บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

น้ำนมเป็นอาหารที่สำคัญและใช้เป็นอาหารหลักสำหรับทารกและเด็กตลอดจนเป็นอาหารเสริมที่ดีของ ผู้ใหญ่ทุกเพศทุกวัย เพราะมีสารอาหารครบถ้วนตามความต้องการของร่างกาย แต่ขณะเดียวกันอัตราการผลิตนมโคเพื่อใช้ในการบริโภคและทำเป็นผลิตภัณฑ์นั้นยังอยู่ในอัตราที่ต่ำมาก ในประเทศไทยนั้นจากการสำรวจในปี พ.ศ. 2521 พบว่าสามารถผลิตนมโคได้ประมาณวันละ 40 เมตริกตัน นับว่าเป็นประเทศที่มีการผลิตนมโคในปริมาณจำกัด และนมโคมีราคาสูง จึงทำให้การบริโภคน้ำนมยังน้อยมาก มีบริโภคกันเพียงในทารกและเด็กก่อนวัยเรียนเท่านั้น ส่วนผู้ใหญ่นับว่าบริโภคน้ำนมกันน้อยมาก ประชากรโดยเฉลี่ยแล้วบริโภคนมโคประมาณ 0.8 ออนซ์ หรือ 22 กรัมต่อวัน (3)

ดังนั้น จึงต้องพยายามหาแหล่งอาหารที่อุดมด้วยโปรตีนและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งยังมีราคาถูกเหมาะสำหรับผู้มีรายได้ต่ำ อาหารที่นักโภชนาการให้ความสนใจคือ นมถั่วเหลือง (2)

นมถั่วเหลือง จัดว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับบุคคลทั่วไปมาเป็นเวลาหลายศตวรรษ โดยได้รับการพิจารณาจากนักโภชนาการให้เป็นอาหารที่สามารถทดแทนนมโคได้อย่างเหมาะสมตามภาวะเศรษฐกิจในขณะที่จะแก้ปัญหาภาวะทุโภชนาการในประเทศที่กำลังพัฒนา (5) นอกจากเหมาะสำหรับบุคคลธรรมดาแล้ว ยังสามารถใช้กับบุคคลเฉพาะกลุ่มบางประเภท เช่น ในรายเด็กที่มีอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง และผู้ที่มีระบบการทำงานของลำไส้เล็กไม่เป็นปกติ รวมทั้งบุคคลที่แพ้น้ำตาลแลคโตส (lactose) ในนมโคหรือแพ้โปรตีนจากสัตว์ ซึ่งผู้ป่วยประเภทนี้แพทย์มักจะแนะนำให้ใช้นมถั่วเหลืองแทนนมโค (13)

นมถั่วเหลืองและนมโค มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกัน (ประมาณร้อยละ 3.5–4.0) และเมื่อเปรียบเทียบส่วนประกอบของกรดอะมิโน (amino acid) ในโปรตีนของนมถั่วเหลือง นมโค และนมสตรี จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก (4) ดังแสดงในตารางที่ 2-1 เพียงแต่โปรตีนของนมถั่วเหลืองมี methionine ในปริมาณจำกัด

ตารางที่ 2-1 A Comparison of the Essential Amino Acid Composition of Soybean Milk with Cow's and Human Milk.* (4)

Essential amino acid	Source of milk		
	Soybean	Cow (g/16g of N)	Human
Histidine	3.25	2.69	2.21
Isoleucine	4.70	6.51	5.50
Leucine	8.19	10.02	9.07
Lysine	7.23	7.94	6.61
Methionine	1.44	2.50	2.05
Phenylalanine	5.25	4.94	4.35
Threonine	4.74	4.70	4.54
Tryptophan	1.36	1.44	1.65
Valine	4.99	7.01	6.26

* Calculated from g/g of total N in Edible Portions of Foods (USDA Home Economics Research Report # 4, 1957).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 การผลิตนมถั่วเหลือง

ปัจจุบันการผลิตนมถั่วเหลืองในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือน ส่วนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมมีทั้งสิ้น 4 ราย โดยเป็นเอกชน 3 ราย และหน่วยราชการ 1 ราย มีกำลังการผลิตทั้งสิ้น 65.0 ล้านลิตรต่อปี (14) ดังแสดงในตารางที่ 2-2

นมถั่วเหลืองจัดเป็นอาหารประเภทนมเทียม (imitation milk) ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำนมแต่ไม่มีส่วนประกอบของน้ำนมอยู่ด้วย โดยเฉพาะไขมันนม (15) วิธีในการผลิตนมถั่วเหลืองจำแนกออกเป็น 2 วิธี คือ

2.1.1 การเตรียมนมถั่วเหลืองโดยวิธีใช้น้ำสกัดจากถั่วทั้งเมล็ด

2.1.2 การเตรียมนมถั่วเหลืองจากส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลืองที่ละลายน้ำ หรือแป้งถั่วเหลือง กับน้ำมัน แร่ธาตุ วิตามิน และน้ำตาล ซึ่งวิธีที่ 2 นี้ ต้นทุนในการผลิตจะสูงกว่าวิธีใช้น้ำสกัดจากถั่วทั้งเมล็ด (3)

กรรมวิธีในการผลิตนมถั่วเหลืองที่ใช้กันมาแต่ดั้งเดิมนั้น มีขั้นตอนดังนี้คือ นำถั่วเหลืองมาแช่ค้างคืนในน้ำเย็น จากนั้นนำมาบดกับน้ำโดยใช้โม่หิน กรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกเอาส่วนกากที่ไม่ละลายน้ำออก ต้มนมถั่วเหลืองที่กรองได้เป็นเวลานาน 30 นาที (16) แต่นมถั่วเหลืองที่ได้จะมีกลิ่นเหม็นเขียวของถั่ว (raw beany flavor) ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้พยายามศึกษาค้นคว้าถึงสาเหตุของปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นรสของนมถั่วเหลือง

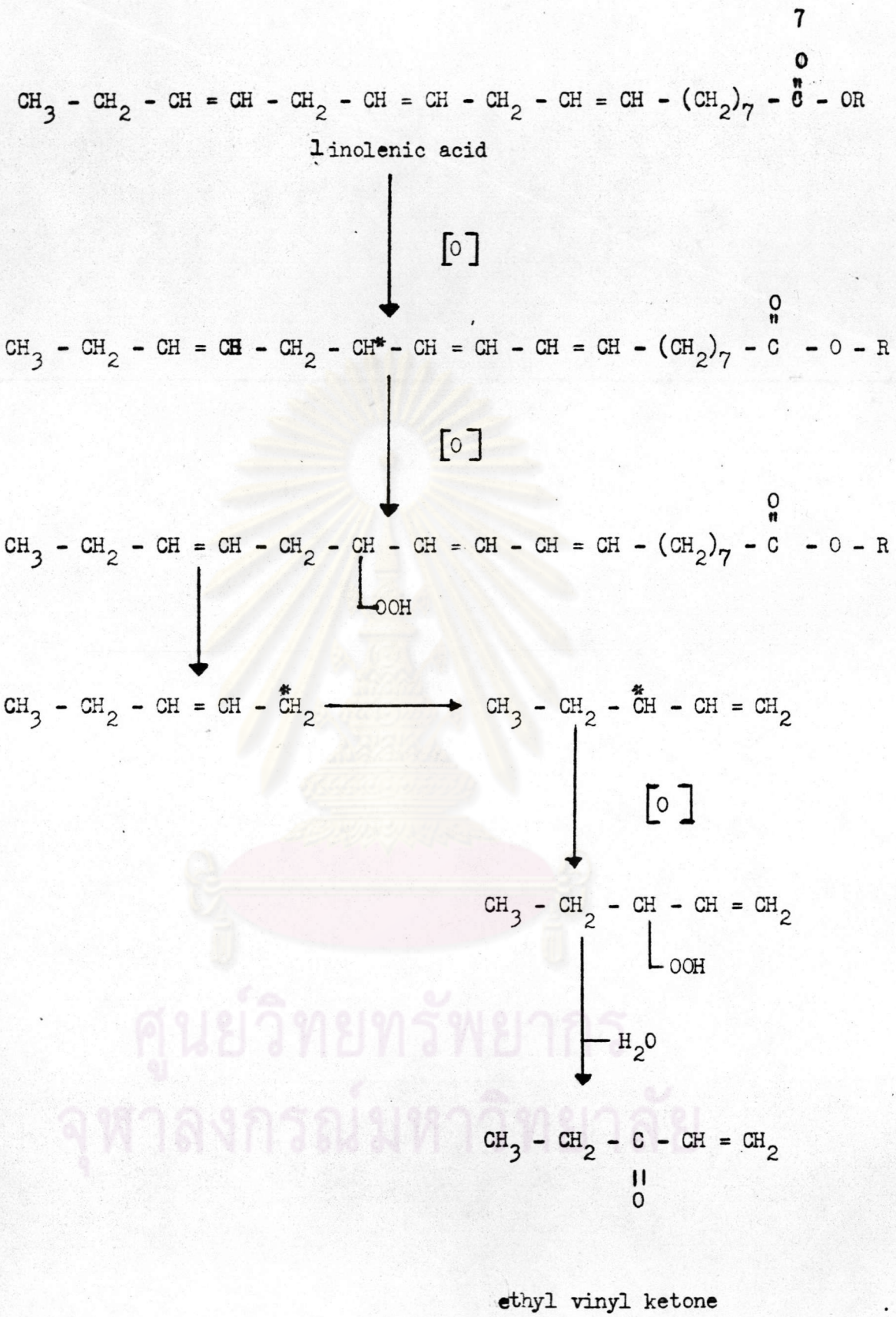
Mattick และ Hand พบว่าสารตัวหนึ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วในนมถั่วเหลือง คือ ethyl vinyl ketone ซึ่งเป็นสารประกอบระเหยง่าย (volatile compound) ส่วนสาเหตุของการเกิด ethyl vinyl ketone นั้น เนื่องมาจากไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองถูกออกซิไดซ์ โดยมีเอนไซม์ lipoxidase ซึ่งมีอยู่ในเมล็ดถั่วเหลืองแล้วตามธรรมชาติ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (17) ได้แสดงกลไกของปฏิกิริยาการเกิด ethyl vinyl ketone ไว้ในรูปที่ 2-1

ตารางที่ 2-2 อัตราการผลิต นมถั่วเหลืองในประเทศ ความต้องการของนมพร้อมดื่ม และผลิตภัณฑ์นมทั้งหมดของตลาดในประเทศ (14)

ปี	กำลังการผลิตของนมถั่วเหลือง (ลานลิตร)	ปริมาณการผลิตของนมถั่วเหลือง (ลานลิตร)	ความต้องการในประเทศ *	
			นมพร้อมดื่ม (ลานลิตร)	ผลิตภัณฑ์นมทั้งหมด (ลานลิตร)
2520	40	17.2	47.2	508.8
2521	40	20.3	55.8	501.8
2522	40	33.9	72.7	513.5
2523	40	31.1	73.0	498.0
2524	64	42.3	86.3	536.0

หมายเหตุ * ความต้องการในประเทศเท่ากับปริมาณการจำหน่ายในประเทศ และการนำเข้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-1 แสดงกลไกของปฏิกิริยาการเกิด ethyl vinyl ketone (17)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแช่ถั่วเหลืองในน้ำก่อนที่จะนำมาผลิตนมถั่วเหลืองนั้น เป็นสาเหตุทำให้เกิด 1-octen-3-ol อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสารนี้เป็นสารประกอบระเหยง่าย ตัวหนึ่งเหมือนกันที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วในนมถั่วเหลือง และศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิด 1-octen-3-ol ในเมล็ดถั่วคือ เวลาในการแช่ถั่วและ pH พบว่า เมื่อเวลาในการแช่ถั่วเพิ่มขึ้นจะมีสารประกอบนี้เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ และเมื่อถึงชั่วโมงที่ 6 ปริมาณของสารนี้จะขึ้นสูงสุด ส่วน pH ที่เหมาะสมในการเกิดสารนี้คือ ที่ pH 6-7 กลไกในการเกิดสารนี้เนื่องมาจากเกิดจากปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ของไขมันในเมล็ดถั่ว โดยมีเอนไซม์เป็นตัวควบคุมปฏิกิริยา ด้วย pH ที่เหมาะสมคือ 6-7 (18) นอกจากนั้น ยังมีผู้สรุปว่ากลิ่นถั่วในนมถั่วเหลืองนั้น เป็นผลเนื่องมาจากส่วนผสมของสารพวก สารประกอบระเหยง่าย หลาย ๆ ชนิด (19)

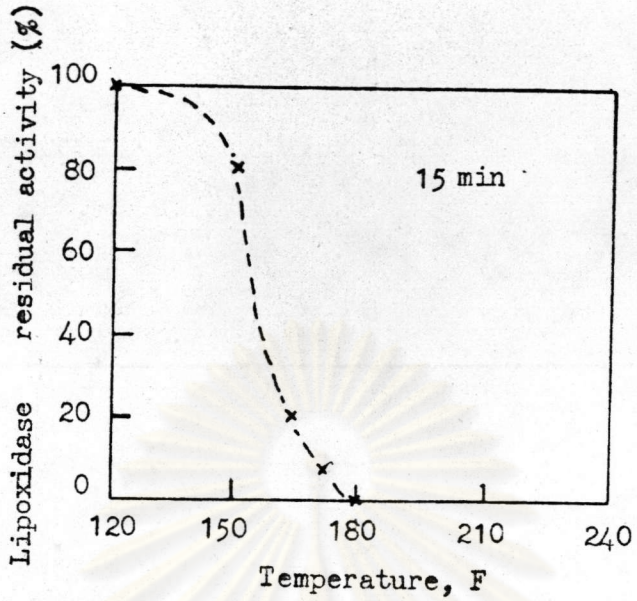
จากรายงานดังกล่าวข้างต้น และผลงานของนักวิทยาศาสตร์อื่น ๆ ซึ่งทำการทดลองในด้านนี้ จึงเป็นแรงกระตุ้นให้นักวิจัยทั้งหลายพยายามค้นคว้าหาวิธีที่จะป้องกันและกำจัดกลิ่นถั่วในนมถั่วเหลือง ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การใช้ความร้อน การใช้สารเคมี เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต แอลกอฮอล์ การใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดกลิ่นถั่ว และการใช้เอนไซม์ เป็นต้น

Wilkens และคณะ พบว่ากลิ่นถั่วอันไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นในนมถั่วเหลืองนั้นมิได้มีอยู่ในเมล็ดถั่วแห้ง แต่กลิ่นถั่วนี้จะก่อตัวขึ้นระหว่างขบวนการผลิตโดยมีเอนไซม์ lipoxidase เป็นตัวการสำคัญ และความร้อนสามารถทำลายเอนไซม์นี้ได้ โดยทำการทดลองบดถั่วแห้งที่กระเทาะเปลือกออกแล้ว กับน้ำร้อนอุณหภูมิต่าง ๆ กัน คือ 20 40 60 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ปรากฏว่านมถั่วเหลืองซึ่งมีกลิ่นรสดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้น เตรียมจากถั่วแห้งที่ยังไม่ได้แช่น้ำนำมาบดกับน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 - 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที ซึ่งสภาวะนี้เอนไซม์จะถูกทำลายได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมนมถั่วเหลืองโดยบดถั่วแห้งกับน้ำที่อุณหภูมิต่ำระหว่าง 60 - 80 องศาเซลเซียส ได้เช่นกัน แต่ต้องเติมวัตถุกันหืนลงไปในน้ำด้วยเพื่อควบคุมการทำงานของเอนไซม์ lipoxidase (20)

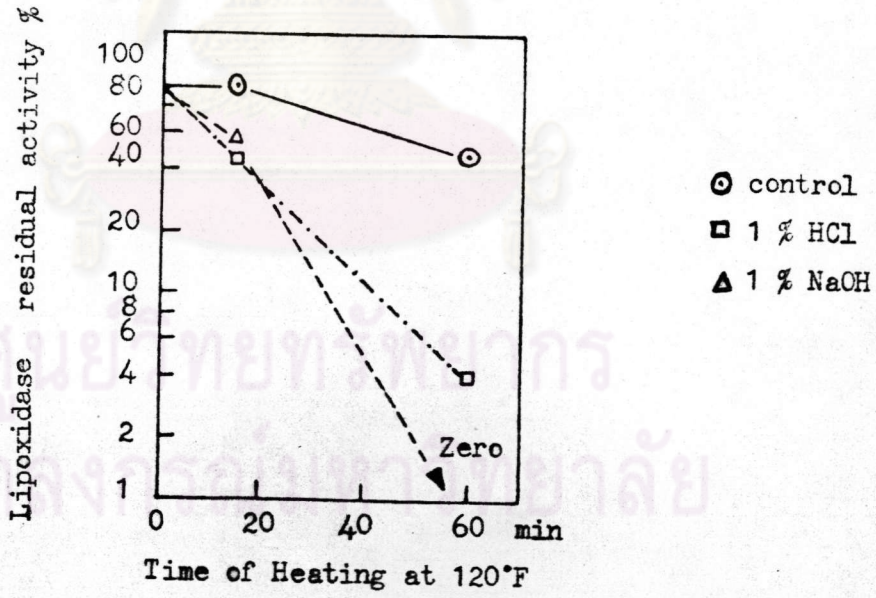
Nelson และคณะ แสดงให้เห็นว่าสามารถทำลายเอนไซม์ lipoxidase ในเมล็ดถั่วเหลืองได้โดยการลวกถั่วในน้ำที่อุณหภูมิ 99 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที กรรมวิธีนี้จะป้องกันการเกิดกลิ่นถั่วอันไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากเอนไซม์ lipoxidase ได้ และยังได้ให้ข้อคิดเห็นว่ากลิ่นถั่วนั้นมิได้มีอยู่แต่เดิมในเมล็ดถั่ว แต่เมื่อเนื้อเยื่อเซลของเมล็ดถั่วแตกออกโดยขณะนั้นเมล็ดถั่วมีความชื้นแม้ในปริมาณน้อย กลิ่นถั่วก็สามารถจะก่อเกิดขึ้นมาได้ (21)

Mustakas และคณะ ศึกษาการทำลายเอนไซม์ lipoxidase ในนมถั่วเหลือง โดยใช้วิธี extrusion cooking ในการเตรียมแป้งถั่วเหลืองซึ่งจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตนมถั่วเหลือง (8) และยังพบว่าการลวกถั่วเหลืองทั้งเมล็ดในน้ำร้อน 180 องศาฟาเรนไฮท์ เป็นเวลานาน 15 นาที จะทำลายการทำงานของเอนไซม์ lipoxidase ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-2 เมื่อเติมวัตถุเจือปน (additives) พวกกรดหรือด่าง เช่น NaCH หรือ HCl ร้อยละ 1 ลงในน้ำร้อน 120 องศาฟาเรนไฮท์ เป็นเวลา 15 นาทีจะสามารถลดการทำงานของเอนไซม์ lipoxidase ลงได้ครึ่งหนึ่ง แต่ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกันนี้ถ้าไม่มีการเติมกรดหรือด่าง จะไม่มีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ lipoxidase เลย ดังแสดงในรูปที่ 2-3 (22)

การแช่ถั่วในสารละลายด่างเป็นวิธีที่ช่วยลดกลิ่นถั่วในนมถั่วเหลืองได้เช่นกัน Badenhop และ Hackler ได้ศึกษาผลของการแช่ถั่วเหลืองในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ที่มีต่อคุณภาพของนมถั่วเหลือง โดยการแช่ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ปรากฏว่า คุณภาพในด้านกลิ่นรสของนมถั่วเหลืองนั้น ผู้ตัดสินให้ความเห็นว่า นมถั่วเหลืองที่เตรียมจากถั่วเหลืองซึ่งแช่ในสารละลาย 0.05N NaOH มีกลิ่นรสดีกว่านมถั่วเหลืองที่เตรียมจากการแช่ถั่วในน้ำธรรมดา อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (23)



รูปที่ 2–2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำลายเอนไซม์ lipoxidase



รูปที่ 2–3 แสดงอิทธิพลของวัตถุเจือปนในการทำลายเอนไซม์ lipoxidase

Bourne และคณะ ศึกษาผลของสารละลายด่างโซเดียมและเกลือโซเดียม ที่มีผลต่อกลิ่นรสของนมถั่วเหลือง โดยเติม NaOH, $NaHCO_3$ และ Na_2CO_3 ลงในนมถั่วเหลือง ปรากฏว่าผู้ชิมจะยอมรับนมถั่วเหลืองที่มี pH 7-7.5 จากการปรับ pH ด้วย NaOH แต่ได้ให้ข้อสังเกตว่านมถั่วเหลืองนั้นมีกลิ่นสบู่ (soapy flavor) ส่วนนมถั่วเหลือง pH 7-7.5 ที่ปรับด้วย $NaHCO_3$ และ Na_2CO_3 นั้นผู้ชิมไม่ชอบ ผู้ทดลองได้สรุปไว้ว่า การที่ NaOH สามารถปรับปรุงคุณภาพกลิ่นรสของนมถั่วเหลืองนั้นเป็นผลเนื่องมาจากกลไกของการเพิ่มความเข้มข้นของ Na^+ มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของ pH (24)

การผลิตเครื่องดื่มจากถั่วเหลืองโดยวิธี Illinois process จะได้เครื่องดื่มที่ไม่มีกลิ่นถั่ว และมี colloidal stability ที่ดี ในวิธีนี้เครื่องดื่มจะประกอบด้วยถั่วทั้งเมล็ด (รวมทั้งเปลือก) น้ำ น้ำตาล และสารปรุงแต่งกลิ่น โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้คือ แช่และลวกถั่วทั้งเมล็ดในสารละลาย $NaHCO_3$ ร้อยละ 0.5 จากนั้นนำถั่วมาบดกับน้ำหลังจากบดแล้วไม่มีการกรองเอากากออก นำเครื่องดื่มที่ได้มาทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส ผ่านเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์ (homogenizer) เติมน้ำตาล สารปรุงแต่งกลิ่น นำไปพาสเจอร์ไรส์ (pasteurizing) และเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์อีกครั้ง ในการทดลองนี้พบว่าการลวกถั่วเหลืองก่อนบดนั้นเป็นขั้นตอนที่สามารถป้องกันการเกิดกลิ่นถั่วและทำให้ได้เครื่องดื่มซึ่งมีกลิ่นรสดี และ trypsin inhibitor ก็ถูกทำลายลงในขั้นตอนการลวกนี้ด้วย (25)

เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีการปรับปรุงขบวนการผลิตนมถั่วเหลืองเพื่อให้ได้นมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นรสดี โดยการแช่ถั่วทั้งเมล็ดในสารละลาย $NaHCO_3$ ร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง เมล็ดถั่วที่อิ่มตัวด้วยน้ำนี้จะถูกนำมาลวกเป็นเวลานาน 4 นาที ในสารละลาย $NaHCO_3$ ร้อยละ 0.5 ที่เตรียมขึ้นมาใหม่ ๆ และบดถั่วกับน้ำร้อน (อุณหภูมิสูงกว่า 95 องศาเซลเซียส) จากนั้นกรองเอากากออกและเติมส่วนประกอบอื่น ๆ ลงไป จะได้นมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นรสและสีที่ดี และได้มีการปรับปรุงสูตรนมถั่วเหลืองให้มีคุณค่าทางอาหาร

ใกล้เคียงนมโค โดยการเติม L-methionine ร้อยละ 0.04 น้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 2 น้ำตาลร้อยละ 3 เกลือ calcium lactate ร้อยละ 0.45 เกลือ NaCl ร้อยละ 0.1 วานิลลาร้อยละ 0.05 วิตามินเอ 2,000 I.U. และวิตามินดี 400 I.U. (26)

การสกัดน้ำมันถั่วเหลืองออกมาจากเมล็ดถั่วเหลืองโดยการใช้สารทำละลาย (solvent) นับเป็นการช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นถั่วได้ด้วย จึงมีการเตรียมแป้งถั่วเหลืองที่ปราศจากไขมัน โดยการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองด้วยแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ตามด้วยการใช้คลอโรฟอร์ม เพื่อสกัดฟอสโฟลิปิด (phospholipid) และน้ำมันอื่น ๆ แป้งถั่วเหลืองที่สกัดไขมันโดยวิธีนี้เมื่อนำไปเตรียมนมถั่วเหลืองจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสดี (27) นอกจากนี้มีผู้ศึกษาการป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นเขียวของถั่วเหลือง โดยผสมผสานการใช้ความร้อนกับการแช่ถั่วในแอลกอฮอล์ เพื่อทำลายเอนไซม์ lipoxidase ในเมล็ดถั่ว ผลปรากฏว่าสภาวะการแช่ถั่วเหลืองที่สามารถทำลายเอนไซม์ lipoxidase อย่างมีประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วงมีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 15–45 ที่อุณหภูมิ 40–60 องศาเซลเซียส และเป็นเวลานาน 2–6 ชั่วโมง (28)

นอกจากนี้ยังมีการใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดกลิ่นถั่ว ได้แก่ Lactobacillus brevis (29) รวมทั้งการใช้เอนไซม์ aldehyde dehydrogenase กำจัดกลิ่นถั่ว (30) และการใช้ถั่วเหลืองงอกเป็นวัตถุดิบในการผลิตนมถั่วเหลือง ซึ่งจะได้นมถั่วเหลืองที่กลิ่นรสดีและมีวิตามินสูงขึ้น (31)

2.2 การเตรียมนมถั่วเหลืองเข้มข้นโดยการระเหยในระบบสูญญากาศ (Vacuum evaporation)

การระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวนับเป็นขั้นตอนการปฏิบัติงานที่สำคัญในอันที่จะให้อาหารเหลวนั้น ๆ มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งจะมีประโยชน์ในด้านลดปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ยืดอายุการเก็บรักษา และยังเป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการผลิตอาหารแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นกระจาย เพราะการระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวก่อนเข้าขบวนการทำแห้งนั้น ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตอาหารแห้งสูงขึ้น

การระเหยในระบบสูญญากาศ มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน (32)คือ

- ภาชนะสำหรับบรรจุอาหารที่จะระเหย (evaporation vessel)
- แหล่งให้ความร้อน
- เครื่องควบแน่น (condenser)
- vacuum pump

Lo และคณะ ทดลองการทำนมถั่วเหลืองเข้มข้นโดยใช้ vacuum evaporator ที่อุณหภูมิระหว่าง 65–75 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าเมื่อนมถั่วเหลืองผงมีปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด (total solid) เท่ากับร้อยละ 27 นมถั่วเหลืองจะมีลักษณะเหนียว และเป็นเจล (gel) เขาพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมควรจะอยู่ระหว่างร้อยละ 12–15 ปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด และได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความหนืด (viscosity) ของนมถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันโดยใช้ Brookfield viscometer เป็นเครื่องมือในการวัด ปรากฏว่าที่ความเข้มข้นของนมถั่วเหลืองเท่ากับร้อยละ 5 ความหนืดจะขึ้นกับ shearing force หมายความว่า ค่าของความหนืดขึ้นกับความเร็วในการหมุนเข็ม แสดงให้เห็นว่านมถั่วเหลืองเป็นของเหลวชนิด non-Newtonian และที่ความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 20 ความหนืดของนมถั่วเหลืองจะลดลงถ้าใช้เวลาในการหมุนเข็มนานขึ้น แสดงว่านมถั่วเหลืองมีคุณสมบัติเป็น thixotropic material (33)

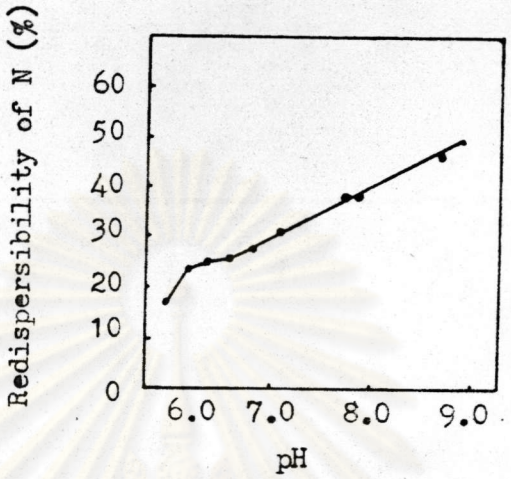
2.3 การเตรียมนมถั่วเหลืองผง

Travalgini และคณะ ผลิตนมถั่วเหลืองผงในโรงงานขนาด pilot-plant โดยมีขบวนการผลิต ดังนี้ แยกเอาเปลือกถั่วออก ต้มถั่วในน้ำร้อน 130 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน เหวี่ยงแยกเอากากออก ได้นมถั่วเหลืองนำมาทำให้เข้มข้นขึ้นแล้วผ่านเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์ และอบแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จะได้นมถั่วเหลืองผง ซึ่งมีมีส่วนประกอบดังนี้ ความชื้นร้อยละ 3.0 โปรตีนร้อยละ 46.6 ไขมันร้อยละ 28.6 เถ้าร้อยละ 6.6 เส้นใยร้อยละ 0.8 และคาร์โบไฮเดรทร้อยละ 14.4 (34)

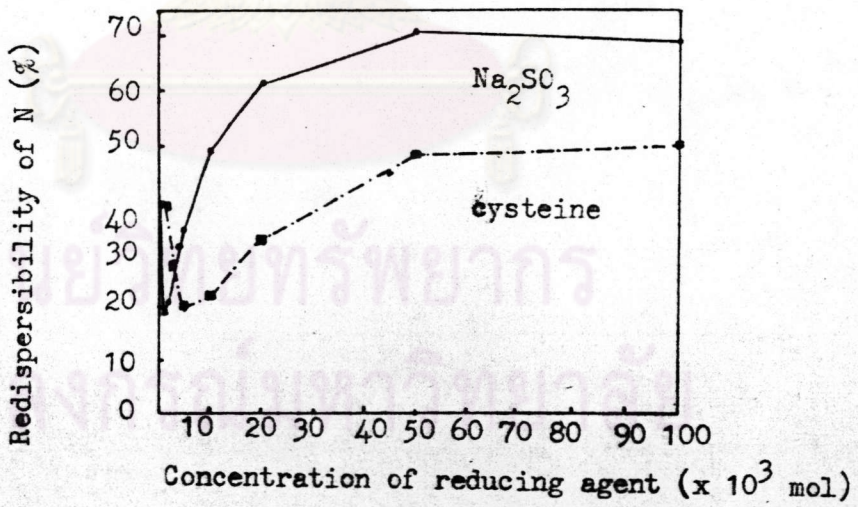
Ang และคณะ ได้เตรียมนมถั่วเหลืองโดยวิธีดังต่อไปนี้ ใช้น้ำสกัดเนื้อถั่วที่เอาน้ำมันออกแล้ว (defatted soymeal) ในอัตราส่วน 10 : 1 เติมน้ำตาลร้อยละ 12 น้ำมันปาล์มร้อยละ 2.0 อิมัลซิไฟเออร์ ร้อยละ 0.2 เลซิตินร้อยละ 0.2 จะได้นมถั่วเหลืองปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 19.2 นำไปอบแห้งแบบพ่นกระจายด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายของ Niro แบบ rotary atomizer ที่อุณหภูมิเข้า 175 องศาเซลเซียส อุณหภูมิออก 65 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนตัวอย่าง 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเร็วของ atomizer 24,000 รอบต่อนาที และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคแบบ Hedonic ผลปรากฏว่านมถั่วเหลืองผงที่เตรียมขึ้นจากถั่วทั้งเมล็ด ได้รับคะแนนการยอมรับสูงกว่านมถั่วเหลืองผงที่เตรียมจากเนื้อถั่วที่สกัดเอาน้ำมันออกแล้ว (35)

Fukushima และ Van Buren ได้ศึกษาปัจจัยทางเคมีและกายภาพในขบวนการผลิตที่มีต่อการกระจายตัว (dispersibility) ของโปรตีนในนมถั่วเหลืองผง โดยเตรียมนมถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบนมถั่วเหลือง 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 16.5ชั่วโมง พบว่าเมื่อ pH ของนมถั่วเหลืองสูงขึ้นหรือความเข้มข้นของนมถั่วเหลืองต่ำลง มีผลทำให้การกระจายตัวของโปรตีนในนมถั่วเหลืองผงดีขึ้น ดังรูปที่ 2-4 ส่วนอิมัลซิไฟเออร์และ EDTA มีผลเล็กน้อยมากสารที่มีผลมากต่อการกระจายของโปรตีนในนมถั่วเหลืองผง คือ disulfide bond-splitting agent เช่น Na_2SO_3, cysteine เป็นต้น สำหรับ cysteine นั้น เมื่อใส่ลงไป 0.001 M. การกระจายตัวของโปรตีนจะสูงขึ้นและขึ้นสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของ cysteine เท่ากับ 0.05 M. ดังรูปที่ 2-5 (36) และเขาสรุปว่า สิ่งสำคัญที่ทำให้โปรตีนในนมถั่วเหลืองไม่ละลายน้ำนั้นมีสาเหตุมาจากการเกิด disulfide bond ของโปรตีนและ hydrophobic bond ระหว่างขบวนการทำแห้ง (37)

Aminlari และคณะ ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของโปรตีน (protein dispersibility index, PDI) ในนมถั่วเหลืองผง โดยเตรียมนมถั่วเหลือง



รูปที่ 2-4 แสดงอิทธิพลของ pH ที่มีต่อการกระจายตัวของโปรตีนในนมถั่วเหลืองผง (36)



รูปที่ 2-5 แสดงอิทธิพลของ reducing agent ที่มีต่อการกระจายตัวของโปรตีนในนมถั่วเหลืองผง (36)

011284

จากถั่วทั้งเมล็ด และนมถั่วเหลืองที่ได้ไม่มีการกรองเอากากออก มีความเข้มข้นร้อยละ 12 นำมาทำเป็นผงโดยใช้เครื่อง spray dryer แบบ Necro-Niro Minor 53 มีสภาวะของการทำแห้ง ดังนี้

อัตราการป้อนเข้าเครื่อง	40 มิลลิลิตร/นาที
ความเร็วในการหมุน Atomizer disc ประมาณ	40,000 รอบ/นาที
อุณหภูมิเข้า	185 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิออก	90 องศาเซลเซียส

ปรากฏว่าการกระจายตัวของโปรตีนในนมถั่วเหลืองผงจะสูงขึ้น เมื่อนมถั่วเหลืองถูกโฮโมจีไนซ์ (homogenize) ที่ความดันสูง และมีการเติมโซเดียมไบซัลไฟท์ลงไปในนมถั่วเหลืองก่อนเข้า spray dryer และ pH ก็มีผลในการทำให้การกระจายตัวของโปรตีนในนมถั่วเหลืองผงเปลี่ยนแปลงได้ (38)

2.4 <u>อิทธิพลของวัตถุเจือปนในอาหาร (food additives) ที่มีต่อการอบแห้งแบบพ่นกระจาย</u>

ในขบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย มักจะประสบปัญหาในระหว่างการทำแห้งและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติในการละลายกลับสู่สภาพเดิมไม่ดี นมถั่วเหลืองซึ่งเป็นอาหารประเภท colloid เมื่อนำมาทำเป็นผงก็พบปัญหาเช่นกันคือ เมื่อนำนมถั่วเหลืองผงไปละลายน้ำ จะขาดคุณสมบัติที่ดีในการกระจายตัว (dispersibility) และนมถั่วเหลืองคืนรูปจะมีการแยกชั้น เนื่องจากการสูญเสีย colloidal stability วิธีในการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น มีได้หลายทาง ได้แก่ การใช้ความร้อน เช่น foreworming การใช้วิธีทางเครื่องกล (mechanic) เช่น การโฮโมจีไนซ์ และการใช้วัตถุเจือปนในอาหาร อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วิธีดำเนินการที่ดีเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตไม่ได้ผลดี ก็จำเป็นต้องใช้วัตถุเจือปนในอาหารเป็นตัวช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (39)

2.4.1 สารที่ช่วยในการทำแห้ง (Drying aids)

เด็กซตริน น้ำตาลแลคโตส น้ำตาลทราย corn syrup solid, gums, และ milk solid เป็นสารช่วยในการทำแห้งของอาหารผงหลายชนิด เช่น กะทิผง เครื่องดื่มผลไม้ผง สารให้กลิ่นรสชนิดผง เป็นต้น โดยทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของแข็งให้แก่ผลิตภัณฑ์ (bodying agent) และห่อหุ้ม (encapsulate) ส่วนประกอบของอาหาร เช่น โปรตีน และไขมัน เป็นต้น (40, 41, 42) ทั้งยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการละลาย (43) และป้องกันการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในโมลาระหว่างการเก็บรักษา (44)

Noznick และ Bundus ได้จดลิขสิทธิ์ในการผลิตกะทิผง ซึ่งมีการเติม corn syrup solid ร้อยละ 1-25 ลงในน้ำกะทิ ก่อนนำไปอบแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิอากาศเข้า 149 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิออก 82 องศาเซลเซียส (40) นอกจากนี้ มีผู้ทดลองเติมเด็กซตรินร้อยละ 5-15 ลงไปในน้ำกะทิที่มีความเข้มข้นร้อยละ 30-40 และนำไปอบแห้งแบบพ่นกระจายจะได้กะทิผงที่ร่วน (free flow) เมื่อนำไปละลายน้ำมีความคงตัว ไม่มีการแยกชั้นและเมื่อใช้น้ำตาลแลคโตส หรือ sugar syrup แทนที่เด็กซตริน คุณภาพของกะทิผงที่ได้นั้นไม่แตกต่างกัน ครั้นนำกะทิผงไปประกอบอาหารก็ได้ผลเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (10)

ในการเตรียมเครื่องดื่มผงจากน้ำผลไม้ธรรมชาติ มีการเติมเด็กซตรินร้อยละ 48 ลงในน้ำผลไม้เข้มข้น และนำไปทำเป็นผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นกระจาย ปรากฏว่าได้เครื่องดื่มที่มีการละลายที่ดี (41) และในการเตรียมสารปรุงแต่งกลิ่นรสชนิดผง มีการใช้เด็กซตรินเป็นตัวห่อหุ้ม (encapsulating agent) สารที่ให้กลิ่นรส เช่น lemon oil โดยใช้น้ำอุ่นผสมกับเด็กซตรินจากนั้นผสม lemon oil กับ Tween 80 ให้เข้ากัน แล้วเติมลงในสารละลายเด็กซตริน นำไปโฮโมจีไนซ์และอบแห้งแบบพ่นกระจาย จะได้ผงที่มีลักษณะร่วน นำผงนี้ไปผสมกับน้ำตาลและกรดซิตริก เพื่อเป็นน้ำมะนาวชนิดละลายน้ำทันที (42)

2.4.2 สารที่ทำให้คอลลอยด์เกิดความคงตัว (Colloidal stabilizing agent)

สารทำให้คงตัวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมนมและนมเทียม ได้แก่ เกลือฟอสเฟต และ Carrageenan (45)

1. เกลือฟอสเฟต สามารถทำให้เกิดการกระจายตัว (dispersion) และ peptization ของส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีนในนมข้นหวาน และยังทำให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งเมื่อทำเป็นผงแล้วมีการละลายที่ดี นอกจากนี้ทำหน้าที่สำคัญ คือ ป้องกันการจับตัวของผลิตภัณฑ์ (prevention caking) เกลือฟอสเฟตที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น เกลือไดโปแตสเซียมฟอสเฟต (K_2HPO_4) เกลือไดโซเดียมฟอสเฟต (Na_2HPO_4) และเกลือไตรโซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4) ซึ่งกฎหมายเกี่ยวกับอาหารและยาในสหรัฐอเมริกาจัดว่าเกลือเหล่านี้มีความปลอดภัย (GRAS-generally recognized as safe) (45) สำหรับในประเทศไทยกฎหมายให้ใช้ได้ในปริมาณไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้านส่วน (46)

2. Carrageenan เป็น gum ที่สกัดจากสาหร่ายทะเล มีส่วนประกอบทางเคมีเป็น sulfate polysaccharide ซึ่งเป็น polymer ที่มีประจุลบ สามารถทำให้เกิด complex กับสารที่มีประจุบวก เช่น โปรตีน ทำให้โปรตีนมีความคงตัว ส่วนมากนิยมใช้ carrageenan ในผลิตภัณฑ์ โดยใช้เป็น suspending agent ทำให้อาหารคงสภาพ colloid (39)

2.5 หลักการอบแห้งแบบพ่นกระจาย (Fundamental of spray drying)

Masters ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอบแห้งแบบพ่นกระจาย (47)

2.5.1 คำจำกัดความ

การอบแห้งแบบพ่นกระจาย หมายถึง การแปลงของเหลว ซึ่งอาจจะเป็นสารละลายหรือของเหลวข้น ให้เปลี่ยนสภาพเป็นผงแห้งในการทำแห้งเพียงขั้นตอนเดียว หลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นกระจายนั้น อาหารเหลวจะถูกฉีดให้เป็นละออง และให้สัมผัสกับลมร้อนที่ไหลเข้ามา ทำให้เกิดการระเหยน้ำขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากละอองฝอยมีพื้นที่ผิวมาก หลังจากนั้นจะได้ผงแห้งตกลงมา และผงนี้จะถูกแยกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป

2.5.2 ขั้นตอนในการอบแห้งแบบพ่นกระจาย

การอบแห้งแบบพ่นกระจายประกอบไปด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้คือ

2.5.2.1 การทำอาหารเหลวให้มีอนุภาคเล็กลงหรือเป็นละอองฝอย (Atomization stage)

เพื่อให้สามารถระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากอนุภาคของเหลวมีขนาดเล็กลงจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการรับความร้อนได้มาก ทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ในการฉีดอาหารเหลวให้เป็นละอองฝอย อาจจะใช้หัวฉีดซึ่งใช้แรงดันจากเครื่องสูบอาหารเหลว (feed pump) หรือแรงดันจากเครื่องอัดอากาศ (air compressor) ส่วนชนิดของเครื่องทำอาหารให้เป็นละอองฝอย (atomizer) จำแนกออกเป็น 3 แบบ คือ

1. Rotary disc atomizer อาหารเหลวจะถูกป้อนหรือส่งไปยังศูนย์กลางของวงล้อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้อาหารเหลวกระจายเป็นแผ่นบาง ๆ บนผิวของวงล้อหมุนนี้ เนื่องจากอัตราการหมุนของวงล้อสูงมาก อาหารเหลวจะถูกทำเป็นละอองฝอยขนาดเล็กมาก ละอองฝอยของอาหารเหลวดังกล่าว จะถูกส่งออกจากวงล้อมาตามแนวราบ และมีมุมฉีดประมาณ 180 องศา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. Pressure nozzle เป็นการพ่นกระจายตัวอย่างโดยใช้ความดัน

3. Two-fluid nozzle เป็นการพ่นกระจายตัวอย่างโดยใช้หัวฉีด 2 หัวพร้อมกัน

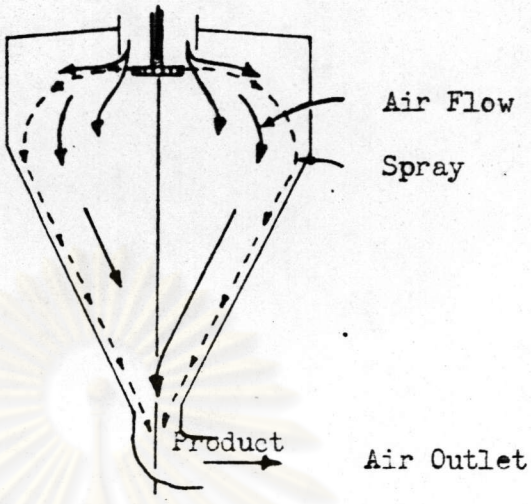
2.5.2.2 การสัมผัสระหว่างละอองอาหารและลมร้อน

ในขั้นตอนที่ 2 นี้ ละอองอาหารซึ่งได้รับการอัดในขั้นตอนที่ 1 จะมีการสัมผัสกับลมร้อนหรือตัวกลางที่จะให้ความร้อนแก่ละอองอาหาร เพื่อให้น้ำในอาหารรับเอาความร้อนจากลมร้อนมาเพื่อให้เกิดการระเหยน้ำออกไป การสัมผัสระหว่างละอองอาหารกับลมร้อนกระทำได้ 3 แบบ ดังรูปที่ 2-6 คือ

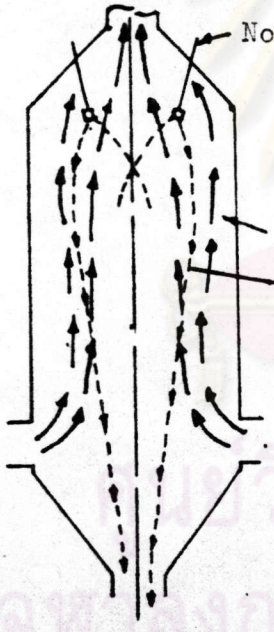
1. การป้อนอาหารเหลวในทิศทางเดียวกับลมร้อน (co-current) อาหารจะถูกป้อนไปในทิศทางเดียวกับลมร้อน อนุภาคอาหารจะแขวนลอยในอากาศ เกิดการระเหยน้ำจนอาหารแห้งเป็นผง แบบนี้จะใช้กับอาหารที่ไม่ค่อยทนต่อความร้อนสูง อาหารแห้งที่ได้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าลมร้อนที่ออกจากเครื่อง

2. การป้อนอาหารเหลวสวนทางกับลมร้อน (counter-current) อาหารจะถูกพ่นสวนทางกับลมร้อน โดยเริ่มต้นอาหารจะมีอุณหภูมิต่ำ และจะค่อย ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อน แบบนี้จะมีการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับอาหารที่สามารถทนต่อความร้อนสูงได้ดี และต้องการความร้อนมากเพื่อให้ได้ลักษณะหรือคุณภาพบางอย่างที่ต้องการ เช่น ความโปร่ง (porosity) หรือมี bulk density มาก ในกรณีนี้อุณหภูมิของอาหารผงที่ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ออกจากเครื่อง

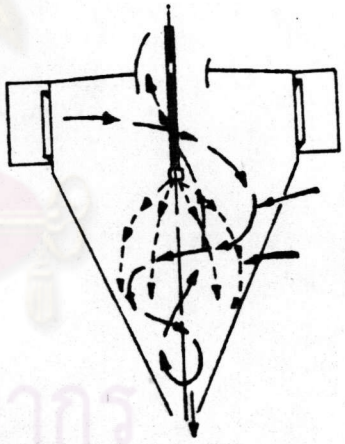
3. แบบผสม (mixed flow) เป็นแบบผสมของ 2 แบบแรก จะใช้แบบนี้เมื่อต้องการอนุภาคที่หยาบ และอาหารต้องทนความร้อนสูง



(ก) แบบลมร้อนทิศทางเดียวกับอาหาร (co-current flow)



(ข) แบบลมร้อนสวนทางกับอาหาร
(counter-current flow)



(ค) แบบผสม (mixed flow)

รูปที่ 2-6 แสดงลักษณะการสัมผัสระหว่างลมร้อนและของเหลว (32)

2.5.2.3 ช่วงการระเหย (Evaporation stage)

การระเหยเริ่มต้นจากไอน้ำที่ยึดตัว ซึ่งจะเริ่มก่อตัวที่บริเวณผิวของหยดหรืออนุภาคของเหลว หยดของเหลวตรงส่วนผิวจะมีอุณหภูมิต่ำซึ่งจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิจุดเปียก (wet bulk temperature) ของลมร้อนที่ใช้การออกแบบภาชนะทำแห้ง จะต้องออกแบบให้ผงมีระยะเวลานานพอควรที่จะตกลงสู่ด้านล่าง เพื่อให้อนุภาคมีเวลาพอเพียงที่จะแห้งพอดีเมื่อถึงตอนก้นของภาชนะทำแห้ง แต่ก็ไม่ยาวนานเกินไปเพราะผงอาจจะไหม้ได้ ภาชนะทำแห้งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือแหล่งให้ความร้อน อาจจะเป็นไฟฟ้าหรือก๊าซ และพัดลมซึ่งทำหน้าที่เป่าลมร้อนหรือดูดอากาศผงที่แห้งแล้วออกมา ถ้าการพ่นอาหารเหลวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและมีการผสมกับลมร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ อาหารจะแห้งเป็นผงภายในไม่กี่วินาที

2.5.2.4 การแยกอาหารผงจากภาชนะทำแห้ง (Dry product recovery)

หลังจากอาหารผงที่ได้ตกลงสู่เบื้องล่างของภาชนะทำแห้ง ผงที่มีน้ำหนักเบาจะถูกดูดโดยแรงจากพัดลม และส่งออกมาทางท่อลมออก ผงอาหารสามารถแยกออกจากลมร้อนได้โดยอาศัยระบบไซโคลน (cyclone) ให้ตกกระทบกับผนังท่อไซโคลน และตกลงในภาชนะที่รองรับ

ระบบในการแยกเอาผงที่ลอยตัวอยู่ในอากาศออกจากภาชนะทำแห้งมี 2 ระบบคือ

1. แบบที่มีช่องทางออก 2 จุด ช่องทางออกแรกจะเป็นทางออกสำหรับผงที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะตกอยู่ภายในภาชนะของเครื่องทำแห้ง ส่วนผงขนาดเล็กจะถูกลมดูดออกจากเครื่องทำแห้งและแยกจากลมร้อนด้วยไซโคลน

2. แบบที่มีช่องทางออกทางเดียว อาหารผงทั้งหมดจะถูกแยกโดยเครื่องแยกผง เช่น ไซโคลน ถุงกรอง หรือเครื่องทำให้ผงตกลงมาโดยอาศัยไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic precipitator)

2.5.3 อิทธิพลของตัวแปรในการดำเนินงาน

2.5.3.1 การเลือกชนิด การออกแบบและการดำเนินงานเกี่ยวกับเครื่องทำละอองฝอย

เครื่องทำละอองฝอยทั้งแบบ rotary disc atomizer และหัวฉีด (nozzle) จะให้ลักษณะละอองฝอยแตกต่างกัน เครื่องทำฝอยแต่ละชนิดจะมีทั้งข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบ ในการเลือกชนิดของหัวฉีดของเหลวจะขึ้นกับอนุภาคผงและลักษณะการกระจายของขนาดผงอาหาร (particle size distribution) ที่ต้องการ โดยทั่วไปการเพิ่มพลังงานในการพ่นฝอยโดยสภาวะในการป้อนอาหารคงที่จะทำให้ขนาดของหยดหรือละอองของเหลวที่ออกจากวงล้อของหัวฉีดมีขนาดเล็กลง ดังนั้นการเพิ่มความดันใน pressure nozzle หรือ การเพิ่มรอบในการหมุน rotary disc atomizer หรือการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและของเหลว ในหัวฉีดแบบ two-fluid nozzle จะมีผลทำให้ขนาดของผงที่ได้มีขนาดเล็กลงและเป็นผลทำให้ bulk density สูงขึ้นด้วย (48)

ในการเปรียบเทียบเครื่องป้อนอาหารเหลว 2 แบบ rotary disc atomizer มีข้อได้เปรียบดังนี้คือ

1. สามารถให้กำลังผลิตสูงโดยไม่ต้องเพิ่มจำนวนหัวเหวี่ยง
2. สามารถใช้กับของเหลวซึ่งมีความกัดกร่อนสูง
3. ไม่มีปัญหามากจากการอุดตันของของเหลว เพราะช่องไหลออกของของเหลวมีขนาดใหญ่
4. เป็นระบบที่ใช้ความดันต่ำ ซึ่งง่ายต่อการป้อนของเหลว
5. ขนาดของอนุภาคละอองฝอย สามารถควบคุมได้โดยปรับความเร็วในการหมุนวงล้อ

2.5.3.2 คุณสมบัติของของเหลว (Feed properties)

การเพิ่มความหนืดของของเหลวหรือลดคุณสมบัติของของเหลวก่อนเข้าเครื่อง จะทำให้ละอองฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของของเหลวมีผลต่อสภาวะการระเหยน้ำ โดยทั่วไปจะมีผลทำให้ขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้นและ bulk density สูงขึ้น (49)

2.5.3.3 อัตราการป้อนของเหลว (Feed rate)

เมื่ออัตราการป้อนของเหลวเพิ่มขึ้นในขณะที่สภาวะอื่นคงที่จะได้อาหารแห้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

2.5.3.4 การออกแบบภาชนะทำแห้ง (Drying chamber)

สำหรับอาหารที่มีคุณลักษณะพิเศษเช่น มีลักษณะเป็น thermoplastic หรือ hygroscopic เป็นต้น การออกแบบภาชนะทำแห้งต้องออกแบบอย่างละเอียดและรอบคอบ ผนังของภาชนะทำแห้งจะต้องมีอุณหภูมิต่ำอยู่เสมอ ดังนั้นผนังด้านในของภาชนะทำแห้งจะต้องมีชั้นของลมเย็นคอยหุ้มรอบ ๆ หรือต้องใช้ลมเย็นเป่าไปรอบ ๆ ผนังของภาชนะ

2.5.3.5 อัตราการไหลของอากาศ (Air flow rate)

อัตราการไหลของอากาศเป็นตัวควบคุมเวลาที่อาหารจะอยู่ในภาชนะทำแห้ง (residence time) การเพิ่มเวลาให้อาหารอยู่ในภาชนะทำแห้งนานขึ้นจะมีผลทำให้การระเหยน้ำมีมากขึ้น การลดความเร็วของอากาศช่วยให้เก็บรวบรวมอาหารผงจากภาชนะทำแห้งได้ดี แต่ความสามารถของเครื่องจักรจะลดลง ซึ่งแก้ไขได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของลมเข้า ซึ่งจะทำให้การระเหยน้ำรวดเร็วแต่ bulk density จะลดลงเพราะผงที่ได้มีความโปร่ง (porosity) มากขึ้น

2.5.3.6 อุณหภูมิในการทำแห้ง (Drying temperature)

อุณหภูมิของลมเข้า การเพิ่มอุณหภูมิของลมเข้า โดยที่อัตราการป้อนของอาหารเหลวคงที่ จะเพิ่มความสามารถในการระเหยน้ำ (evaporative capacity) ทำให้การทำแห้งประหยัดขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้ามักเป็นเหตุให้ bulk density ลดลง อัตราการระเหยน้ำเร็วขึ้น และผงที่ได้มีความโปร่งมากขึ้น

อุณหภูมิลมออก เมื่ออุณหภูมิลมออก เพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นในอาหารผงจะลดลง ในการปฏิบัติงานโดยมีอุณหภูมิลมออกต่ำ เพื่อให้ได้ผงที่มีความชื้นสูงนั้นจะมีการทำผงโดย agglomeration อีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อผลิตผงชนิดละลายน้ำได้ทันที (instant powder)

2.6 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (Organoleptic properties)

การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์นั้น ส่วนมากใช้วิธีการให้คะแนนแบบ Hedonic scale ซึ่งเป็นการตัดสินผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยจิตใต้สำนึกในแง่ของความพึงพอใจโดยผู้ทดสอบแสดงออกมาในรูปของความชอบและความไม่ชอบ วิธีนี้เข้าใจง่ายและผู้ทดสอบไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์ การแบ่งช่วงคะแนนอาจแบ่งออกเป็น 5–9 ช่วง ผู้ทดสอบจะให้คะแนนผลิตภัณฑ์ตามลักษณะที่กำหนดไว้ ซึ่งผลของคะแนนสามารถนำมาประเมินค่าทางสถิติได้ (50)

ในการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส โดยการให้ผู้ทดสอบหลาย ๆ คนชิม และให้คะแนนผลิตภัณฑ์อาหารหลายตัวอย่างในเวลาต่อเนื่องกันนั้น จัดเป็นการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดในบลอก (randomized complete-block design) ข้อมูลของคะแนนที่ได้นำมาประเมินผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance)(50)

2.7 อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากเมล็ดเหลืองผงเป็นอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการเกิดกลิ่นหืนจึงเป็นปัญหาสำคัญในการเก็บรักษา เพราะนอกจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านกลิ่นรส ยังทำให้เกิดการสูญเสียกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายและวิตามินซึ่งละลายในน้ำมันอีกด้วย กลิ่นหืนเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งเกิดจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว รวมกับออกซิเจนในอากาศได้สารประเภทเปอร์ออกไซด์ (peroxides) ซึ่งเมื่อสลายตัวจะให้สารประกอบโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น กรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สารประกอบคาร์โบนิล (carbonyl compound) ก่อให้เกิดกลิ่นหืน เนื่องจากปฏิกิริยานี้ไม่จำเป็นต้องมีสารอื่นเกี่ยวข้องด้วยเลย บางครั้งเรียกปฏิกริยานี้ว่า autoxidation กรดไขมันที่ถูกทำลายได้เร็วเนื่องจากปฏิกิริยานี้คือ กรดลิโนลีอิค และกรดลิโนลีนิค (51)

การติดตามปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นเหม็นหืนทำได้หลายวิธี เช่น การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) การหากรดไขมันอิสระ (free fatty acid) การหาค่าไอโอดีน (iodine number) และการหาค่า TBA (thiobarbituric acid number) ซึ่งวิธีสุดท้ายนี้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ (52, 53) คือ

- การวิเคราะห์ไม่ต้องใช้สารละลายสกัดไขมันออกมาก่อนเหมือนวิธีอื่น ทำให้วิเคราะห์ได้รวดเร็ว สามารถติดตามปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในไขมันชนิดที่สกัดไม่ได้ด้วยสารละลายธรรมดา (non extractable fat) เช่น ฟอสโฟลิปิด และไขมันที่รวมอยู่กับโปรตีน ซึ่งไขมันพวกนี้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นมากกว่าไขมันที่ถูกสกัดได้ด้วยสารละลาย (extractable fat) เช่น triglyceride

- ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเนื่องมาจากวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เอง

- ค่า TBA มีความสัมพันธ์กับกลิ่นหืนที่เกิดขึ้น

- ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ง่าย ๆ มีความไว (sensitivity) สูง

จากการศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบคาร์โบนิลที่มีอยู่ในอาหารที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน สรุปว่า สารประกอบที่เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน คือ มาลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งสามารถแยกออกมาได้โดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำของอาหารที่มีสภาพเป็นกรด (54) มาลอนอัลดีไฮด์ที่ถูกกลั่นออกมาสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริค (2-thiobarbituric acid) ให้สารละลายสีชมพูดูดกลืนแสงได้ดีที่ 538 นาโนเมตร ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของมาลอนอัลดีไฮด์ ความเข้มข้นของมาลอนอัลดีไฮด์ต่อตัวอย่างอาหาร 1 กิโลกรัม คือค่า TBA ซึ่งแสดงถึงความมากน้อยของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย