บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 มันเทศ (2)

ประวัติความเป็นมาของมันเทศ

มันเทศมีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่บริเวณเขตร้อนของทวีปอเมริกา แต่มันเทศที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ไม่มีหลักฐานแน่นอนว่ามีวิวัฒนาการมาจากพืชป่าชนิดใด อย่างไรก็ดีมนุษย์รู้จักปลูกมันเทศมานานนับพันปีแล้ว ในสมัยโบราณนั้นมันเทศเป็นอาหารหลักของมนุษย์สองเขต คือ พวกอินเดียนในอเมริกากลาง และบริเวณเทือกเขาแอนดีสประเทศเปรู พวกอินเดียนทั้งสองแหล่งนี้ปลูกข้าวโพดเพื่อใช้เป็นอาหารหลัก และในขณะเดียวกันก็ปลูกมันเทศด้วย อีกเขตหนึ่ง คือ ชนเผ่าโปลิเนเซียนที่อาศัยอยู่บนหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก และตอนเหนือของเกาะนิวซีแลนด์ เชื่อกันว่ามันเทศที่ชาวโปลินิเซียนปลูกกันในสมัยก่อนนั้น นำมาจากทวีปอเมริกาในคริสต์ศตวรรษที่16 หลังจากชาวยุโรปค้นพบทวีปอเมริกา นักสำรวจชาวสเปนได้นำมันเทศไปสู่ประเทศสเปน จากประเทศสเปนก็แพร่ต่อไปยังประเทศอื่นๆในยุโรป

ทางด้านเอเชีย ต้นมันเทศก็ถูกนำมายังอินเดีย ฟิลิปปินส์ จีน และญี่ปุ่น โดยนักสำรวจสเปนและโปรตุเกส สำหรับประเทศไทยไม่มีหลักฐานบันทึกว่าได้มีการนำมันเทศเข้ามาปลูกในสมัยใด แต่เข้าใจกันว่ามีผู้นำมันเทศมาแพร่หลายในราวสมัยกรุงศรีอยุธยาเป็นราชธานี เพราะมีเรือสำเภาไปมาค้าขายระหว่างประเทศจีน พวกจีนคงจะได้นำติดตัวมาตามนิสัยที่ไปอยู่ที่ไหนก็หาพันธุ์พืชไปปลูกบริโภค ในปัจจุบันมันเทศปลูกกันทั่วไปในประเทศไทย แต่ส่วนใหญ่แหล่งปลูกเป็นจังหวัดในทางภาคกลาง จังหวัดที่ปลูกมากได้แก่ พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นครปฐม และเพชรบุรี เป็นต้น

การจำแนกมันเทศทางพฤกษศาสตร์ มันเทศถูกลำดับทางพฤกษศาสตร์ดังนี้

วงศ์ (Family) Convolvulaceae

สกุล (Genus) Ipomoea

ชนิด (Species) batatas

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ มันเทศมีชื่อภาษาจีนว่า "ฮวงก้ัว" ชาวพื้นเมืองในอเมริกาใต้เรียกมันเทศว่า บาตาต้า ชาวยุโรปได้เอาสำเนียงชาวพื้นเมืองไปใช้ และเพี้ยนไปเป็น โพเตโต้ (potato) เนื่องจากมันมี 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิดหวาน และไม่หวาน ชนิดหวานจึงเรียกว่า สวีท โพเตโต้ (sweet potato) คือมันเทศนั่นเอง ส่วนชนิดไม่หวาน เรียกว่า ไอริชโพเตโต้ (Irish potato) เราเรียกว่ามันฝรั่ง มันเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า อิโพเมีย บาตาต้า (Ipomoea batatas) และอยู่ในวงศ์ คอนวัลวูลาเซีย (Convolvulaceae) พืชที่อยู่ในวงศ์นี้

จะพบมากแถบเส้นศูนย์สูตร และภายใต้แถบศูนย์สูตร มีลำต้นเป็นเถา หรือเป็นพุ่มตั้งตรง และมีจำนวนน้อยที่เป็นประเภทไม้ยืนต้น พืชพวกนี้อาจเจริญในที่แห้งแล้ง ในน้ำ และอาจเป็นพวกพาราสิต (parasite) โดยทั่วไปแล้วเมื่อใบหรือลำต้นเป็นแผล พืชในวงศ์นี้จะให้น้ำยางสีขาว

สกุลที่สำคัญที่สุดของวงศ์ คอนวัลวูลาเซีย คือ อิโพเมีย ซึ่งมีอยู่ประมาณ 400 ชนิด แต่มันเทศเป็นพืชปลูกเพียงชนิดเดียวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยทั่วไปแล้วสกุล อิโพเมีย เป็นพืชที่มีเถาพันคดเคี้ยวไปมา หรือเลื้อยราบไปบนพื้นดิน และมีจำนวนน้อยที่เป็นพุ่มตั้งตรง

ราก มันเทศมีระบบรากแบบรากฝอย ซึ่งเกิดจากข้อของลำต้นที่ใช้ปลูก หรือเกิดจากลำต้นที่ทอดไปตามพื้นดิน รากมันเทศจะเป็นที่สะสมอาหาร และใช้รับประทานได้

ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว เกิดสลับกันบนข้อของลำต้น มีขนาด และรูปร่างต่างกัน ความแตกต่างของใบนั้นมิใช่เกิดจากพันธุ์เท่านั้น แม้แต่ในต้นเดียวกันก็อาจมีรูปร่างแตกต่างกันได้ บางใบมีขอบใบเรียบ บางใบมีใบเป็นแฉก และบางใบมีรูปร่างคล้ายหัวใจ เป็นต้น ใบมีขนเล็กน้อยและมักจะมีสีม่วงอยู่ตามเส้นใบ ก้านใบอาจจะยาวหรือสั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์นั้นๆ

ดอก มันเทศที่ปลูกในเขตอบอุ่นมักไม่ออกดอก ส่วนการปลูกในเขตร้อนจะออกดอกแต่มักไม่ติดเมล็ด ดอกเกิดตามมุมของใบ มีก้านช่อดอก (peduncle) แข็งแรง ซึ่งมักจะยาวกว่าก้านใบ ดอกมีกลีบเลี้ยง(sepal) 5 กลีบ ซึ่งโดยปกติจะแยกเป็นอิสระซึ่งกันและกัน หรืออาจเชื่อมติดกันที่โคนกลีบดอก(petal) มี 5 กลีบ กลีบดอกเหล่านั้นจะเชื่อมติดกันเป็นรูปกรวย (corolla tube) มีลักษณะคล้ายดอกผักบุ้ง กลีบดอกมีสีชมพูปนม่วง มีเกสรตัวผู้ (stamen) 5 อัน และแยกเป็นอิสระซึ่งกันและกัน ก้านชูอับเกสรตัวผู้เรียกว่า ก้านอับเกสร มีความยาวไม่เท่ากัน และเชื่อมติดอยู่กับฐานของกลีบดอก

ผล มีเปลือกแข็งหุ้ม มีลักษณะเป็นแคปซูล (capsule) ภายในเปลือกแข็งมีเมล็ดเล็กสีดำค่อนข้างแบนด้านหนึ่งของเมล็ดเรียบ ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นเหลี่ยม ทางด้านเรียบจะเห็นรอยที่เมล็ดติดกับผนังรังไข่เรียกว่า ไฮลัม (hilum) และมีรูเล็กๆเรียกว่าไมโครไพล (micropyle) เปลือกของเมล็ดค่อนข้างหนา และน้ำซึมผ่านได้ยาก

หัว มันเทศลงหัวระดับความลึกไม่เกิน 9 นิ้ว หัวมันเทศเกิดจากการขยายตัวของราก ซึ่งเนื้อเยื่อภายในรากที่เรียกว่าพาเรนไคมา (parenchyma) เป็นส่วนที่สะสมแป้ง รากที่ขยายตัวเป็นหัวขึ้นมาอาจเกิดจากรากของลำต้นที่ใช้ปลูก หรือจากรากที่เกิดจากข้อของลำต้นที่เลื้อยไปตามดินก็ได้ ดังนั้นมันเทศต้นหนึ่งๆอาจมีหัวมากกว่า 50 หัว ลักษณะหัวส่วนมากมีรูปร่างทรงกระบอก ด้านหัวท้ายเรียว ตรงกลางป่องออก สีผิวของหัวและสีของเนื้ออาจจะเป็นสีแดง เหลือง ขาว หรือสีนวล แตกต่างกันไปตามพันธุ์ ผิวอาจจะเรียบหรือ ขรุขระและมัก

จะมีรากแขนงเกิดในร่องของหัว หัวมันเทศนอกจากจะให้อาหารจำพวกแป้ง แล้วยังอุดมสมบูรณ์ไปด้วยวิตะมินเอ (โดยเฉพาะหัวที่มีสีเหลือง) วิตามินบี และซี อีกด้วย

การปลูก

ฤดูปลูก มันเทศจะเจริญเติบโตได้ดีในที่ซึ่งมีอากาศค่อนข้างร้อน และเป็นพืชที่มีความทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี มันเทศต้องการน้ำฝนเพียงชั่วเวลาระยะแตกยอดและใบ เมื่อทอดยอด และแตกใบโตเต็มที่แล้ว ถึงฝนไม่ตกมันเทศก็ไม่เฉา และจะลงหัวซึ่งมีขนาดโตดีกว่าฝนตกมากเสียอีก

มันเทศสามารถปลูกได้ปีละ 2 ครั้ง ในฤดูฝน การเตรียมดินจะต้องเริ่มจากฝนตกครั้งแรกในเดือนพฤษภาคม และปลูกโดยเร็วหลังจากเตรียมดินเสร็จเรียบร้อยแล้ว เวลาที่ปลูกกันส่วนมากในฤดูฝน คือ ตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนมิถุนายน การปลูกในฤดูฝนนี้จะเก็บหัวได้ในราวเดือนสิงหาคม การปลูกอีกครั้งหนึ่ง คือหลังฤดูฝนราวเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน การปลูกในฤดูนี้ส่วนมากจะให้ผลผลิตสู้ในฤดูฝนไม่ได้ ในที่ซึ่งมีการชลประทานดีแล้ว จะปลูกมันเทศเมื่อไรก็ได้ เพราะว่ามันเทศเป็นพืชที่ไม่มีความไวต่อช่วงแสง

การเก็บหัวและการเก็บรักษา เมื่อมันเทศมีอายุประมาณ 90-150 วัน ก็อาจเก็บหัวได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปอายุเก็บหัวสำหรับพวกที่ปลูกในฤดูฝนจะยาวกว่าพวกที่ปลูกในฤดูแล้งประมาณ 30-40 วัน ผลผลิตของหัว หรือน้ำหนักหัวที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ ดินที่ใช้ปลูก ฤดูปลูก และปัจจัยอื่นๆ เช่น การใส่ปุ๋ย และการให้น้ำ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วพันธุ์พื้นเมือง พันธุ์หัวสีขาว จะให้น้ำหนักหัวประมาณ 2 ตันต่อไร่ ในฤดูแล้ง แต่ในฤดูฝนจะให้น้ำหนักหัวประมาณ 8 ตันต่อไร่ ส่วนพันธุ์หัวสีแดงจะมีน้ำหนักหัวต่ำกว่านี้ เราอาจเก็บมันเทศสดไว้ใช้ประโยชน์ได้นานพอสมควร ถ้าเก็บไว้ในที่โปร่ง ไม่อับลม และในที่มีอากาศเย็น หลักที่ควรปฏิบัติเพื่อให้เก็บมันเทศสดไว้ได้นาน ไม่เสื่อมเสียเร็วมี 4 ประการ ได้แก่

1. มันเทศที่จะเก็บไว้ได้นานต้องขุดเมื่อหัวมันแก่เต็มที่ถึงขนาด หัวมันที่อ่อนจะเน่าได้ง่าย
2. เวลาขุดต้องระมัดระวัง อย่าให้หัวมันช้ำ หรือมีบาดแผล ถ้ามีบาดแผลจะเป็นทางนำเชื้อโรค ทำให้หัวมันเน่าได้ง่าย
3. ก่อนจะนำหัวมันเก็บในที่รักษา ต้องผึ่งหัวมันให้แห้งสนิท อย่าให้เปียกชื้น
4. ในห้องที่เก็บมันเทศต้องมีอากาศเย็นอยู่เสมอ อย่าให้ร้อนจัด หรือเย็นจัดจนเกินไป อุณหภูมิที่ใช้เก็บควรประมาณ 10-15 °ซ อุณหภูมิเช่นนี้จะช่วยให้เก็บหัวมันได้นานถึง 3 ปี โดยหัวไม่งอก และแตกตาออกมา

หัวมันเทศมีแป้ง โปรตีน ไขมัน และวิตามินต่างๆ ค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงใช้เป็นอาหารคน และสัตว์ได้เป็นอย่างดี คุณค่าทางอาหารของมันเทศพันธุ์พื้นเมืองต่างๆ ในประเทศไทยแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของมันเทศพันธุ์พื้นเมืองในประเทศไทย (3)

พันธุ์	Moisture %	Fat %	Crude fibre %	Protein %	Ash %	Carbohydrate %
1. ไทรุง	65.3	0.14	0.85	0.91	0.64	32.1
2. P. 30	63.5	0.11	0.84	1.12	0.69	33.7
3. โอกินาวา	59.1	0.20	0.91	1.81	0.82	37.1
4. พ.ม. 02	60.9	0.15	0.81	1.07	0.75	35.8
5. น.ศ. 25	72.0	0.32	0.89	1.27	0.75	24.6
6. หัวไหญา	64.9	0.11	0.84	1.05	0.71	32.4
7. ก้าเหมาลา	69.2	0.09	0.96	1.53	0.63	27.6
8. Centenial	70.0	0.38	1.03	1.84	0.90	25.8
9. Heartogold	66.1	0.23	1.14	1.37	0.82	30.3
10. Pilican	60.3	0.18	1.13	1.06	0.93	36.4
processor						
11. L_2- 89	65.9	0.37	1.18	1.13	0.94	30.5
12. L_4- 116	67.2	0.32	1.00	1.69	0.98	28.8
13. L_3- 64	58.4	0.16	1.15	1.56	0.89	37.8
14. Rose contenial	70.1	0.25	1.08	1.19	1.06	26.3
15. 04 จอเอ็ด	65.8	0.17	0.92	0.94	0.61	31.6
16. โอกุด	69.5	0.12	0.99	1.25	0.79	27.3

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

พันธุ์	Calcium mg/100 g	Phosphorus mg/ 100 g	Vitamin A IU/100 g	Vitamin B_1 mg/100 g	Vitamin B_2 mg/200 g	Vitamin C mg/100 g	Niacin mg/100g
1. ไทจุง	18.8	50.3	4,136	0.09	0.04	11.80	0.52
2. P.30	30.4	51.6	ไม่พบ	0.09	0.03	1.20	0.63
3. ไอกินาวา	36.5	70.0	"	0.14	0.03	4.53	0.58
4. พ.ม. 02	22.2	58.1	"	0.13	0.03	18.60	0.54
5. น.ส. 25	29.7	52.7	"	0.08	0.05	12.93	0.81
6. หัวไตขาว	31.4	52.8	trace	0.13	0.03	19.80	0.58
7. ก้วเคมาลา	18.0	52.5	665	0.11	0.03	11.00	0.65
8. Centenial	32.6	77.7	25,020	0.07	0.07	19.20	1.01
9. Heartogold	29.8	75.9	24,360	0.08	0.05	19.47	0.80
10. Pilican processor	39.8	73.6	ไม่พบ	0.08	0.06	15.73	1.30
11. L_2 - 89.	40.3	73.6	15,543	0.07	0.04	22.00	1.55
12. L_4 - 116	27.5	66.9	32,038	0.07	0.07	22.80	0.89
13. L_3 - 64	53.5	68.0	ไม่พบ	0.11	0.07	13.07	1.45
14. Rose centenial	41.0	62.0	34,172	0.08	0.07	2.90	0.77
15. 04 ร้อยเอ็ด	33.9	50.4	ไม่พบ	0.12	0.04	16.80	0.63
16. ไอกุด	21.7	61.9	1,0301	0.12	0.04	20.40	0.55

ประโยชน์ที่ได้จากหัวมันเทศอาจจำแนกได้ดังนี้

1. ใช้ทำเป็นอาหารคาว เช่น แกงเลียง แกงคั่ว แกงกะหรี่ และแกงมัสมั่น เป็นต้น

2. ใช้ทำเป็นอาหารหวาน เช่น แกงบวดมัน มันรังนก มันฉาบ มันเชื่อม มันกวน มันปิ้ง เป็นต้น

3. ใช้ในอุตสาหกรรมการกลั่นสุรา

4. ใช้เลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะ สุกร จะให้มันเทศอย่างเดียว หรือผสมกับอาหารอื่นก็ได้

2.2 ผลิตภัณฑ์จากมันเทศ

2.2.1 มันเทศทอด (sweet potato chips) ผลิตมาจากมันเทศที่ผ่านเป็นชิ้นบางๆ แล้วทำให้แห้งกรอบด้วยการทอดในน้ำมันที่ร้อนประมาณ 325-375 องศาฟาเรนไฮน์ นาน 16-60 วินาที ซึ่งบางส่วนของน้ำมันที่ใช้ทอดจะถูกดูดซับไว้ เป็นการช่วยเพิ่มรสกลิ่น และพลังงานในอาหารด้วย (5)

2.2.2 มันเทศแห้งบดเป็นผง (dehydrated mashed sweet potatoes-sweet potato granules) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมันเทศต้มสุก บดให้แตกจนมีขนาดเป็นเซลเดียว หรือเซลหมู่ แล้วทำให้แห้งจนมีความชื้น 6-7% เมื่อจะนำมาทำเป็นมันบดในรูปที่รับประทานได้ ก็ทำได้อย่างรวดเร็วโดยการผสมกับน้ำร้อนในปริมาณพอเหมาะ (6)

2.2.3 มันเทศแห้งที่ทำเป็นเกล็ดบางๆ (sweet potato flakes) ผลิตจากมันเทศที่บดแล้ว ทำให้แห้งโดยใช้ drum drier (7)

2.2.4 แป้งมันเทศ (sweet potato starch) ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเป็นตัวเพิ่มความข้นของอาหาร (thickening agent) ใช้ในอาหารประเภทเบเกอรี ตลอดจนอุตสาหกรรมอื่นที่ไม่ใช่อาหาร (8)

2.2.5 แป้งบดมันเทศ (sweet potato flour) ได้จากต้มมันเทศให้สุก ทำให้แห้งแล้วบดเป็นผง ใช้มากในเบเกอรี่ และอาหารว่าง (snack food) (8)

2.2.6 มันเทศกระป๋อง (canned sweet potatoes) มักบรรจุในรูปต่างๆกัน เช่น รูปลูกบาศก์ แท่งสี่เหลี่ยมยาว โดยมีน้ำเกลือเป็นส่วนผสม (9)

2.2.7 มันเทศทอดแช่เย็นแข็ง (frozen french fried sweet potatoes) ทำจากมันเทศที่ตัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมยาว ลวกน้ำร้อน แล้วทอดในน้ำมัน นำไปแช่เย็นจนแข็ง (10)

สำหรับประเทศไทยการนำมันเทศมาผลิตเป็นอาหารประเภทต่างๆ ยังไม่กว้างขวางนัก จึงน่าที่จะมีการศึกษาต่อไป

2.3 อาหารว่าง (10)

อาหารว่าง หมายถึง อาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้ว สามารถบริโภคได้ดี หรือต้องผ่านการเตรียมการอีกเล็กน้อย เช่น เติมน้ำเกลือทิ้งไว้ 2-5 นาที และสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 6 สัปดาห์ โดยไม่ต้องอาศัยความเย็น

ได้มีการจัดจำแนกพวก และยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจัดจำแนกพวกและตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารว่าง (10)

SNACK CLASSIFICATION MATRIX	1. FRYING	2. ROASTING	3. EXPANDED	4. INSTANTISED	5. EXTR. [LP]	6. BAKED	7. FERMENT
A. POTATOES — a. Sliced Whole b. Flour							
B. CEREALS — a. Wheat Flour b. Rice Whole c. Rice Flour d. Maize Whole e. Maize Flour f. Oat Flake g. Oat Flour							
C. NUTS — a. Groundnuts b. Almonds c. Pecan, etc							
D. LEGUMES a. Peas b. Beans c. Carrots							
E. FRUIT — a. (Raisins) b. (Bananas) c. (Papayas)							
F. SEED — a. Soya b. Sesame							
G. MEAT — a. Cured b. Fabricated							
H. FISH/SEAFOOD a. Cured b. Fabricated							
I. DAIRY PRODUCE a. Protein b. Whey c. Casein							
J. STARCH							

TABLE

SNACK PRODUCT	CLASS
Potato Crisp	Aa1
Potato Snack	Ab 51
Puffed Rice	Bb3
Meat Snack	Ga7
Cheese	1b7
Prawn Flavoured Snack	Be3
Prawn Snack	Hb1
Instant Noodle	Bc3 or Ba3
Banana Chips	Eb1

ในปัจจุบันอาหารว่าง เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเป็นอาหารที่ใช้รับประทานในระหว่างกิจกรรมต่างๆ เช่น ระหว่างมีงานเลี้ยง ดูโทรทัศน์ เล่นกีฬา อ่านหนังสือ เป็นต้น ในอดีตอาหารว่างที่ได้รับความนิยมมาก คือ ข้าวโพดคั่ว (pop corn) ชิ้นมันฝรั่งทอด (potato chips) ข้าวเกรียบต่างๆ ปัจจุบันมีการผลิตอาหารว่างมากขึ้น และมีหลายประเภท เช่น ผลิตจากเผือก ถั่วลิสง มันเทศ ซึ่งมีการปรุงแต่งรสชาติเครื่องเทศต่างๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นที่นิยมของผู้บริโภคมากขึ้น

2.4 <u>กระบวนการเอกซ์ทรูชัน</u> (Extrusion Process) (11)

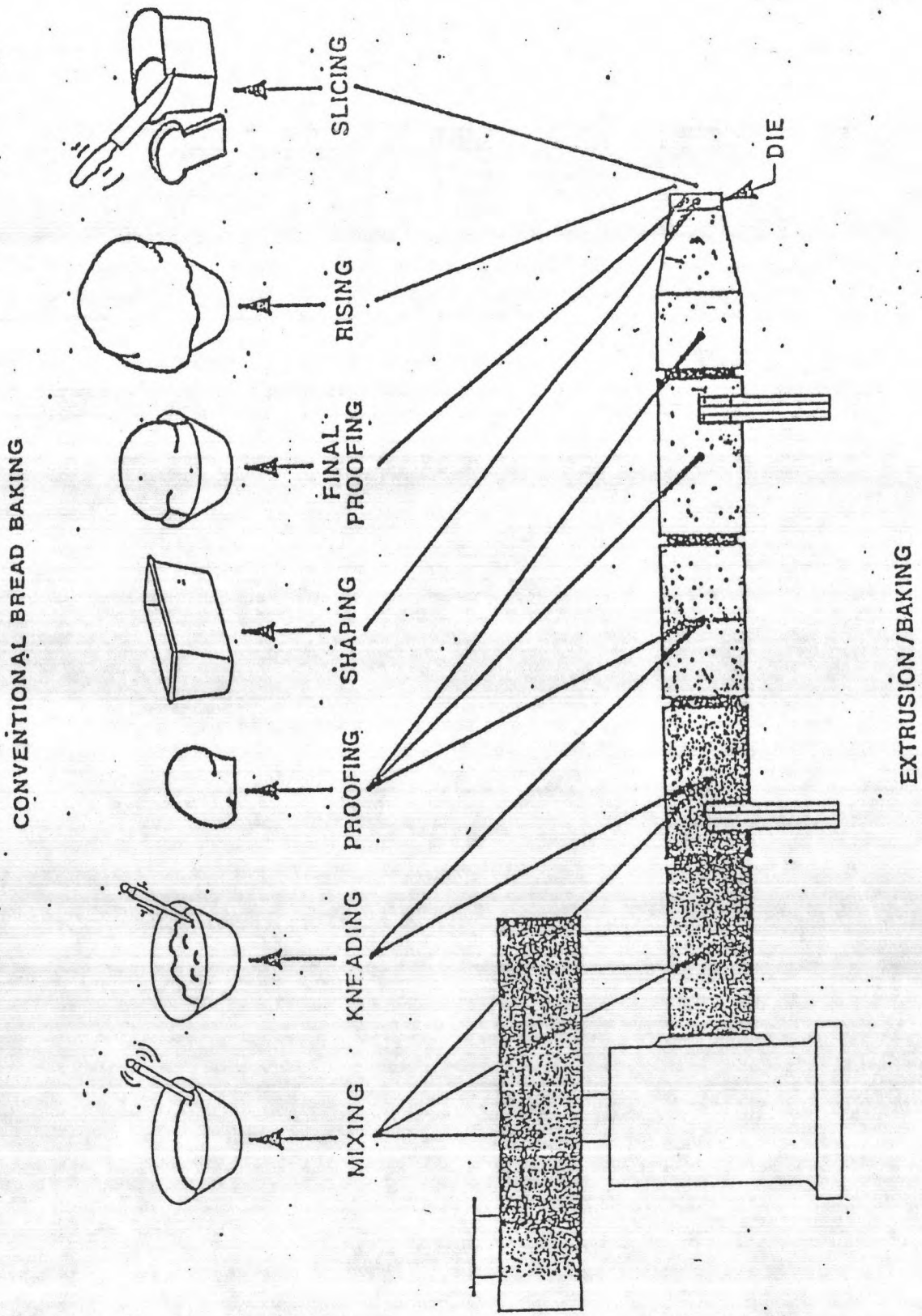
กระบวนการเอกซ์ทรูชัน ได้ถูกนำมาใช้นานแล้ว ในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปพลาสติก อุตสาหกรรมการทำแก้ว เซรามิก โดยหลักการของกระบวนการนี้ คือ การบังคับวัตถุดิบให้มีรูปร่างตามต้องการ โดยผ่านช่องเปิดภายหลังจากการให้ความร้อนสูง โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder)

เครื่องมือเอกซ์ทรูเดอร์มีการออกแบบได้หลายอย่าง อย่างง่ายที่สุด คือ แบบลูกสูบในกระบอกสูบ (ram or piston type extruder) โดยมีสกรูเคลื่อนที่อยู่ภายในกระบอก (barrel) เพื่อส่งวัตถุดิบ และเพิ่มความดัน จนกระทั่งถึงช่องเปิด (die) และผ่านออกสู่ความดันบรรยากาศ

ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้มีผู้ดัดแปลงกระบวนการนี้มา 45 ปี โดยอาหารจะถูกทำให้ร้อนโดยใช้ความร้อน ซึ่งการทำอาหารให้สุก ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ คือ เกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ของแป้ง การเปลี่ยนแปลงสภาพ (denature) ของโปรตีน การยับยั้งเอนไซม์บางชนิดที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งจะมีผลต่ออาหารในระหว่างเก็บ การลดจำนวนจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังทำให้ผลเสียที่เกิดเนื่องจากความร้อนเกิดได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลเสียที่ว่านี้ ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาล (browning) การสูญเสียวิตามิน การเกิดรสชาติที่ไม่ต้องการ (off flavour) เป็นต้น

เมื่อป้อนวัตถุดิบเข้าไปในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ วัตถุดิบจะถูกพา หรือผลักดันไปข้างหน้าโดยการเคลื่อนที่ของสกรู ในระหว่างนี้วัตถุดิบจะถูกนวด บด ผสม คลุกเคล้า ทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นภายในเครื่อง แรงเฉือนนี้จะทำให้เกิดความร้อน ซึ่งความร้อนนี้จะทำให้วัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไปมีลักษณะเหมือนกับโดของขนมปัง (dough-like mass) และเมื่อเคลื่อนที่ไปยังช่วงสุดท้าย จะเป็นช่วงของการหุงต้ม (cooking) วัตถุดิบจะเริ่มสุก พร้อมที่จะถูกขึ้นรูปให้เป็นไปตามลักษณะรูเปิดของเครื่อง และเมื่อเคลื่อนที่ผ่านพ้นรูเปิดก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการ จะเห็นว่า กระบวนการเอกซ์ทรูชันมีความสามารถสูงในการผลิต โดยสามารถทำหน้าที่ได้

หลายอย่าง และผลิตได้อย่างต่อเนื่อง กระบวนการเอก์ทรูชันสามารถเปรียบเทียบได้กับกระบวนการผลิตขนมปัง ตามรูปที่ 2.1 (11)



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิตขนมปังกับการผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (11)

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ตามปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งความชื้นของวัตถุดิบจะมีผลต่อการทำงานของเครื่อง และต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลายรูปแบบ (11)

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ตามปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ (11)

CLASSIFICATION OF EXTRUSION EQUIPMENT ON THE BASIS OF THE MOISTURE CONTENT OF THE FEED INGREDIENTS

Feature	Low moisture	Intermediate moisture	High moisture
Ingredient moisture	M ≤ 20%	28% > M > 20%	M ≥ 28%
Source of input energy	Most energy input from viscous dissipation of mechanical energy input	About half of energy input comes from viscous dissipation of mechanical energy input, other half comes from steam injection or heat transfer	Majority of energy comes from steam injection and heat transfer with very little energy coming from conversion of mechanical energy to heat
Mechanical energy	0.10 kW-hr/kg	0.04 kW-hr/kg	<0.02 kW-hr/kg
Product drying	Minimal requirement; product cooling results in 6% moisture loss	Some product drying required to remove moisture in excess of 12% in finished product	Extensive product drying is required to reduce finished product moisture.
Product shape	Minimal number of shapes available beyond highly expanded pieces or flakes	Many product shapes available	Maximum flexibility of product shapes and textures
Product density	Low density expanded product	Moderate density	Range of density possible
Ingredients	Low moisture cereals and/or oil seeds	Few limitations	Few limitations
Capacity	Lower range, 0.1—0.8 MT/hr	Moderate range, 0.2—3.6 MT/hr	Wide range, 0.4—10.0 MT/hr
Capital cost (extruder, boiler, and dryer/MT)	Low to high, $60,000—$350,000/MT	Moderate, $80,000—$300,000/MT	Highest capital cost, $90,000—$270,000/MT
Maintenance costs	High, $1.20/MT	Moderate, $0.50—$0.60/MT	Low to moderate, $0.40—$0.50/MT
Operating costs	Variable	Variable	Variable

From Harper, J. M., *Low-Cost Extrusion Cookers*, Wilson, D. W. and Tribelhorn, R. E., Eds., Colorado State University, Fort Collins, 1979. With permission.

ประโยชน์ของกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

1. สามารถใช้ได้กว้างขวาง ผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด โดยใช้ส่วนผสมและสภาวะการผลิตที่แตกต่างกันออกไป เช่น การผลิตอาหารขบเคี้ยว เนื้อเทียม อาหารเช้าจากธัญพืช (breakfast cereals) มักกะโรนี เป็นต้น

2. กำลังการผลิตสูง เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่อง จึงทำให้สามารถมีกำลังการผลิตสูงกว่าการผลิตโดยใช้เครื่องมืออื่น

3. ต้นทุนการผลิตต่ำ เนื่องจากการใช้แรงงาน และพื้นที่ติดตั้งเครื่องมือเพียงเล็กน้อย จึงทำให้สามารถใช้งบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามต้องการ โดยการออกแบบช่องเปิด ทำให้ได้เปรียบกว่าเครื่องมืออื่น

5. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูง เมื่อใช้เป็นกระบวนการ HTST จึงมีการสูญเสียวิตามินและคุณค่าทางโภชนาการเพียงเล็กน้อย

6. สามารถทำลายเอนไซม์บางตัวที่ไม่ต้องการ เช่น Lipase, Lipoxidase และทำลายสารพิษบางตัวที่มีอยู่ในอาหาร เช่น Trypsin inhibitor

7. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์น้อยมาก

8. ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ได้มากมาย

จากประโยชน์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางเอกซ์ทรูชันได้มีบทบาทมากขึ้น สามารถผลิตอาหารว่างได้หลายชนิด อาหารว่างหรืออาหารขบเคี้ยวที่ผลิตโดยกระบวนการนี้ มักมีแป้งที่ได้จากธัญญพืชเป็นส่วนผสมหลักอยู่ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งมันเทศ เป็นต้น ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะให้ลักษณะกลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะแป้งมันเทศ (sweet potato flour) เป็นแป้งที่มีสีสวย และมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน เหมาะที่จะนำมาดัดแปลงเป็นอาหารว่าง โดยนำมันเทศมาลวก ทำให้แห้งแล้วบดเป็นผง นำไปผลิตเป็นอาหารว่างโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อไป

2.5 อาหารว่างโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

อาหารว่างที่ผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันนี้ มักมีแป้งจากธัญพืชเป็นส่วนผสมหลักอยู่ เช่น แป้งข้าวโพด ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต เป็นต้น หรือจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งจะให้ลักษณะกลิ่นและรสชาติแตกต่างกันไป สำหรับอาหารว่างที่ผลิตโดยกระบวนการนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ คือ เอกซ์ทรูเดทที่มีการพองตัว (puff) และกรอบ หลังจากผ่านพ้นช่องเปิด และอีกลักษณะหนึ่ง คือ เอกซ์ทรูเดทที่ไม่มีการพองตัว หรือพองตัวเล็กน้อย แต่ไม่กรอบ ในการทดลองนี้ เนื่องจากใช้มันเทศเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต

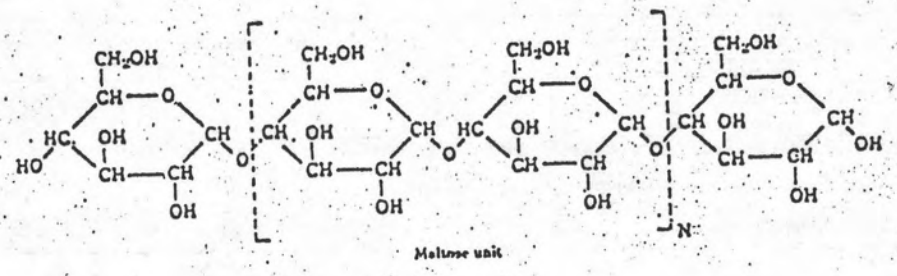
ซึ่งลักษณะของแป้งมันเทศที่ใช้มีสีเหลือง และมีปริมาณน้ำตาลค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับแป้งที่ได้จากธัญพืชอื่นๆ ดังนั้นหากนำมันเทศมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่พองกรอบหลังออกจากช่องเปิดแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีคล้ำ และมีกลิ่นไหม้ ไม่น่ารับประทาน เนื่องจากสภาวะเช่นนี้ต้องใช้อุณหภูมิในการเดินเครื่องสูง ดังนั้นในการทดลอง จึงจะผลิตอาหารว่างแบบไม่พองตัวหลังจากพ้นช่องเปิดแล้ว ต่อจากนั้นจึงนำไปทอดด้วยน้ำมันพืช เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีการพองตัวดี มีสีสวย และมีกลิ่นหอมชวนรับประทาน

2.5.1 การพองตัวของผลิตภัณฑ์ในขณะทอด

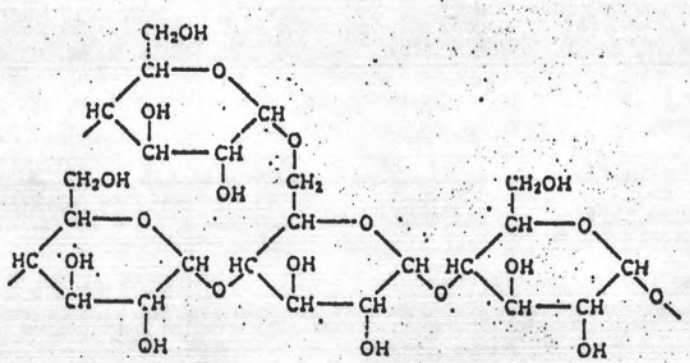
การพองตัว (puffing) ของผลิตภัณฑ์ เกิดจากความแตกต่างระหว่างความดันภายในชิ้นของอาหาร และความดันภายนอกชิ้นอาหาร ไอน้ำที่อยู่ในรูปไอน้ำร้อนยิ่งยวด (super heated steam) จะระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการพองตัวของอาหาร จามรีและนารี (12) ได้ทดลองเปรียบเทียบการพองตัวของแป้ง 4 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวสาลี และแป้งข้าวโพด พบว่า แป้งมันสำปะหลังให้การพองตัวมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี และแป้งข้าวเจ้า ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อการพองตัวของแป้ง คือ อมัยโลส และอมัยโลเพคติน

อมัยโลส (13, 14) เป็นโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยกลูโคส ประมาณ 200-20,000 หน่วย (anhydroglucose unit : AGU) เกาะกันเป็นเส้นเดียวเชื่อมกันด้วยพันธะ α 1,4-glucosidic มีน้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 40,000-340,000 แสดงได้ดังรูปที่ 2.2

อมัยโลเพคติน (13,14) เป็นโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วย กลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α 1,4-glucosidic เป็นส่วนใหญ่ และยังมีส่วนแตกสาขาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β 1,6-glucosidic แต่ละสาขาประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 20-25 AGU มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 4,000,000-6,000,000 แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



โครงสร้างของอมัยโลส



โครงสร้างของอมัยโลเพคติน

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอมัยโลส และอมัยโลเพคติน

015316

แป้งแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนของอมัยโลส ต่ออมัยโลเพคตินแตกต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 2.4 (15)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณอมัยโลส และอมัยโลเพคติน ของแป้งแต่ละชนิด (15)

ชนิดของแป้ง	อมัยโลส (%)	อมัยโลเพคติน (%)
แป้งมันสำปะหลัง	18	82
แป้งข้าวโพด	26	74
แป้งข้าวสาลี	25	75
แป้งข้าวเจ้า	16	84
แป้งมันฝรั่ง	23	77
แป้งมันเทศ	20	80
แป้งข้าวฟ่าง	27	73

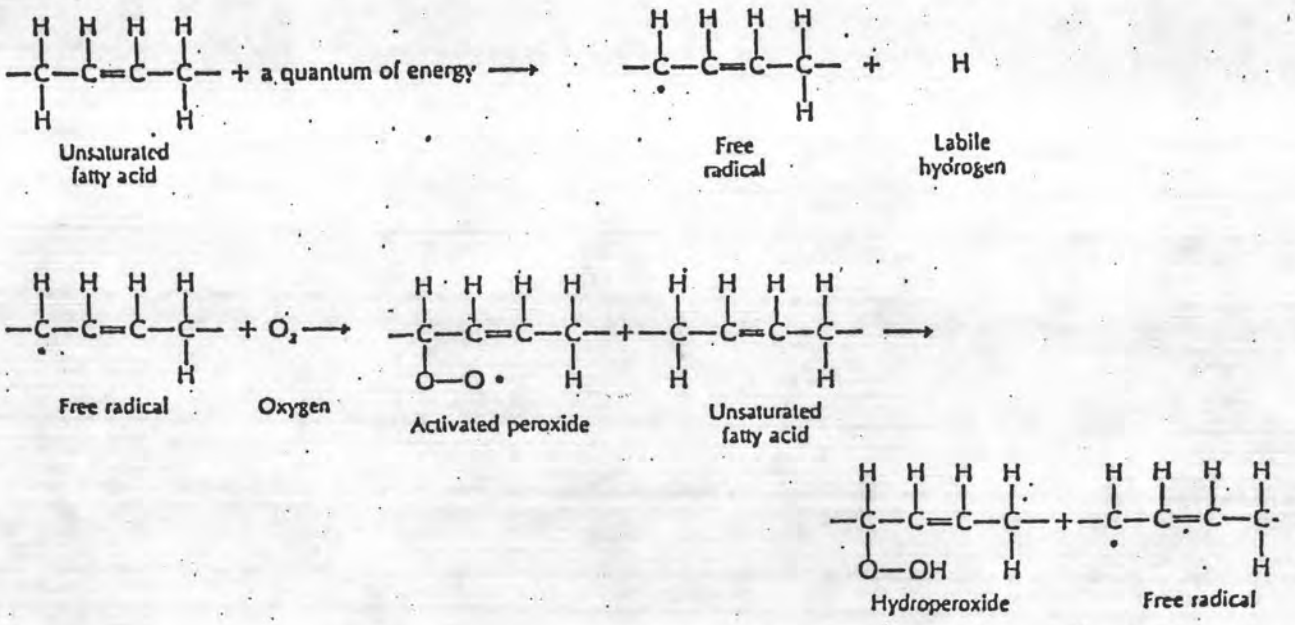
อัตราส่วนของอมัยโลส และอมัยโลเพคติน (16) มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์มาก กล่าวคือ อมัยโลเพคตินจะช่วยในการพองตัว มีน้ำหนักเบา ส่วนอมัยโลสถ้ามีมากจะลดการพองตัว หรือทำให้ specific volume ลดลง แต่จะไปลดการดูดซึมน้ำมันระหว่างทอด ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารว่างแต่ละชนิด จะต้องมีอมัยโลส และอมัยโลเพคตินในแป้งอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมแตกต่างกันไป แป้งที่มีอมัยโลส 5-20 % จะให้คุณสมบัติตามต้องการ คือ มีการพองตัวดี แต่ไม่ดูดซึมน้ำมันมากเกินไป

สำหรับการอมน้ำมันของอาหารที่ทอดแบบ deep fat fried นั้น ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้นของวัตถุดิบเริ่มต้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ทอด เป็นต้น ความชื้นที่เหลือในผลิตภัณฑ์อย่างพอเหมะ จะทำให้เกิดความดันไอขึ้นในเนื้ออาหาร เมื่อได้รับความร้อนขณะทอดในสภาวะที่เหมาะสม จะทำให้เกิดการพองตัว มีลักษณะรูพรุนขึ้นทั่วชิ้นอาหาร ดังนั้น ถ้าความชื้นสูงจะเกิดรูพรุนใหญ่ หรือเกิดการแตกแยกออก ไม่คงรูป (disintegrated) เนื่องจากความชื้นทำให้เกิดความดันมากเกินไป ถ้าความชื้นพอเหมาะจะทำให้เกิดการพองตัวดี รูพรุนจะเล็กสม่ำเสมอทั่วกัน แต่ถ้าความชื้นต่ำไปจะเกิดการพองตัวได้น้อย

กรณีอาหารว่างที่ผลิตจากการนำแป้งต่างๆมาทำให้พองตัว พบว่า ระดับความชื้นของวัตถุดิบก่อนการพองตัว ควรอยู่ในช่วง 8-15 % สำหรับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอด ควรอยู่ในช่วง 185-200 °ซ และเวลา 12-60 วินาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ควรมีความชื้นมากกว่า 5 % จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกรอบ

2.5.2 การเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.5.2.1 การเหม็นหืน เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้มีน้ำมันอยู่ในปริมาณสูง และในสภาพอากาศที่มีออกซิเจนและแสงแดด น้ำมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จะเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยทั่วไปโมเลกุลของน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเกิดเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย จากทฤษฎีที่เชื่อถือได้ในปัจจุบันได้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า ไฮโดรเจนตัวที่อยู่กับคาร์บอนอะตอมที่ใกล้กับคาร์บอนอะตอมที่เกิดพันธะคู่จะถูกกระตุ้นด้วยพลังงานควันตัมซึ่งได้แก่ความร้อนและแสง ทำให้เกิด Free radical จากนั้นโมเลกุลของออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับ Free radical ได้เป็นสารประกอบตัวใหม่เรียกว่า Activated peroxide และ Activated peroxide นี้สามารถแทนที่ไฮโดรเจนจากกรดไขมันตัวอื่นๆ ทำให้ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์และ Free radical ขึ้นอีก ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นและหมุนเวียนไปเรื่อยๆ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นสารไม่คงตัวจะสลายต่อไปเป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีเส้นสายเล็กๆ เช่น กรดไขมัน แอลดีไฮด์ และคีโตน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังในรูปที่ 2.3 (17)



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดการเหม็นหืนของน้ำมัน

ปัจจัยที่สามารถเร่งปฏิกิริยา oxidation ของไขมัน ได้แก่ แสงโดยเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำซึ่งให้พลังงานสูง เช่น รังสีเหนือม่วง (ultraviolet) หรือ แสงจากหลอด fluorescent(18) นอกจากนี้ ความเข้มของแสงและระยะเวลาที่อาหารสัมผัสกับแสงก็มีส่วนทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น(19) โลหะบางอย่างอาจเร่งปฏิกิริยาได้ โดยเฉพาะพวกที่มีประจุตั้งแต่ 2 ประจุขึ้นไป เช่น โคบอลท์ (Co) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และนิเกิล (Ni) เป็นต้น สารประกอบบางอย่างที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบในธรรมชาติ เช่น hemoglobin , myoglobin และ cytochrome สามารถเร่งปฏิกิริยานี้ได้เช่นกัน (20,21)

2.5.2.2 การสูญเสียความกรอบ

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำ ดังนั้นหากเก็บผลิตภัณฑ์ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าความชื้นภายในของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงๆ ผลิตภัณฑ์จะดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้าไป จนกระทั่งระดับความชื้นภายในผลิตภัณฑ์อยู่ในสมดุลกับระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่า"ความชื้นสมดุลย์" หรือ " ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์" (equilibrium moisture content หรือ equilibrium relative humidity ERH) หรืออาจอธิบายความชื้นสมดุลย์ของอาหารในรูปของ water activity (a_w) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของความดันไอน้ำในอาหารต่อความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อิ่มตัวในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิคงที่ และคิดเป็นอัตราส่วน 1:100 ของความชื้นสมดุลดังนี้ (22)

$$a_w = P/P_o = \%ERH/100$$

เมื่อ P = ความดันไอน้ำในอาหาร

P_o = ความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อิ่มตัวในบรรยากาศ

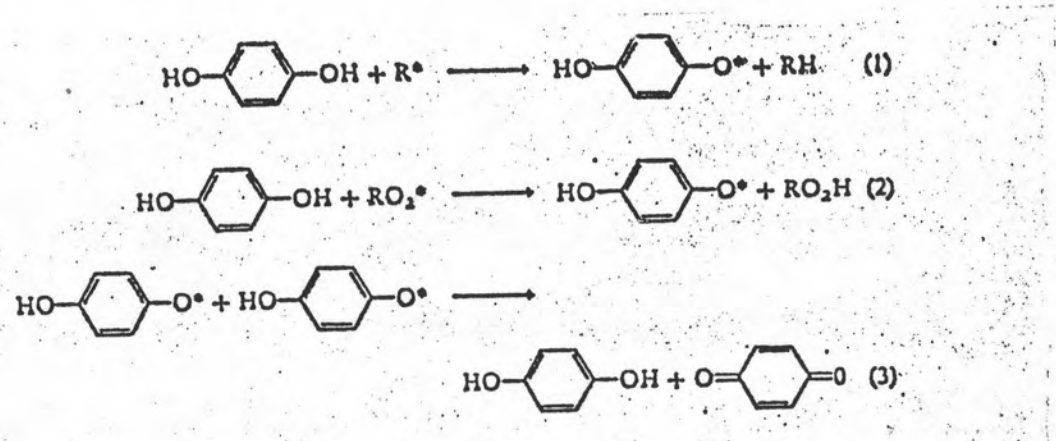
เมื่อผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้าไป อาจเป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์เดิมซึ่งมีลักษณะกรอบจะเหนียวขึ้น จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ความชื้นของอาหารยังมีผลต่อกระบวนการออกซิเดชันของไขมัน อันทำให้เกิดการเหม็นหืนขึ้นในชิ้นผลิตภัณฑ์

2.5.3 การป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

2.5.3.1 การใช้สารกันหืน

สารกันหืน คือ สารเคมีที่เติมลงไปในน้ำมัน ไขมัน หรืออาหารที่มีไขมันเพียงเล็กน้อย เพื่อชลอปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน ทำให้เกิดกลิ่นหืนช้าลง (23) โดยสารดังกล่าวสามารถป้องกันการเหม็นหืนได้ เนื่องจากโมเลกุลของสารกันหืนจะถูก

ออกซิไดซ์แทนกรดไขมันไม่อิ่มตัวและใช้พลังงานที่ก่อให้เกิด Free radical หมดไป กลไกการยับยั้งแสดงดังสมการในรูปที่ 2.4 (17 ,24)



RH = the activated linoleic pentadiene system with H as the labile hydrogen of the methylene group

R^* = free radical

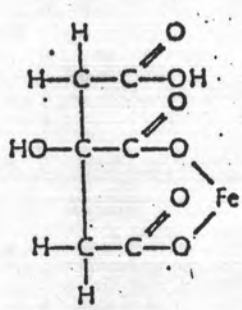
RO_2^* = oxygenated free radical

RO_2H = primary oxidation product (hydroperoxide) and

HO—⟨⟩—OH = hydroquinone

รูปที่ 2.4 กลไกการยับยั้งการเหม็นหืนของน้ำมันโดยใช้สารกันหืน

กรดอินทรีย์บางตัวสามารถช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารกันหืนได้เช่น กรดซิตริก โดยจะไปจับเหล็กซึ่งเป็นตัวคะตาลิสในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังใน รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นระหว่างเหล็กและกรดซิตริก

สารกันหืนที่ Federral Food and Drug Administration ของประเทศสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในน้ำมันและไขมันเบริโภค ได้แก่ Butylated hydroxytoluene (BHT) ,Propyl gallate , Butylated hydroxyanisol (BHA) เป็นต้น ส่วนการตัดสินใจเลือกใช้สารกันหืนชนิดใดในอาหาร จะต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของสารกันหืน ในน้ำมันหรือไขมันที่ใช้ สภาวะที่ใช้ในการเตรียมอาหาร สภาพความเป็นกรดด่างของระบบ เป็นต้น สำหรับสารกันหืนพวก gallate เป็นสารที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นด่าง นอกจากนี้ สารพวก gallate ยังทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็กได้สีน้ำเงิน หรือสีดำ (25 , 26) สำหรับ BHT และ BHA โดยทั่วไปแล้วจะทนทานต่อความร้อน แต่ BHA จะมีกลิ่นผิดปกติเมื่อได้รับความร้อนสูง (26) ส่วน BHT มีข้อได้เปรียบที่สำคัญ คือ เป็นสารกันหืนที่มีราคาถูก นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (27)