บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 มะเขือเทศ

มะเขือเทศ (tomato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum* Mill. (Bailey, 1924) วงศ์ Solanaceae หรือ Nightshade อยู่ในวงศ์เดียวกันกับมะเขือ พริก และยาสูบ มีถิ่นกำเนิดอยู่บริเวณแถบอเมริกาใต้ โดยเฉพาะในแถบประเทศเปรูและชิลี เป็นมะเขือเทศพันธุ์ป่าที่มีลักษณะของผลดิบสีเขียวและเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อผลสุก (เกียรติเกษตร, 2541) มะเขือเทศเป็นพืชล้มลุกสูง 1–2 เมตร ลำต้นและใบมีขน ผลมีรูปร่างและขนาดต่างๆ กัน ส่วนใหญ่มีลักษณะกลม กลมรี หรือกลมแบน ผลดิบจะมีสีเขียว แต่เมื่อสุกเต็มที่แล้วจะมีสีแดงอมส้มถึงแดง ผิวนอกเรียบเป็นมัน มีเนื้อฉ่ำน้ำ ภายในมีเมล็ดจำนวนมาก (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2546) มีส่วนประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยน้ำ น้ำตาลรีดิวซ์ และกรดเป็นหลัก รองลงมา คือ กรดอะมิโน ไขมัน เกลือแร่ และของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส สารประกอบเพคติก และโปรตีน นอกจากนั้นยังมีสารสี สารต้านอนุมูลอิสระ และสารระเหย ดังตารางที่ 2.1

2.1.1 สายพันธุ์มะเขือเทศพื้นเมือง

มะเขือเทศพันธุ์พื้นเมืองมีความหลากหลายในด้านลักษณะปรากฏ สีผิว ที่ขึ้นอยู่กับแหล่งปลูก สภาพอากาศ อรุณ และคณะ (2553) ได้ศึกษามะเขือเทศพันธุ์พื้นเมืองในภาคเหนือตอนบน แบ่งออกได้เป็น 4 พันธุ์ คือ พันธุ์พื้นเมืองเบอร์ 1 พันธุ์พื้นเมืองเบอร์ 2 พันธุ์สีดา และพันธุ์อีเป๋อ และบริษัท อีสท์เวสท์ซีด จำกัด ได้ศึกษาจำนวน 1 พันธุ์ คือ เพชรชมพู (กรมวิชาการเกษตร, 2548)ทั้งหมด 5 สายพันธุ์ พบว่า

1. มะเขือเทศพันธุ์พื้นเมืองเบอร์ 1 เป็นพันธุ์รวบรวมมาจากเกษตรกรที่อยู่ในอำเภอดอยสะเก็ด ลักษณะพันธุ์มีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ต้นแข็งแรง ให้ผลผลิตสูง ผลดิบมีไหล่ผลเป็นสีเขียว ผลสุกสีแดงทั้งผล ไม่จำเป็นต้องทำค้างยกเว้นในช่วงฤดูฝน เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในการปลูกฤดูร้อนเพราะมีใบดก ผลมักจะอยู่ใต้ใบ แต่สามารถปลูกได้ทุกฤดู ช่อผลมี 5-8 ผล มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 3.8-4.0 องศาบริกซ์ จำนวนเมล็ด 84-155 เมล็ดต่อผล ขนาดผลกว้าง 3.47-3.90 เซนติเมตร สูง 3.75-4.35 เซนติเมตร น้ำหนัก 20.00-22.22 กรัมต่อผล จำนวนผลสด 45-50 ผลต่อกิโลกรัม ผลผลิต 3,999 กิโลกรัมต่อไร่

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2. มะเขือเทศพันธุ์พื้นเมืองเบอร์ 2 เป็นพันธุ์รวบรวมมาจากบ้านวังเลียบ จังหวัดลำปาง เป็นพันธุ์ที่มีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ต้นแข็งแรง ให้ผลผลิตสูง เหมาะสำหรับการปลูกในฤดูฝน มีใบน้อย ทนทานต่อโรค ทรงพุ่มสม่ำเสมอ ไม่ต้องทำค้าง ไม่ต้องตัดแต่ง และสามารถปลูกได้ทุกฤดูให้ผลผลิตสูง ผลดิบมีสีเขียวอ่อนค่อนข้างขาว ส่วนมากทรงพุ่มโปร่งเห็นผลได้ชัดเจนผลสุกสีแดงทั้งผล มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 4.0-5.0 องศาบริกซ์ จำนวนเมล็ด 92-110 เมล็ดต่อผล ขนาดผลกว้าง 3.50 เซนติเมตร สูง 3.50 เซนติเมตร น้ำหนัก 17.55-20.00 กรัมต่อผล จำนวนผลสด 50-57 ผลต่อกิโลกรัม ผลผลิต 3,785 กิโลกรัมต่อไร่

3. มะเขือเทศพันธุ์สีดา มีลักษณะต้นเป็นทรงพุ่มกิ่งเลื้อยเมื่อสุกมีสีชมพู มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 3.5-4.0 องศาบริกซ์ จำนวนเมล็ด 55-114 เมล็ดต่อผล ขนาดผลกว้าง 3.50 เซนติเมตร สูง 4.20 เซนติเมตร น้ำหนัก 20.00-28.00 กรัมต่อผล จำนวนผลสด 37-50 ผล ต่อกิโลกรัม ผลผลิต 3,200 กิโลกรัมต่อไร่

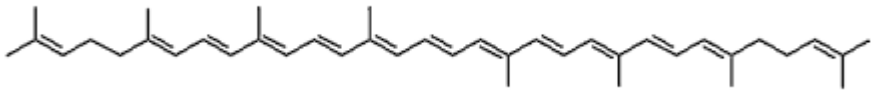
4. มะเขือเทศพันธุ์อีเป๋อ มีลักษณะต้นเป็นทรงพุ่มกิ่งเลื้อย เมื่อสุกมีสีส้ม มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 3.5-3.8 องศาบริกซ์ จำนวนเมล็ด 42-55 เมล็ดต่อผล ขนาดผลกว้าง 2.2 เซนติเมตร สูง 2.3 เซนติเมตร น้ำหนัก 5.0-8.0 กรัมต่อผล จำนวนผลสด 125-200 ผลต่อกิโลกรัม ผลผลิต 2,800 กิโลกรัมต่อไร่ (อรุณ และคณะ, 2553)

5. มะเขือเทศพันธุ์เพชรชมพู มีลักษณะการเจริญเป็นแบบระหว่างทอดยอดและไม่ทอดยอด น้ำหนักผลเฉลี่ยประมาณ 41-60 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.1-5.0 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 2.1-5.0 เซนติเมตร ผลแก่มีสีแดง รูปร่างเป็นแบบกลมสูง อายุเก็บเกี่ยวมากกว่า 70 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

2.2 ไลโคปิน

ไลโคปินเป็นกลุ่มรงควัตถุที่พบในพืชให้สีเหลือง ส้ม ส้มแดงและสีแดง มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ (นิสา, 2546) ไลโคปินที่เป็นรงควัตถุสีแดงพบมากในมะเขือเทศเป็นแคโรทีนอยด์กลุ่มที่เป็นไฮโดรคาร์บอน จัดอยู่จำพวกสารประกอบเตตระเทอร์ปีนซึ่งประกอบไปด้วย isoprene จำนวน 8 หน่วย เรียงต่อกัน (Davis *et al.*, 2003; Egydio *et al.*, 2010) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

สถาบันวิจัยและพัฒนาเกษตร



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ all-*tran* lycopene

ที่มา : Egydio *et al*. (2010)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของมะเขือเทศต่อน้ำหนัก 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง)

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
น้ำ	75-95
น้ำตาลฟรุกโตส	25
น้ำตาลกลูโคส	22
น้ำตาลแซคคาโรส	1
กรดซิตริก	9
กรดมาลิก	4
โปรตีน	8
กรดอะมิโนไดคาร์โบไซลิก	2
สารประกอบเพคติก	7
เซลลูโลส	6
เฮมิเซลลูโลส	4
เกลือแร่	8
ไขมัน	2
กรดแอสคอร์บิก	0.5
สารสี	0.4
อื่นๆ เช่น กรดอะมิโน วิตามิน และโพลีฟีนอล	1
สารระเหย	0.1

ที่มา: ดัดแปลงจาก Petro Turza (1987)

ไลโคปินมีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ ที่ประกอบด้วยมวลโมเลกุล 536.89 ดาลตัน มีลักษณะผลึกเป็นรูปเข็มยาวสีแดงเข้ม มีจุดหลอมเหลวในช่วง 172-173 องศาเซลเซียส โดยมีค่าการดูดกลืนแสง

สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร

สูงสุดที่ระดับ 446 472 และ 505 นาโนเมตร (นิสา, 2546) จากโครงสร้างทางโมเลกุล พบว่า ไลโคปินปกติมีลักษณะทรานส์ทุกพันธะคู่ (all-*trans*) พันธะคู่อาจอยู่ในรูปซิส (*cis*) หรือทรานส์ (*trans*) แต่แคโรทีนอยด์ที่พบในอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูป all-*trans* พบในรูป *cis* และ mono-*cis* แต่ถ้ามี mono-*cis* เพิ่มมากขึ้นสีจะจางลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนจาก *trans*เป็น *cis* คือ แสง ความร้อนและกรด แคโรทีนอยด์ยังสลายตัวได้ง่ายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่เกิดจากแสง ความร้อนและออกซิเจน (Tran *et al*., 2008) โดยเฉพาะเมื่อละลายอยู่ในน้ำมันจึงถูกทำลายได้ง่าย (สุนิษา, 2543) ร่างกายสามารถดูดซึมไลโคปินในได้ง่ายขึ้น เมื่อมะเขือเทศถูกทำให้สุกในไขมันหรือน้ำมันเล็กน้อยโดยไลโคปินถูกปล่อย ออกมาจากมะเขือเทศในขณะทำให้สุกซึ่งไลโคปินจะผสมและละลายได้ในน้ำมันและดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (นวลศรี และอัญชนา, 2545)

จากการศึกษาของ Navarro-Gonzalez *et al.* (2011) พบว่า เส้นใยเปลือกมะเขือเทศประกอบด้วยไลโคปิน 3-4 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำ Pinela *et al.* (2012) รายงานการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศที่ปลูกทางตอนเหนือของประเทศโปรตุเกตุ พบว่า มีปริมาณไลโคปินในช่วง 5.02-9.49 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียก Food ingredients brasil (2008) รายงานว่ามะเขือเทศสดจะมีปริมาณไลโคปินอยู่ในช่วง 0.88-4.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียก และ Frusciante *et al.* (2007) ยังได้รายงานผลการวิเคราะห์ไลโคปินจากมะเขือเทศจากประเทศอิตาลีจำนวน 18 พันธุ์ พบว่า มีปริมาณไลโคปินอยู่ในช่วง 2.33-16.90 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียกด้วย โดยปริมาณไลโคปินในแต่ละสายพันธุ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ เช่น สายพันธุ์ สิ่งแวดล้อม (อุณหภูมิและแสง) และเทคนิคการปลูก (การให้น้ำ สารอาหารแร่ธาตุ ฯลฯ) (Brandt *et al*.,2006; Dumas *et al*., 2003)

ส่วนในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศนั้น Galicia *et al.* (2008) ได้ศึกษาความคงตัวของไลโคปินในมะเขือเทศสายพันธุ์ Saladette โดยนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยการลวกที่อุณหภูมิ 93.5 องศาเซลเซียส นาน 50 วินาที ปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วแยกส่วนของเมล็ดและเปลือกออก นำไปศึกษาความคงตัวเปรียบเทียบกับใส่สารต้านการออกซิเดชัน โดยเก็บไว้ในที่มืดและมีแสงฟลูออเรสเซนที่อุณหภูมิ 4 20 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน พบว่า สารสีในมะเขือเทศที่ผ่านการลวกและเก็บรักษาในสารละลาย (มะเขือเทศปั่นเป็นเนื้อเดียวกัน) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่ามะเขือเทศที่ไม่ผ่านการลวก และสารสีในสารละลายที่ใส่สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะเก็บรักษาได้ดีที่สุด และจะมีการสลายตัวเมื่อถูกแสงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มากกว่าเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Anguelova and Warthesen (2008) ได้ศึกษาความคงตัวของไลโคปินในรูป *-cis* ของมะเขือเทศผงทางการค้า 2 ชนิด โดยเก็บไว้ในที่มีแสงที่อุณหภูมิ 6 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวร้อยละ 60 และที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวต่ำกว่าที่ร้อยละ 30

ไลโคปินมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Binoy *et al*., 2004) ช่วยป้องกันเซลล์ถูกทำลายจากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) จากออกซิเจนที่อยู่ในรูปที่ว่องไวมาก (reactive) เช่น ออกซิเจนอะตอมเดียว (singlet oxygen) อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anion radicals) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) เปอร์ออกซีไนไตรท์ (peroxynitrite) และอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxy radical) เป็นต้น ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เนื่องจากอนุมูลเหล่านี้จะมีอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ (unpaired electrons) ซึ่งพยายามดึงอิเล็กตรอนของชีวโมเลกุลอื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียง เช่น ไขมันหรือโปรตีนเข้ามาก่อให้เกิดผลเสียหายต่อโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ข้างเคียงที่เป็นสาเหตุของโรคชราและความชรา

Kim *et al.* (2011) ศึกษาอาหารเสริมไลโคปินที่มีผลต่อสภาวะความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) และเครื่องหมาย (markers) ของระบบภายใน (endothelial) ในสุขภาพของผู้ชาย พบว่า การให้อาหารเสริมไลโคปินเป็นแคปซูล 15 มิลลิกรัมต่อวัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำให้ปริมาณไลโคปินในน้ำเหลืองเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ลดสภาวะความเครียดออกซิเดชันได้มีความสัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งบางชนิด Binoy *et al.* (2004) ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศ (*Lycopersium esculentum*) 12 สายพันธุ์ พบว่ามะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ 818 มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในรูปของไลโคปิน แอสคอบิก และฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระสูง Riadh *et al*. (2011) พบสารไลโคปิน บีต้าแคโรทีน ลูทีน ฟีนอลทั้งหมด กรดแอสคอบิก (Ascorbic acid; AsA) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (dehydoascorbic acid; DHA) และวิตามินซีทั้งหมด (AsA+DHA) ในมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) 6 สายพันธุ์ นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีไลโคปินสะสมในเนื้อเยื่อไขมันในปริมาณสูงจะมีอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจที่ต่ำลง โดยคาดว่าไลโคปินยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันบนเมมเบรนดีเอนเอ (DNA) รวมทั้งไลโพโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein; LDL) และโมเลกุลอื่นๆ ที่ถูกทำลายได้ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยไลโคปินจะจับอนุมูลอิสระและไปสะเทินความไวในการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ (วีระศักดิ์, 2548)

2.3 การสกัดไลโคปินจากมะเขือเทศด้วยเอนไซม์

มะเขือเทศมีผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสและเพคติน โดยเพคตินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์อยู่ในเนื้อเยื่อเซลล์ชั้นกลาง (Middle lamella) ทำหน้าที่เชื่อมเซลล์เข้าด้วยกัน โดยจับกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช (Keegstra, 2010) ภายในบรรจุโครโมพลาสต์ที่มีรงควัตถุอยู่ภายในที่ประกอบด้วยไลโคปินและแคโรทีนอยด์ โดยพบไลโคปินในมะเขือเทศสูงร้อยละ 48 (Ramandeep and Geoffrey, 2005) สารรงควัตถุเหล่านี้สกัดออกมาได้ยากเนื่องจากมีเพคตินที่ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกันคล้ายเป็นซีเมนต์และเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในผนังเซลล์ที่ไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรดและด่างที่เจือจาง แต่ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (นิธิยา, 2551)

มีรายงานการวิจัย การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ในการสกัดสารสกัดจากพืชมากมาย เนื่องจากการสกัดสารด้วยวิธีทางชีวภาพด้วยการใช้เอนไซม์จะมีความจำเพาะเจาะจงต่อสับสเตรต มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค มีต้นทุนต่ำกว่าการใช้สารเคมี และไม่มีตัวทำละลายเหลือตกค้างอยู่ในสารที่สกัด (กัญญรัตน์ และจันทนี, 2553, Zuorro *et al*., 2011) โดยเอนไซม์ที่นำมาสกัดไลโคปิน ได้แก่

2.3.1 เอนไซม์เพคติเนส

เอนไซม์เพคติเนส สามารถพบทั่วไปในพืชชั้นสูงเช่นเดียวกับที่พบสารประเภทเพคตินซึ่งอยู่กันคนละชั้นของเซลล์แต่เมื่อเซลล์พืชฉีกขาดหรือได้รับการกระทบกระเทือน เอนไซม์และเพคตินจะเคลื่อนเข้าใกล้กันทำให้เกิดการย่อยสลายขึ้น โดยทำหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินที่ผนังเซลล์ จำแนกออกเป็น 3 ชนิด พบได้ในพืชชั้นสูงและจุลินทรีย์ 2 ชนิด คือ เพคตินเอสเทอร์เรส (Pectinesterase, Pectin pectylhydrolase, EC 3.1.1.11), PE และพอลิกาแลคทูโรเนส (Polyfalacturonase, Poly-α-1,4 galacturonide glycanohydrolase, EC 3.2.1.15), PG และที่พบในจุลินทรีย์อีก 1 ชนิด คือ เพคเตทไลเอส (Pectaselyases, Poly-α-1,4-D-galacuronide lyase, EC 4.2.2.2), PL

2.3.2 เอนไซม์เซลลูเลส

เซลลูเลส เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชทุกชนิด เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสมาต่อเรียงกันด้วยพันธะบีตา-1,4-ไกลโคไซด์ จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้คือ *Trichoderma viride* mutant QM9123 จุลินทรีย์มิวแตนต์สายพันธุ์นี้สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่มีกิจกรรมการทำงานเพิ่มสูงกว่าสายพันธุ์เดิม 2 เท่า เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายเซลลูโลสและสารผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่เซลลูเลส แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. เอนโดกลูคาเนส [1,4(1,3:1,4)-β-D-glucan 4-glucanohydrolases, EC 3.2.1.4]

2. เซลโลไบโอไฮโดรเลส [1,4-β-D-glucancellobiohydrolases, EC 3.2.1.91]

3. เอกโซกลูโคไฮโดรเลส [1,4-β-D-glucanglucobiohydrolase, EC 3.2.1.74]

4. บีตา–กลูโคซิเดส(β-D-glucosideglucohydrolase EC 3.2.1.21)

2.3.3 เอนไซม์เฮมิเซลลูเลส

เฮมิเซลลูเลส เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลหลายชนิดรวมกัน มีโครงสร้างเป็นสารประกอบเฮทเทอโรไกลแคน (heteroglycan) พบมากในผนังเซลล์พืช มีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ซึ่งต่างจากเซลลูโลสที่เป็นเส้นตรง เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบโพลีแซคคาร์ไรด์พวกคาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์อสัณฐาน (amorphous polymeric carbohydrate) ที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส พบมากในไม้เนื้อแข็งและพืชตระกูลหญ้า ปกติจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนิน และเพคตินในผนังเซลล์พืช สามารถละลายได้ในสารละลายด่างเจือจาง เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยไซแลน กลูแคน กลูโคแมนแนน และกาแลคแตน โดยมี 2 องค์ประกอบหลักๆ คือ ไซแลนและกลูโคแมนแนน

โครงสร้างของไซแลนมีน้ำตาลไซโลสเป็นแกนหลัก (backbone) จับด้วย β-1,4-linkage และมีน้ำตาลชนิดอื่นๆ อยู่ในส่วนของโซ่กิ่ง (branch chain) ได้แก่ น้ำตาลเพนโตส น้ำตาลเฮกโซส และกรดยูโรนิค เนื่องจากไซแลนมีโครงสร้างเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ (heteropolymer) ดังนั้นจึงย่อยสลายได้ไม่สมบูรณ์ โดยส่วนใหญ่เฮมิเซลลูโลสในพืชส่วนใหญ่มีโครงสร้างหลักเป็นไซแลนเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันเฉพาะชนิด จำนวนและตำแหน่งของหน่วยโซ่ (chain unit) นอกจากนี้ไซแลนส่วนใหญ่ในเฮมิเซลลูโลสยังยึดเกาะกับเซลลูโลสด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นไซแลนจึงมีหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างโครงสร้างของเส้นใยกับผนังเซลล์พืชให้มีความแข็งแรง (ภาวิณี, 2545)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

1. ความเข้มข้นของเอนไซม์ และสารเริ่มต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับจำนวนการเข้าจับกันของโมเลกุลของเอนไซม์ และสารเริ่มต้น เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าด้วย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ต่อไปเรื่อยๆ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มช้าลงและคงที่ในที่สุด เพราะสารเริ่มต้นเริ่มหมดไป ทำให้เป็นตัวจำกัดในการเกิดปฏิกิริยาได้ อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับการเข้าจับกันของโมเลกุล ซึ่งจะจับกันมากขึ้นเมื่อมีปริมาณเอนไซม์ หรือสารเริ่มต้นมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายจะมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ในหลายๆ ด้าน โดยทั่วไปแล้วเอนไซม์แต่ละชนิดจะมีระดับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการทำงานซึ่งระดับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของเอนไซม์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6-8 การทำงานของเอนไซม์ลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูง หรือต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม เนื่องจากเอนไซม์เสื่อมสภาพได้ และมีผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาด้วย

3. อุณหภูมิ โดยทั่วไปปฏิกิริยาที่ถูกเร่งโดยเอนไซม์จะเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 0 เป็น 35 หรือ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นด้วยเอนไซม์ต่างชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานแตกต่างกัน ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าระดับที่เหมาะสมแล้ว อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้าลงเพราะเอนไซม์เสื่อมสภาพ เอนไซม์ของพืชส่วนใหญ่เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 35 หรือ 40 องศาเซลเซียส

4. ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นสามารถวัดได้จากอัตราการหายไปของสารเริ่มต้น หรือการปรากฏขึ้นของผลิตภัณฑ์ หรือทำทั้ง 2 วิธีพร้อมกัน อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป เพราะอาจเกิดการเสื่อมสภาพของเอนไซม์ นอกจากนั้นยังเกิดเพราะมีการลดลงของสารเริ่มต้น และได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์มากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งอาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (reversibility) โมเลกุลของผลิตภัณฑ์จะรวมกับเอนไซม์แทนสารเริ่มต้นทำให้ปฏิกิริยาถูกจำกัด (ชัยพิชิต, 2548)

Choudhari and Ananthanarayan (2007) ศึกษาการใช้เอนไซม์สกัดไลโคปินจากเนื้อเยื่อมะเขือเทศทั้งผล และเปลือก โดยใช้เอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลส พบว่า เอนไซม์เพคติเนสและเอนไซม์เซลลูเลสสามารถสกัดไลโคปินจากมะเขือเทศทั้งผลได้ร้อยละ 224 และ 198 ตามลำดับ และในเปลือกมะเขือเทศได้ร้อยละ 206 และ 107 ตามลำดับ กัญญรัตน์ และจันทนี (2553) ได้ศึกษาการสกัดไลโคปินจากกากมะเขือเทศโดยใช้เอนไซม์ทางการค้า ศึกษาระยะเวลาในการย่อยและการสกัดร่วมกับสารทำละลายอินทรีย์ พบว่าการใช้เอนไซม์ทางการค้า ที่ระยะเวลาการย่อย 50 นาที ร่วมกับเอทิลอะซีเตดได้ปริมาณผลผลิตไลโคปินเพิ่มขึ้นร้อยละ 142.2–149.7 Zuorro *et al.* (2011) ได้ออกแบบวิธีสกัดไลโคปินจากของเหลือที่ได้จากการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะเขือเทศด้วยเอนไซม์เพคติเนส (pectinolytic) และเอนไซม์เซลลูเลส (cellulolytic) 50:50 ด้วยวิธีตอบสนองพื้นผิวพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ใช้อุณหภูมิในการสกัด 30 องศาเซลเซียส เวลา 3.18 ชั่วโมง และใช้เอนไซม์ 0.16 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 อายุการเก็บรักษาไลโคปินจากเนื้อมะเขือเทศ

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงเวลาตั้งแต่ผลิตภัณฑ์นั้นได้ผลิตขึ้นมา ระหว่างช่วงเวลาดังกล่าว ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณค่าทางอาหาร รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏเป็นที่พอใจของผู้บริโภค จนถึงเวลาที่ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค หรือไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคซึ่งคุณภาพจะลดลงตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น แสง ความร้อน และอนุมูลโลหะบางชนิดสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี (งามทิพย์, 2550) ซึ่งจะเกิดระหว่างการเก็บรักษาของสารสกัดจากพืช การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งทำให้มีประโยชน์ต่อร่างกายลดลงและทำให้สีซีดจาง

การศึกษาอายุการเก็บมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อคงคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่ต้องการภายใต้สภาวะการเก็บและการขนส่งหนึ่งๆ โดยอายุการเก็บของอาหารต่างๆ นั้นจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเก็บด้วย โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บได้แก่ ปัจจัยภายใน (intrinsic factors) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องผลิตภัณฑ์ ดังนี้คือ ชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบ องค์ประกอบ สูตรและโครงสร้างผลิตภัณฑ์ (ปริมาณสารอาหาร) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเป็นกรดทั้งหมด ชนิดของกรด รวมทั้งจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติและจำนวนจุลินทรีย์ที่หลงเหลือ ปัจจัยภายนอก ได้แก่ การแปรรูป สุขลักษณะ ภาชนะบรรจุและระบบการบรรจุ การเก็บ การขนส่งและการวางจำหน่าย อันตรกิริยาของปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน คือ ทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกต่างมีผลต่ออายุการเก็บหรือมีผลในลักษณะที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน ภาชนะบรรจุ การใช้บรรจุภัณฑ์ที่ดีสามารถป้องกันการเสื่อมเสียจากบรรยากาศ ทำให้อายุการเก็บนานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เดียวกันแต่ใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ดีพอคือป้องกันการเสื่อมเสียจากบรรยากาศได้น้อยกว่า

2.4.1 การประเมินอายุการเก็บ

ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอาหารระหว่างการแปรรูปและการเก็บจะเกิดขึ้นด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ อาจเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการประเมินอายุการเก็บ ดังนั้นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ

การทดสอบหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารมีอยู่ 2 วิธี คือ

1. การทดสอบในสภาวะปกติ โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ทดสอบไว้ที่สภาวะควบคุมปกติ สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพเป็นระยะๆ จนกระทั่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียจนไม่เป็นที่ยอมรับ กำหนดให้ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงเวลาที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับเป็นอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นั้น

สถาบันวิทยบริการ

2. การทดสอบในสภาวะเร่ง (Accelerated Shelf-life Testing) โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่สภาวะควบคุมที่สามารถเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้

การศึกษาอายุการเก็บของไลโคปินที่สกัดจากส่วนของมะเขือเทศ พรรณจิรา และคณะ (2550) ได้ศึกษาการเสื่อมสลายไลโคปินในกากมะเขือเทศที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4±2 25±2 และ 29±2 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบการสลายตัวของไลโคปิน พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไลโคปินในกากมะเขือเทศ ที่อุณหภูมิ 29±2 องศาเซลเซียส จะเกิดได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 25±2 และ 4±2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Safdar *et al.* (2010) ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของซอสมะเขือเทศที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความเสียหายน้อยที่สุด โดยการเตรียมตัวอย่างซอสมะเขือเทศใส่สารโซเดียมเบนโซเอตร้อยละ 0.1 และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 6 และ -10 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง แต่ปริมาณความเป็นกรด-ด่างและปริมาณวิตามินซีจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Znidarcic and Pozrl (2006) รายงานการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในมะเขือเทศ Malike (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน โดยพบว่า ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณการสูญเสียน้ำหนักมาก มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณกรดสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และมีการศึกษาความเสถียรของแคโรทีนอยด์ในน้ำมะเขือเทศที่เก็บน้ำมะเขือเทศภายใต้สภาวะมืดและแสงไฟจากหลอดฟลูออเรสเซน ที่อุณหภูมิ 4 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 สัปดาห์ พบว่า all-*trans*-lycopene และ*cis* isomers ลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บ การเก็บในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบ 15-*cis*-lycopene อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบ 9-*cis*- และ13-*cis*-lycopene และอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบ 5-*cis*-lycopene และ13-*cis*-lycopene เป็นส่วนใหญ่ และการเก็บภายใต้แสงไฟ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบ 9-*cis*- และ di-*cis*-lycopene (II) ขณะที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียส พบ 13-*cis*- and 15-*cis*-lycopene (Lin and Chen, 2004)

Tran *et al.* (2008) รายงานการศึกษาอายุการเก็บไลโคปินในเยื่อฟักข้าวผงบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีนในสภาพสุญญากาศเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 25 และ 37 องศาเซลเซียส ในที่มืดนาน 4 เดือน พบว่า หลังจากการเก็บรักษานาน 16 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 ขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

จะคงอยู่ที่ระดับร้อยละ 68 หลังจากเก็บรักษา 12 สัปดาห์ และอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส หลังจากสัปดาห์ที่ 10 การสลายตัวของแคโรทีนอยด์จะคงอยู่ที่ระดับร้อยละ 75

2.5 ผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่

ผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่เป็นผลิตภัณฑ์กลุ่มเดียวกันกับมักกะโรนี สปาเกตตี้ และพาสต้า เส้นบะหมี่เป็นอาหารหลักของประชากรชาวเอเชียมาตั้งแต่ 500 ปีก่อนคริสตกาล และนิยมบริโภคอย่างแพร่หลายในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นได้รับวัฒนธรรมการผลิตมาจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนโดยนำมาดัดแปลงเป็นเส้นบะหมี่ญี่ปุ่น (udon) ในปัจจุบัน มีการผลิตเส้นบะหมี่หลายชนิด ซึ่งนิยมบริโภคเป็นอาหารหลักในมื้อกลางวันเป็นส่วนใหญ่ การบริโภคบะหมี่ในประเทศไทยนั้นสันนิษฐานว่ามาจากชาวจีนที่อพยพเข้ามาตั้งรกรากในประเทศไทย แล้วนำมาผลิตเพื่อบริโภคและจำหน่ายซึ่งเส้นบะหมี่ที่พบมากในประเทศไทย ได้แก่ เส้นบะหมี่กวางตุ้ง เส้นบะหมี่แต้จิ๋ว และเส้นบะหมี่ฮกเกี้ยน (ณรงค์, 2528)

2.5.1 ชนิดของเส้นบะหมี่

แบ่งออกได้ 6 ชนิด ตามลักษณะของกรรมวิธีการผลิต ดังนี้

1. บะหมี่สด ทำได้จากการผสมแป้งสาลีกับน้ำและส่วนผสมอื่น ได้แก่ สารละลายด่าง ไข่ เกลือ และอาจใส่สีเหลืองที่ใช้ใส่ในอาหารได้ลงไปผสมจนเป็นเรียบเนียน มีความชื้นประมาณร้อยละ 35 และพักไว้ 10-20 นาที นำมารีดให้มีความหนาประมาณ 1.5-2.0 มิลลิเมตร ตัดเป็นเส้นกลมหรือแบน ขนาดเล็กหรือใหญ่ หรืออาจทำเป็นแผ่นบางๆ เรียกว่า แผ่นเกี๊ยว จัดเป็นบะหมี่ที่ยังดิบอยู่ นิยมทำเพื่อบริโภคทันที หรือภายใน 1-2 วัน โดยก่อนบริโภคต้องนำมาลวกหรือต้มให้สุกและปรุงรสตามความนิยมของชนในท้องถิ่น อาจใส่หมูแดง ลูกชิ้นปลา เครื่องใน หอม ผักชี ทำเป็นบะหมี่หรือบะหมี่แห้ง หรือเป็นเกี๊ยวห่อด้วยหมู ลวกหรือต้มด้วยน้ำร้อน หรือนำไปทอดก่อนแล้วจึงนำมาปรุงเป็นเครื่องปรุงในบะหมี่อีกส่วนหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการปรุงบะหมี่สดของคนไทย โดยได้รับอิทธิพลในการบริโภค และการประกอบอาหารเส้นประเภทนี้มาจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

2. บะหมี่สุก เมื่อนำบะหมี่สดมาลวกให้ผิวนอกของเส้นสุก เพื่อเป็นการทำลายจุลินทรีย์และช่วยให้เก็บได้นานวันขึ้น คลุกด้วยน้ำมันเพื่อไม่ให้เส้นติดกันง่าย บะหมี่สุกนี้จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 50 เมื่อบริโภคก็นำมาลวกให้สุกทั้งหมดอีกครั้งแล้วปรุงรสตามชอบ

3. บะหมี่แห้ง หรือบะหมี่สดแห้ง การทำแห้งเส้นบะหมี่ช่วยให้สามารถเก็บบะหมี่สดไว้ได้นานขึ้น จึงได้พัฒนากรรมวิธีโดยนำบะหมี่สดมาทำให้แห้งด้วยการตากแดดอย่างช้าๆ หรือการนำเข้าตู้อบควบคุมความร้อนให้ค่อยๆ สูงขึ้นอย่างเหมาะสม เพื่อให้เส้นบะหมี่ค่อยๆ แห้งลง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากความชื้นร้อยละ 35 ลงเหลือร้อยละ 8-10 วิธีการทำแห้งนี้ ต้องระมัดระวังมากเพื่อไม่ให้เส้นบะหมี่แห้งเปราะและหักง่ายจึงต้องทำเป็นลำดับ 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ลดความชื้นของเส้นบะหมี่จากร้อยละ 35 ลงเหลือร้อยละ 24 ด้วยการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 เป็นเวลา 30-40 นาที ขั้นตอนที่ 2 ลดอุณหภูมิของตู้อบลงเป็น 28-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72-77 เพื่อการกระจายความชื้นในเส้นให้สม่ำเสมอ ขั้นตอนที่ 3 จะควบคุมอุณหภูมิของตู้อบให้อยู่ระหว่าง 25-28 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 68-72 จนกระทั่งบะหมี่แห้งมีความชื้นเพียงร้อยละ 8-10 เมื่อต้องการบริโภคต้องนำมาแช่น้ำและต้มน้ำให้คืนตัว

4. บะหมี่ทอด วิธีการทอดเป็นการลดความชื้นของบะหมี่สดเพื่อให้เก็บได้นานขึ้น อีกวิธีหนึ่งที่รวดเร็วกว่าการทำแห้งโดยความร้อน และเมื่อต้องการบริโภคจะต้มบะหมี่สุกเร็วกว่าบะหมี่แห้งธรรมดา จึงเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบันโดยเพิ่มเติมและดัดแปลงกรรมวิธีต่อไปเป็นบะหมี่ทอดสำเร็จรูป

5. บะหมี่แห้งสำเร็จรูป วิธีการทำบะหมี่แห้งสำเร็จรูปนี้ปรับปรุงจากการทำบะหมี่สด โดยนำมาผ่านไอน้ำให้สุกชั้นหนึ่งก่อนแล้วจึงนำมาจับรวมเป็นก้อนขนาดเหมาะสม ทำให้แห้งโดยวิธีการอบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ เมื่อแห้งดีแล้วจะมีความชื้นเหลืออยู่ร้อยละ 10-13 นำมาบรรจุซองพร้อมกับซองเล็กใส่เครื่องปรุงทั้งในรูปผลหรือน้ำมัน ผลิตภัณฑ์นี้จะเก็บได้นานเป็นปี เมื่อต้องการบริโภคก็นำมาต้มให้สุกเพิ่มขึ้น ปรุงรสด้วยเครื่องปรุงพร้อมทั้งเติมเนื้อและผักตามชอบ บะหมี่ชนิดนี้มีความเหนียวกว่าบะหมี่สดแห้ง เนื่องจากโปรตีนได้เปลี่ยนรูปไปและอยู่ในรูปที่เหนียวกว่าเดิม

6. บะหมี่ทอดสำเร็จรูป เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบันเนื่องจากเก็บได้นานและนำมาบริโภคได้ง่ายเพียงลวกในน้ำร้อนเดือด 5 นาที หรือต้มโดยใช้เวลาสั้นกว่าบะหมี่แห้งสำเร็จรูป ปรุงรสได้หลายรสและรสชาติดี ทำโดยการนำบะหมี่สดมาอบไอน้ำร้อน จับเส้นให้เป็นกลุ่มขนาดและน้ำหนักคงที่เหมาะสมต่อการบริโภค 1 ชาม นำไปทอดในน้ำมันร้อนเดือด ด้วยการจุ่มให้น้ำมันท่วมเส้นบะหมี่ทั้งหมด เมื่อสุกทำให้สะเด็ดน้ำมัน ทิ้งให้เย็นบรรจุซองรวมกับซองเครื่องปรุงต่างๆ บะหมี่ชนิดนี้จะมีความชื้นเพียงร้อยละ 5-8 จึงเก็บได้นานโดยไม่มีกลิ่นเหม็นหืน ทำให้นิยมบริโภคกันแพร่หลายทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย

2.5.2 ส่วนผสมในการผลิตเส้นบะหมี่

ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตเส้นบะหมี่จีนประกอบด้วยแป้งสาลี (โปรตีนร้อยละ 12-14) จำนวนร้อยละ 100 น้ำร้อยละ 30-35 เกลือร้อยละ 1-1.5 และด่างร้อยละ 1.5 ส่วนเส้นบะหมี่ญี่ปุ่น

สถาบันวิทยบริการ

ผลิตจากแป้งสาลีชนิดอ่อน (โปรตีน ร้อยละ 9-10) ร้อยละ 100 น้ำร้อยละ 28-33 และเกลือร้อยละ 2 โดยไม่ใส่ด่าง (Loo, n.d.)

2.5.3ลักษณะและสมบัติของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตเส้นบะหมี่

1. แป้งสาลี เป็นส่วนประกอบหลักของเส้นบะหมี่มีปริมาณถึงร้อยละ 90–95 ดังนั้นลักษณะของเส้นบะหมี่ ทั้งทางกายภาพและทางเคมีจะขึ้นอยู่กับ สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งสาลี อรอนงค์ (2540) กล่าวว่า แป้งทำเส้นบะหมี่จีนอย่างดีควรจะเป็นแป้งพาเทนต์ที่สกัดจากข้าวสาลีจากส่วนเนื้อในเมล็ดตรงกลาง มีความสามารถในการดูดซึมน้ำในช่วงร้อยละ 64.4±1.1 มีลักษณะการยืดตัวที่วัดได้จากเครื่องเอกซ์เทนซิกราฟประมาณ 24.5±1.1 เซนติเมตร มีแรงต้านการยืดตัวประมาณ 471±43 อี.ยู. สีแป้งขาวนวล มีเถ้าประมาณร้อยละ 0.40±0.02 มีโปรตีนประมาณร้อยละ12.5±0.6 มีเอนไซม์ในแป้งน้อย วัดเป็นค่ามอลโตสได้ 174±18 มิลลิกรัม มีความหนืดเนื่องจากสตาร์ชในแป้งมีความเหมาะสม โดยมีเวลาถึงจุดสูงสุด 43.3±0.3 นาที และค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 60±16 เอ.ยู. เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งพาเทนต์ทั่วไป จะมีช่วงการยอมรับกว้างขึ้น คุณภาพของเส้นบะหมี่จึงด้อยลง ถ้าใช้แป้งชนิดสเทรตเกรดมีผลถึงลักษณะทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไป ทำให้คุณภาพของเส้นบะหมี่ไม่ดีเท่าแป้งพาเทนต์ อย่างไรก็ตามแป้งสเทรตชนิดดีก็จะให้ลักษณะของเส้นบะหมี่ที่ดีกว่าชนิดทั่วๆ ไป

ปัจจัยที่สำคัญของแป้งสาลีที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน กลูเตน เอนไซม์ และรงควัตถุอื่นๆ

สตาร์ช เป็นส่วนประกอบหลักของแป้งสาลี กล่าวคือ ในแป้งสาลีจะมีสตาร์ชประมาณร้อยละ 67 สตาร์ชจึงเป็นโครงสร้างของเส้นบะหมี่และมีความสำคัญต่อคุณภาพของบะหมี่มาก โดยมีความสัมพันธ์กับกลูเตนในแป้งสาลี ซึ่งทำให้เส้นมีความยืดหยุ่น และสามารถรีดเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้นได้ และมีผลต่อคุณภาพเส้นบะหมี่หลังต้มสุกในด้านความเหนียวและความคงตัวของเส้นที่ดีและส่งผลต่อลักษณะการกัดเคี้ยวที่ดี แป้งสาลีมีโปรตีนที่สำคัญ คือ ไกลอะดิน (gliadin) และกลูเตนิน (glutenin) โดยโปรตีนทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณใกล้เคียงกัน เมื่อนำแป้งสาลีมาผสมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม แล้วนวดจะได้โดที่มีความยืดหยุ่น เนื่องจากทำให้น้ำสามารถจับกับโมเลกุลของโปรตีนเกิดร่างแหสามมิติ เรียกว่า กลูเตน (Tilley *et al.,* 2001) กลูเตนประกอบด้วยพันธะที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีระหว่างกรดอะมิโนภายหลังการนวด คือ พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก พันธะไดซัลไฟด์ พันธะไฮโดรฟิลิก และพันธะไฮโดรโฟบิก (Giannou *et al*,. 2003) จากการศึกษาของ Rho *et al.* (1989) พบว่า กลูเตนในแป้งสาลีมีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของบะหมี่ เพราะกลูเตนจะเป็นตัวที่ทำให้บะหมี่เกิดลักษณะการกัดเคี้ยวที่ดี โดยลักษณะของสตาร์ช โปรตีนและกลูเตนที่เหมาะสมนั้น ขึ้นกับเอนไซม์ในแป้ง

สาลีด้วย กล่าวคือ เอนไซม์ในแป้งส่วนใหญ่จะทำให้คุณภาพของแป้งสาลีลดลง ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของบะหมี่ โดยเอนไซม์ที่พบทั่วไปในแป้งสาลี คือ เอนไซม์อะไมเลส หากมีปริมาณมากจะส่งผลทำให้คุณภาพของสตาร์ชเสื่อมไป ทำให้สตาร์ชมีความยืดหยุ่นและมีความหนืดลดลง เมื่อนำมาทำเส้นบะหมี่จะทำให้เส้นบะหมี่ไม่เหนียว เปื่อยง่าย เส้นแฉะ และไม่คงตัว เอนไซม์โปรตีเอสทำให้คุณสมบัติของโปรตีนเสียไป ส่งผลต่อความคงตัวและความยืดหยุ่นภายในแป้งลดลง มีผลทำให้บะหมี่ไม่คงตัวและไม่มีความยืดหยุ่น และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส เป็นเอนไซม์ที่จะทำปฏิกิริยาออกซิเดสกับไทโรซีนหรือสารฟีนอลอื่นๆ ในแป้งสาลี ทำให้แป้งสาลีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (อรอนงค์, 2532)

ดังนั้นแป้งสาลีที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ ต้องเป็นแป้งที่โม่จากข้าวสาลีที่มีลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่ดี ไม่เกิดการงอก เมื่อนำมาโม่เป็นแป้งจะมีสตาร์ชเสียหายน้อย ขนาดเม็ดแป้งมีความสม่ำเสมอและมีอัตราการสกัดได้ต่ำกว่าแป้งสาลีทั่วไป เนื่องจากไม่มีรำและคัพภะปน เป็นแป้งที่มีส่วนประกอบทางเคมี ปริมาณและคุณภาพของโปรตีนตรงตามลักษณะบะหมี่ที่ต้องการ คือ บะหมี่จีนมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10-12 ส่วนบะหมี่ญี่ปุ่นมีโปรตีนประมาณร้อยละ 9-10 สตาร์ชมีความข้นหนืดสูง ไม่มีเอนไซม์ในแป้ง มีสารให้สีประเภทฟลาโวนเหมาะสมต่อการเกิดสีเมื่อทำปฏิกิริยากับด่างโดย ให้สีเหลืองใสในบะหมี่จีน ส่วนแป้งทำบะหมี่ญี่ปุ่นควรจะมีสารให้สีน้อยที่สุด เพราะไม่มีการเติมสารละลายด่างเพื่อให้บะหมี่คงสีขาวนวล

2. น้ำ เป็นส่วนผสมสำคัญในการทำเส้นบะหมี่ ซึ่งต้องเติมลงไปเพื่อให้แป้งจับตัวเป็นก้อนโดที่มีความยืดหยุ่นและรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้ น้ำมีผลต่อลักษณะของเส้นบะหมี่โดยตรง กล่าวคือ ถ้าใส่น้ำในส่วนผสมน้อยไป โครงร่างเส้นบะหมี่จะไม่แข็งแรง จะร่วนและโปร่ง ทำให้เส้นบะหมี่แข็งและขาดง่ายแต่ถ้าใส่น้ำมากเกินไป โดจะแฉะเหนียวติดมือรีดไม่ได้ ตัดเป็นเส้นก็จะติดกันง่าย ดังนั้นปริมาณน้ำที่เติมลงไปในสูตรควรจะเหมาะสมต่อชนิดเส้นบะหมี่ ซึ่งโดยทั่วไปจะเติมประมาณร้อยละ 30-40 นอกจากนั้นคุณภาพน้ำที่ใช้ก็มีความสำคัญต่อลักษณะโดเช่นกัน เนื่องจากน้ำมีองค์ประกอบของแร่ธาตุ สารอินทรีย์และก๊าซบางชนิดปนอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นน้ำจึงมีส่วนให้สภาพของโดเปลี่ยนแปลงไปถ้าน้ำมีแร่ธาตุและสารอื่นปนอยู่มาก โดยเฉพาะแร่ธาตุแคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม จะมีผลทำให้การดูดน้ำของแป้งไม่สม่ำเสมอมีโครงสร้างของโดไม่เรียบเนียน จึงได้เส้นบะหมี่ที่ไม่ดี นอกจากนี้เกลือของเหล็กและทองแดง อาจทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดสีน้ำตาลและมีกลิ่นหืนเมื่อเก็บรักษาเส้นบะหมี่ไว้นาน ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค น้ำที่เหมาะสมในการทำเส้นบะหมี่ที่ดีจึงควรเป็นน้ำอ่อนมีแร่ธาตุและสารอื่นเจือปนในปริมาณต่ำ แต่ถ้าน้ำอ่อนไปไม่มีอะไรเจือปนเลยก็จะไม่ดีเพราะจะทำให้โดแฉะมีความยืดหยุ่นตัวน้อยกว่าน้ำอ่อนที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. เกลือ ปริมาณเกลือที่ใส่ลงในสูตรการทำเส้นบะหมี่ ก็เพื่อปรับสภาพน้ำให้เหมาะสมกับชนิดของเส้นบะหมี่ที่ต้องการซึ่งอาจจะใส่หรือไม่ใส่ก็ได้ (ร้อยละ 0-2) เกลือมีผลโดยตรงต่อลักษณะกลูเตนในโดโดยเพิ่มความแข็งแรงและแรงต้านการยืดตัวของโด ช่วยไม่ให้โดแฉะเมื่อเป็นเส้นบะหมี่จะไม่ติดกัน นอกจากนี้เกลือยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ประเภทย่อยโปรตีนช่วยให้โดคงความเหนียวและความยืดหยุ่นอยู่ได้นานและยังช่วยระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย รา และยีสต์ จึงทำให้สามารถเก็บรักษาเส้นบะหมี่ได้นาน

4. สารละลายด่าง ในการทำเส้นบะหมี่จีนนิยมเติมสารละลายด่างซึ่งเป็นสารที่มีส่วนผสมของด่างหลายชนิด ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมคาร์บอเนต ผสมกับไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต หรืออาจใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์โดยตรงในปริมาณที่เหมาะสม (ร้อยละ 0.3) สารละลายด่างนี้ทำให้ลักษณะโดเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยทางกายภาพมีผลต่อลักษณะการอุ้มน้ำของโดและการดูดซึมน้ำของแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้สตาร์ชในโดมีความหนืดเพิ่มขึ้นช่วยให้โดมีความแข็งแรงต่อการผสมได้มากกว่าเดิม โดมีความยืดตัวได้มากขึ้น ส่วนผลทางเคมีนั้นที่สำคัญ คือ ทำให้ความเป็นด่างของโดเพิ่มขึ้น ทำให้สีของบะหมี่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองจากปฏิกิริยาของด่างกับสาร ฟลาโวนในแป้ง นอกจากนี้ยังมีผลต่อลักษณะการต้มหรือลวกเส้นบะหมี่ช่วยให้เนื้อสัมผัสดี ทนต่อการต้มนานโดยไม่เปื่อยง่าย เส้นมีความเหนียว ยืดหยุ่นดีกว่าเส้นบะหมี่ที่ไม่ได้ใส่สารละลายด่าง และเส้นบะหมี่ที่มีสภาพเป็นด่างนี้จะเก็บรักษาได้นานกว่าปกติ เนื่องจากด่างมีผลยับยั้งต่อการเจริญของจุลินทรีย์

5. สารเพิ่มคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่ จัดเป็นส่วนผสมที่ไม่จำเป็น แต่ในปัจจุบันมีการใช้ในส่วนผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเส้นบะหมี่ให้มีคุณภาพดี มีอายุการเก็บรักษานานและผู้บริโภคมีความพึงพอใจ วัตถุดิบที่ใช้เสริมคุณภาพส่วนใหญ่ คือ สตาร์ชข้าวสาลี แป้งข้าวโพด กัวกัม และน้ำมันพืช ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้จะมีประโยชน์เชิงหน้าที่ในการช่วยเพิ่มคุณภาพของเส้นบะหมี่ในรูปแบบต่างๆ เช่น เพิ่มความขาว ความยืดหยุ่นและความมันเงา ทั้งยังช่วยในกระบวนการผลิต เช่น ลดความแข็ง หรือเหนียวแฉะ มีผลการศึกษาของ ปวีณา และคณะ (2548) ที่ปรับปรุงคุณภาพเส้นบะหมี่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องด้วยการใส่กัวกัมเป็นสารยึดเกาะ โดยศึกษาปริมาณกัวกัมที่ 3 ระดับ คือปริมาณร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักแป้ง พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับบะหมี่ที่เติมกัวกัมร้อยละ 0.2 ของแป้งและมีแรงดึงสูงกว่าเส้นบะหมี่ที่ไม่เติมกัวกัม Seda and Arzu (2008) ได้รายงานผลการวิจัยการใช้เอนไซม์ทรานกลูทามิเนสและกัมในเส้นบะหมี่แป้งข้าวโพดทดแทนแป้งข้าวโพดที่เจลาติไนซ์ที่ระดับร้อยละ 40 60 และ 80 พบว่าเส้นบะหมี่ที่ทดแทนแป้งข้าวโพดเจลาติไนซ์ที่ระดับร้อยละ 80 ให้คุณภาพระหว่างการทำสุกและทางประสาทสัมผัสดีที่สุด นอกจากนั้นเอนไซม์ทรานกลูทามิเนส

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยังช่วยทำให้ร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มสุกลดน้อยลง และกัมยังช่วยเพิ่มค่าความเหนียวให้เส้นบะหมี่ด้วย และ กุลยา และคณะ (2554) ได้ศึกษาบะหมี่แห้งเสริมใบมะรุมและปรับปรุงคุณภาพเส้นบะหมี่หลังเติมใบมะรุมด้วยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสและไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด ได้แก่ กัวกัมแซนแทนกัม และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่า บะหมี่ที่เติมใบมะรุมผงร้อยละ 6 ได้รับคะแนนสูงสุดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงนำมาเป็นสูตรปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 และไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิด พบว่าบะหมี่ที่เติมกัวกัมร้อยละ 1 แซนแทนกัมร้อยละ 0.5 และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 1 มีค่าความต้านทานการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อและมีคะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างกัน

Konik *et al*. (1994) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสตาร์ชข้าวสาลีและคุณภาพเส้นบะหมี่เหลือง พบว่าการเติมสตาร์ชลงในเส้นบะหมี่เหลือง จะทำให้เส้นบะหมี่เหลืองมีความเรียบเนียนและมีความแน่นเนื้อ

ส่วนไข่และผักผลไม้ต่างๆ นั้น จัดเป็นวัตถุดิบที่มีประโยชน์ในด้านคุณค่าทางอาหารและลักษณะปรากฏในด้านลักษณะสีของเส้นบะหมี่ เช่น ไข่มีส่วนช่วยให้เส้นบะหมี่มีสีเหลืองสดจากสีของไข่แดงและคุณค่าทางโภชนาการ กมลทิพย์ และวันเพ็ญ (2544) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเส้นบะหมี่แห้งกึ่งสำเร็จรูปผสมเห็ดโดยใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ผสมเห็ดผง 4 ชนิด คือ เห็ดหูหนู เห็ดฟางเห็ดนางฟ้าหรือเห็ดนางรม ร้อยละ 30 15 20 และ 20 ตามลำดับ จากนั้นนำมาทำเป็นเส้นบะหมี่อบแห้งที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 12 ที่มีปริมาณโปรตีน เกลือแร่และเส้นใยมากกว่าเส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งสาลีร้อยละ 100 เส้นบะหมี่ทุกตัวอย่างใช้เวลาคืนรูปไม่เกิน 5 นาที มีการดูดน้ำร้อยละ 152.71-161.34 มีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 0.65-0.89 มีค่าแรงดึงสูงสุดหลังคืนรูป 10.57-13.97 กรัม

Dewi (2011) รายงานการศึกษาคุณภาพของเส้นบะหมี่แห้งสาหร่ายเปรียบเทียบกับเส้นบะหมี่แห้ง พบว่า บะหมี่แห้งที่ทดแทนสาหร่ายทำให้เส้นบะหมี่มีปริมาณความชื้น เส้นใย เถ้า และปริมาณไอโอดีนเพิ่มขึ้น Ritthiruangdej *et al.* (2010) ศึกษาคุณภาพของการเสริมแป้งกล้วยดิบในเส้นบะหมี่แห้งที่ 5 ระดับ คือร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 ผลการทดลองพบว่าปริมาณของแป้งดิบที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เส้นบะหมี่มีความเหนียวลดลงและมีสีคล้ำ ผู้บริโภคให้การยอมรับการทดแทนแป้งกล้วยดิบสูงสุดที่ร้อยละ 30 ของสูตร

2.4.4 กรรมวิธีการผลิตเส้นบะหมี่

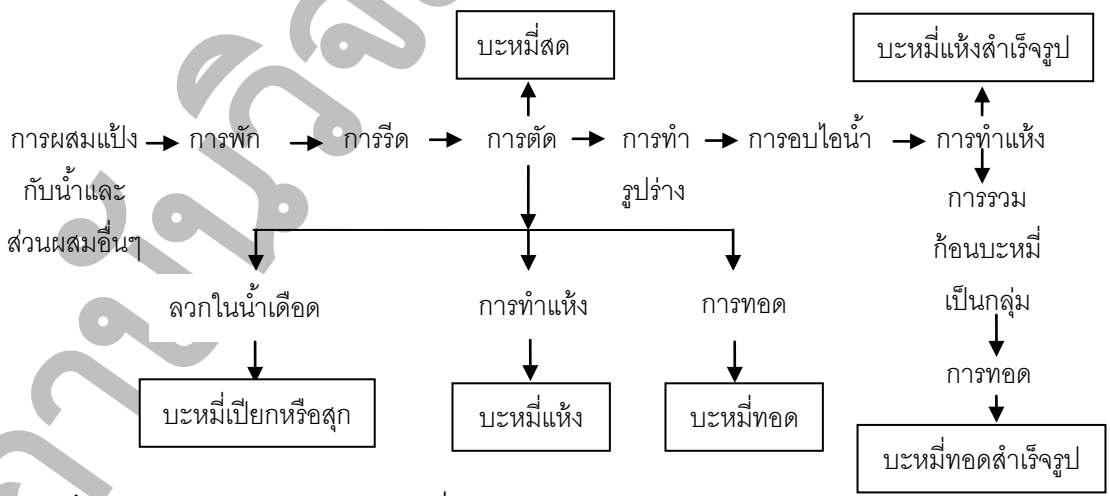
กรรมวิธีการผลิตของเส้นบะหมี่แห้งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักและมีการเพิ่มกระบวนการผลิตตามชนิดของบะหมี่ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และรายละเอียด ดังนี้ (สุภารัตน์, 2548)

1. การผสม การผสมแป้งเป็นขั้นแรกของการทำเส้นบะหมี่ การผสมควรละลายเกลือและสารเคมีในน้ำก่อนใส่ไข่ลงไปตีให้เข้ากัน นำไปผสมกับแป้งสาลีนวดให้เข้ากันเป็นก้อนและมีเนื้อเนียน พักไว้ 10-20 นาที เพื่อให้โปรตีนคลายตัวจับกันเป็นก้อนได้ดีขึ้น แป้งมีความเหนียวดีขึ้น และริมไม่ขาดเมื่อรีดเป็นแผ่น

2. การรีดเป็นแผ่นและตัดเส้น แผ่นแป้งโดจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยแต่ละส่วนจะนำไปผ่านเครื่องรีดประกบทำให้เป็นแผ่นเดียวกัน และนำแป้งที่ได้แบ่งครึ่งและรีดประกบ 2 แผ่นอีกครั้งหนึ่ง โดยในระยะแรกต้องปรับลูกกลิ้งให้ห่างกันประมาณ 4 มิลลิเมตร เมื่อแป้งเป็นแผ่นดีแล้วให้ลดช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งให้น้อยลงรีดแผ่นแป้งอีก จนกระทั่งแผ่นแป้งมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นเส้นโดยใช้ลูกกลิ้งอีกชุดที่อยู่ในเครื่องเดียวกัน ขณะตัดควรโรยด้วยแป้งข้าวโพดหรือแป้งสาลีเพื่อไม่ให้เส้นติดกัน

3. การทำให้เส้นสุก โดยการอบไอน้ำประมาณ 1-2 นาที ขึ้นอยู่กับขนาดของก้อนบะหมี่และความดันไอน้ำ ทำให้บะหมี่เหนียวมากขึ้น และยังเป็นการทำลายจุลินทรีย์ที่ผิวนอกของบะหมี่อีกด้วย จากนั้นทำให้เย็นทันทีโดยการแช่น้ำเย็นหรือวิธีอื่นๆ เมื่อบะหมี่สุกควรมีน้ำหนัก 2.5-4 เท่าของน้ำหนักบะหมี่ก่อนทำสุก และมีรูปร่างดี

4. การทำแห้ง การทำให้แห้งขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นบะหมี่ เช่น การอบ การทอด เป็นวิธีการระเหยความชื้นของเส้นบะหมี่อย่างช้าๆ การทำแห้งเส้นบะหมี่แบบทั่วไปจะใช้วิธีการตากในห้องที่มีขนาดใหญ่แต่ในระดับอุตสาหกรรมจะมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม โดยจะมีความชื้นสุดท้ายในช่วงร้อยละ12–14 และกึ่งแห้งในช่วงร้อยละ 18–25 (Fu, 2008)



ภาพที่ 2.2 กรรมวิธีการผลิตเส้นบะหมี่ตามแบบชาวเอเชีย

ที่มา: อรอนงค์ (2540)

2.4.5 การตรวจสอบคุณภาพเส้นบะหมี่

การตรวจสอบคุณภาพเส้นบะหมี่ โดยทั่วไปจะมีการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1. คุณภาพการหุงต้ม คือ เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก (optimum cooking time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (solid loss) ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการต้ม (weight increase coefficient) โดยนำเส้นบะหมี่หนัก 10 กรัม มาต้มในภาชนะบรรจุน้ำหรือน้ำชนิดไม่มีไอออนปนอยู่ จำนวน 1,000 มิลลิลิตร โดยใส่เส้นบะหมี่ในตะกร้อลวกต้มจนสุกถึงใจกลาง จับเวลาที่ใช้ เป็นเวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุกยกตะกร้อขึ้นจากภาชนะทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นำเส้นบะหมี่ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการต้ม เป็นการทดสอบการดูดซึมน้ำของบะหมี่โดยคำนวณจากอัตราส่วนของน้ำหนักเส้นบะหมี่หลังต้มต่อน้ำหนักเส้นบะหมี่แห้ง (Ugarcic-Hardi *et al*., 2007) ส่วนน้ำที่ใช้ต้มนำไปหาสารที่ละลายออกมาจากเส้นบะหมี่ เป็นปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (อรอนงค์, 2532; AACC, 2000)

2. คุณภาพทางกายภาพวัดสีของเส้นบะหมี่สุก เปรียบเทียบกับเส้นบะหมี่สดด้วยเครื่องวัดสีทั่วไป วัดลักษณะเนื้อด้วยเครื่องวัดเนื้อ (texture analyzer) ของเส้นบะหมี่แห้งและหลังต้มสุก

3. คุณภาพทางเคมี เช่น ความเป็นด่างของเส้นบะหมี่ก่อนต้มและหลังต้ม โดยบดเส้นบะหมี่หนัก 10 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันขณะวัดความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดแบบอิเล็กโทรต

4. คุณภาพทางประสาทสัมผัส การวิจัยอาหารขึ้นอยู่กับคุณภาพที่อยู่บนพื้นฐานของการยอมรับของผู้บริโภคโดยการประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส โดยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ การทดสอบเพื่อความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ (discrimination หรือ difference test) เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (descriptive analysis) และเพื่อหาความชอบหรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ (preference/ acceptance test) เพื่อใช้ในการประเมินหาตัวอย่างที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงคุณภาพ การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคชอบและเป็นที่ยอมรับ รวมทั้งการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ เป็นต้น (จินตนา และธงชัย, 2549)

2.4.6 มาตรฐานของเส้นบะหมี่แห้ง

เส้นบะหมี่แห้งพัฒนามาจากเส้นบะหมี่สดที่ได้จากการนำแป้งสาลีมานวดกับน้ำหรือสารละลายด่างจนเหนียวอาจเติมส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แป้งมันดัดแปร แป้งมัน แป้งข้าวเจ้า ไข่

สาหร่าย พืชหัว ผัก ผลไม้ ฯลฯ แล้วทำเป็นเส้น (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2548) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2543) เส้นบะหมี่จัดได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป ที่ผ่านกรรมวิธีและปรุงแต่งมาบ้างแล้วใช้รับประทานหลังจากผ่านวิธีการอย่างง่ายๆ ใช้เวลาสั้นโดยการเติมน้ำร้อน การต้ม หรือการเติมอาหารอื่นลงไป และต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. ไม่มีกลิ่นหืน
2. มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก
3. มีสารโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 8.5 ของน้ำหนัก
4. ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
5. ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
6. มีแบคทีเรียชนิด อี. โคไล (Escherichia coli) น้อยกว่า 3 ในอาหาร 1 กรัม โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number)
7. มีแบคทีเรียไม่เกิน 10,000 ในอาหาร 1 กรัม สำหรับบะหมี่
8. มีเชื้อราไม่เกิน 100 ในอาหาร 1 กรัม

2.4.7 การประเมินอายุการเก็บของเส้นบะหมี่แห้ง

อรอนงค์ (2540) กล่าวว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาบะหมี่ให้มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของบะหมี่ บะหมี่สดและบะหมี่เปียกหรือสุกจะมีอายุการเก็บสั้นที่สุด คือ เก็บได้เพียง 1-3 วัน ส่วนบะหมี่แห้งทั้งที่ทำโดยการอบหรือตากแดดหรือการทอด จะทำให้เก็บรักษาได้นานเป็นเดือนหรืออาจเป็นปีถ้าอยู่ในภาชนะที่เหมาะสมผลที่เกิดขึ้นต่อบะหมี่ในขณะเก็บรักษาที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ คือ การเปลี่ยนแปลงของสีเส้นบะหมี่ บะหมี่เป็นเมือก มีเชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโต และการเกิดกลิ่นหืนของบะหมี่ และสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่นั้นคือความชื้น โดยเฉพาะเส้นบะหมี่แห้งที่มีความชื้นต่ำจึงเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นจะเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพได้ง่าย เมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อยและเกินระดับที่ผู้บริโภคจะยอมรับได้ ความชื้นที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้เกิดจากการซึมผ่านของไอน้ำเข้าหรือออกจากภาชนะบรรจุเมื่อกำหนดปริมาณไอน้ำที่ยอมให้ผ่านเข้า-ออกภาชนะบรรจุได้ หรือกำหนดเป็นค่าความชื้นของอาหารที่ยอมรับให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ จะสามารถหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นได้ จากสมการการซึมผ่านของแก๊สหรือไอน้ำที่สภาวะคงตัวผ่านวัสดุพอลิเมอร์ที่เป็นเทอร์โมพลาสติกโดยใช้เทคนิคในการหาไอโซเทอร์มของการดูดซับความชื้น (sorption Isotherm) นี้เพื่อหาค่าสมดุลของตัวอย่างอาหารกับสารอ้างอิงในภาชนะบรรจุปิด โดยเมื่อวางผลิตภัณฑ์อาหารหนึ่งไว้ในภาชนะปิด และความชื้นของอากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นถูกควบคุมให้คงที่ตลอดเวลา ตัวอย่างอาจได้รับหรือสูญเสียความชื้นไปยัง

สิ่งแวดล้อมถ้าปริมาณน้ำอิสระเริ่มต้นไม่เท่ากับปริมาณน้ำอิสระของสิ่งแวดล้อม หลังจากช่วงเวลาหนึ่งที่สมดุลเกิดขึ้น ปริมาณความชื้นของตัวอย่างจะอยู่ในระดับสมดุล โดยค่าปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content; EMC) ขึ้นกับระดับปริมาณน้ำอิสระ (ในภาชนะปิด) ดังนั้น อาหารแห้งจะแห้งขึ้นในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ และมีความชื้นมากขึ้นในที่อากาศชื้นเมื่อหาปริมาณความชื้นของสารอ้างอิงได้แล้วและค่าปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่าง สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐานของปริมาณความชื้นสมดุลกับค่าปริมาณน้ำอิสระ ซึ่งกราฟมาตรฐานดังกล่าวคือไอโซเทอร์มของการดูดซับความชื้น ข้อมูลนี้มีความสำคัญมากเนื่องจากปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับไว้ให้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับลักษณะการดูดความชื้นขององค์ประกอบอาหาร กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวมักจะเป็นเส้นโค้งรูป “S” (sigmoid shape) ดังภาพที่ 2.3 แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือกระบวนการ กำจัดความชื้นจากอาหาร (desorption) มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์กระบวนการทำแห้งหรือการกำจัดความชื้นจากอาหารและกระบวนการให้ความชื้นต่ออาหารแห้ง (adsorption) ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่สามารถดูดซึม หรือดูดซับโมเลกุลของน้ำจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ ดังนั้น ไอโซเทอร์มของการดูดซับความชื้นของอาหารมีประโยชน์มากในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของอาหาร วัดจุดวิกฤตของความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระสำหรับการยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเสื่อมเสียของอาหารส่วนมากเกิดจากการดูดซับความชื้นเข้าไป (Andrade *et al.,* 2011)

การหาอายุการเก็บโดยการคำนวณการส่งผ่านความชื้นสามารถคำนวณด้วยสมการ (1) (Labuza, 1984) ดังนี้

$$\theta_s = \frac{\ln\left[\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c}\right]}{\frac{P\ A\ P_o}{x w_s\ b}} \qquad (1)$$

โดยที่ θ_s = อายุการเก็บ (days)

m_e = ปริมาณความชื้นสมดุลของอาหารถ้าอยู่ในสภาวะความชื้นภายนอกภาชนะ (แทนค่า $m_e = ba_e + C$จากการหาสมการเส้นตรง Sorption Isotherm ของตัวอย่าง)

m_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของอาหาร

m = ปริมาณความชื้นของอาหารที่เวลา t

(p/x) = permeance (P=permeability constant; X = ความหนาของฟิล์ม)

หรือ

$$= \frac{\text{ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ}(\mathbf{WVTR})\text{ของพลาสติกที่ใช้ในการศึกษา}}{Po} \text{ (g/ m}^2\text{ .d.mm.Hg)}$$

A = พื้นที่ผิวของภาชนะบรรจุ (m^2/g)

W_S = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (g)

b = ความชันของกราฟ

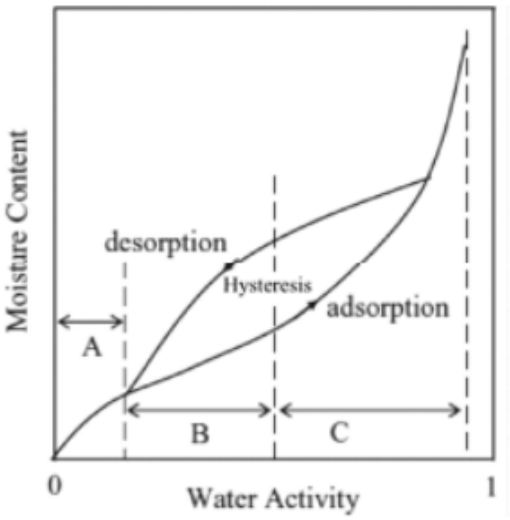
p_o = ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิการเก็บ (ไม่ใช่ความดันไอที่แท้จริงภายนอกภาชนะบรรจุ) (mm.Hg) โดยค่า p_o สามารถหาได้จากสมการที่ (2) ในกรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส

$$p_o = 0.0075e\left(23.4795 - \frac{3990.56}{T-233.833}\right) \quad (2)$$

โดยที่ *Po* = ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิการเก็บ (mm.Hg)

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

สมการนี้เป็นสมการที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรับหรือสูญเสียความชื้นเทียบกับปริมาณความชื้นโดยไม่มีผลจากค่าปริมาณน้ำอิสระ ทำให้สามารถหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้เมื่อทราบข้อมูลซอปชันไอโซเทอร์ม (รุ่งนภา, 2552)



ภาพที่ 2.3 แผนภาพเชิงเส้นแสดงไอโซเทอร์มของการดูดซับความชื้น

ที่มา: Andrade **(**2011)