้งแบบโฟม-แมทของถั่ว cowpea โดยใช้ glyceryl monostearate เป็นสารช่วยทำให้เกิดโฟม ซึ่งพบว่าโฟมที่เตรียมได้จากการใช้ถั่ว cowpea บดที่มีปริมาณของของแข็งทั้งหมดร้อยละ 25 มีการเติม glyceryl monostearate ร้อยละ 15 (โดยน้ำหนัก) และตีปั่นให้เกิดโฟมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 นาที จะมีความหนาแน่นต่ำที่สุด จากนั้นเมื่อนำโฟมไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 6.5 พบว่าตัวอย่างผงแห้งที่ได้เมื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ Akara จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับในระดับเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งถั่วสด ($p>0.05$)

Rajkumar and others (2007a) ได้ศึกษาการทำแห้งแบบชั้นบางของโฟมจากเนื้อมะม่วงตีปั่นโดยแปรปริมาณ egg albumin เป็น 3 ระดับคือร้อยละ 5 10 และ 15 (โดยน้ำหนัก) และใช้สาร methylcellulose ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.5) พบว่าการใช้ egg albumin ร้อยละ 15 ร่วมกับ methylcellulose ร้อยละ 0.5 จะทำให้โฟมที่ได้มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดและมีความคงตัวสูงสุด จากนั้นเมื่อนำโฟมที่มีคงตัวสูงสุดไปทำแห้งแบบชั้นบางโดยแปรความหนาของชั้นโฟมเป็น 1 2 และ 3 มิลลิเมตร และอุณหภูมิขณะทำแห้งเป็น 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการทำแห้งจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งและลดความหนาของชั้นโฟม นอกจากนั้นยังพบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นโฟมและอุณหภูมิในการทำแห้งให้สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณ β-carotene และ ascorbic acid ลดลง

Thuwapanichayanan and others (2008) ได้ศึกษาลักษณะของการทำแห้งแบบโฟมของเนื้อกล้วยรวมทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำแห้งที่ได้ โดยแปรปริมาณ egg albumin ซึ่งเป็นสารช่วยทำให้เกิดโฟมในปริมาณร้อยละ 2, 5 และ 10 (โดยน้ำหนัก) ซึ่งพบว่าการใช้ egg albumin ร้อยละ 5 และ 10 จะทำให้ค่าความหนาแน่นของโฟมต่ำสุดที่เวลาการตีปั่น 20 นาที จากนั้นนำโฟมไปทำแห้งโดยแปรความหนาแน่นเริ่มต้นของโฟม(0.3,0.5 และ 0.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และอุณหภูมิในการทำแห้ง (60,70 และ 80 องศาเซลเซียส) พบว่าอัตราการทำแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นเริ่มต้นของโฟมลดลง การทำแห้งจะเกิดขึ้นในช่วงการปรับตัวและช่วงอัตราการทำแห้งลดลง เมื่อพิจารณาคุณภาพของตัวอย่างแห้งพบว่าการใช้ความหนาแน่นเป็น 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ตัวอย่างมีค่าความแข็งและความกรอบพอเหมาะ

วิริยา และคณะ (2552) ได้ศึกษากระบวนการผลิตมะขามทำแห้งแบบโฟม พบว่าการเติมเมทโทเซลร้อยละ 0.9 ร่วมกับสารมอลโทเด็กซ์ทริน ซึ่งเป็นสารช่วยในการทำแห้งพบว่าที่ร้อยละ 10-15 ช่วยทำให้โฟมมะขามคงตัวดีและไม่ยุบตัวเวลาทำแห้ง ผงแห้งที่ได้สามารถละลายน้ำได้เร็วขึ้น และเกิดการกระจายตัวๆได้ดีขึ้น รวมทั้งลด

การเกาะตัวของมะขามผงได้พบว่าการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินมากขึ้นและอุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้น มีผลทำให้เวลาในการทำแห้งลดลงและมีค่าสัมประสิทธ์การแพร่น้ำสูงขึ้น สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตมะขามทำแห้งแบบโฟม คือการเติมมอลโทเด็กซ์ทริน ร้อยละ 10-15 และทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

อรทัย บุญทะวงศ์ (2547) ได้ศึกษาวิธีการผลิตน้ำมะเกี๋ยงผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้สารช่วยให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ methocel, glyceryl monostearate (GMS), carboxy methyl cellulose (CMC) และใช้สารผสม 3 ชนิด คือ methocel ผสมกับ GMS, Methocel ผสมกับ CMC และ GMS ผสมกับ CMC (ความเข้มข้นร้อยละ 1) พบว่า การใช้สาร methocel ผสมกับ CMC จะทำให้โฟมของน้ำมะเกี๋ยงที่ได้มีความหนาแน่นน้อย คือ 0.44 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่า overrun สูงถึงร้อยละ 690.07 เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 24.48 ของน้ำมะเกี๋ยงก่อนทำแห้ง เมื่อนำมะเกี๋ยงผงที่ได้มาละลายน้ำ เปรียบเทียบคุณภาพกับน้ำมะเกี๋ยงพร้อมดื่มซึ่งผลิตจากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตลำปาง (วข.ลป.) จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมี พบว่า ค่าสี L*, a* และ b* ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด มีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นปริมาณแอนโธไซยานินส์ ที่มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยให้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน พบว่า ด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่น มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนด้านรสชาติ และการยอมรับรวมมีค่าต่ำกว่าน้ำมะเกี๋ยงของ วข.ลป. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ชนันท์ ราษฎร์นิยม (2545) ได้ศึกษาการผลิตลำไยผงที่ทำแห้งแบบโฟม-แมท พบว่าความหนาแน่นของโฟม ความคงตัวของโฟมและ ค่า overrun จะดีที่สุดเมื่อใช้ สารผสมของ methocel ร้อยละ 0.13 กับ glyceryl monostearate ร้อยละ 0.13 โดยน้ำหนัก เป็นสารช่วยทำให้เกิดโฟม จากผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้ง โดยวัดอัตราการลดความชื้น ปริมาณความชื้นสุดท้าย และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 70 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที ที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ความหนาของโฟม 5 มิลลิเมตรซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นร้อยละ 3 (โดยน้ำหนักแห้ง) มีค่า a_w 0.120 ความสามารถในการคืนรูปร้อยละ 98.5 โดยน้ำหนักแห้ง ค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 70.64, 4.28 และ 16.79 ตามลำดับ ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่า เมื่อนำลำไยผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟม มาละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ลื่นคอ มี body รสหวาน และมีกลิ่นลำไยผงตรงตามความต้องการของผู้ทดสอบ