

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พืชมงคล (Family Zingiberaceae)

พืชมงคล (Zingiberaceae) เป็นพรรณไม้ล้มลุกมีเหง้า เจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อน และเขตอบอุ่นที่มีความชื้นสูง ศูนย์กลางการกระจายพันธุ์อยู่ในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สามารถกระจายได้บริเวณกว้าง พืชวงศ์นี้มีลักษณะพิเศษคือทุกส่วนของต้นมีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหย (กมลทิพย์ สุวรรณเดช และดวงใจ สุขเฉลิม, 2549) มีด้วยกัน 47 สกุล ประมาณ 1,000 ชนิด จากการตรวจสอบหลักฐานพบว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความหลากหลายของพืชวงศ์นี้สูง พืชวงศ์นี้หลายชนิดมีความสำคัญใช้เป็นเครื่องเทศปรุงแต่งรสอาหาร มีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพร ใช้ทำสีย้อม เครื่องสำอาง บางชนิดมีใบหรือดอกสวยงามสามารถปลูกเป็นไม้ดอกไม้ประดับได้ ตัวอย่างพืชมงคล เช่น จิง (*Zingiber officinale* Roscoe) ข่า (*Alpinia galangal* L. Swartz) ขมิ้นชัน (*Curcuma longa* L.) กระวาน (*Amomum krervanh* Pierre) กระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.) เป็นต้น

จิง (*Zingiber officinale* Roscoe)

จิง (Ginger) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Zingiber officinale* Roscoe ชื่ออังกฤษ คือ Ginger Ginger root Zingiber และ Jamaica ginger ชื่ออื่น ๆ เช่น จิงเกล้ง (Khing klaeng) จิงแดง (Khing daeng) จิงเผือก (Khing phueak) และสะเอ (Sa-e) เป็นต้น (ภาพที่ 2-1) เป็นพืชล้มลุกสูง 0.5-1 เมตร มีลำต้นใต้ดิน เรียกว่าเหง้า (Rhizome) เจริญขึ้นเป็นกอ ลำต้นแท้มีลักษณะเป็นข้อ ๆ มีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มีเยื่อและเกร็ดเล็ก ๆ ห่อหุ้ม แตกแขนงไปกับพื้นดิน ลักษณะการแตกแขนงเป็นแบบนิ้วมือ ลำต้นส่วนเหนือดินเป็นลำต้นเทียม (Clump) ส่วนนี้ประกอบด้วยกาบใบเรียงซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น ลำต้นมีความสูงประมาณ 50 – 100 เซนติเมตร ใบเป็นใบเดี่ยว รูปหอกยาวประมาณ 15 – 17 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 1.8 – 3 เซนติเมตร ใบออกเรียงสลับเป็นสองแถว หลังใบห่อหุ้มเป็นรูปร่างน้ำ ปลายใบเรียวแหลม โคนใบสอบแคบ เป็นกาบหุ้มลำต้นเทียม ดอกมีสีขาวออกเป็นช่อ รูปเห็ดหรือรูปกระบองโบราณ ยาวประมาณ 5 - 7 เซนติเมตร ก้านช่อดอกยาวประมาณ 15 – 25 เซนติเมตร เป็นพืชท้องถิ่นในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการปลูกในประเทศแถบร้อนชื้น ได้แก่ แอฟริกา จีน อินเดีย และจาไมก้า เป็นต้น พันธุ์จิงที่นิยมปลูกในประเทศไทยแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ จิงใหญ่ จิงหยวก หรือจิงขาว มีลักษณะแฉ่งใหญ่ ข้อห่าง เนื้อละเอียด รสไม่เผ็ดจัด เหมาะสำหรับรับประทานเป็นจิงอ่อน หรือจิงคอง อีกชนิดหนึ่งคือ จิงเล็ก หรือจิงเผ็ด มีลักษณะเป็นแฉ่ง

เล็ก สั้น ข้อถี่ รสเผ็ดจัด เหมาะสำหรับทำยาสมุนไพรและทำจิงแห้ง (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และ
 นงลักษณ์ เรืองวิเศษ, 2551; รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540; Farnsworth & Bunyapraphatsara, 1994;
 Kybal, 1980; Seidemann, 2005; Tain & Grenis, 1993)



ภาพที่ 2-1 เหง้าจิง (*Zingiber officinale* Roscoe) (Oonmetta-arce, 2005)

จิงเป็นพืชสมุนไพรที่นำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร เครื่องสำอาง เป็นต้น (มารินะ มะหนิ, อภิญา เอกพงษ์ และธนรัฐ ศรีวิระกุล, 2546) มีรายงาน การศึกษาผลของสารไฟโตเคมีคัล (Phytochemical) ในเหง้าจิง พบว่า มีผลในการยับยั้งการสร้าง เซลล์มะเร็ง บรรเทาอาการอักเสบของกล้ามเนื้อ ยับยั้งการแข็งตัวของเกร็ดเลือด ลดไข้ บรรเทา อาการอาเจียน (Surh et al., 1998 อ้างถึงใน รุจิรา ตาปราบ จันทร่มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม, 2551; Ail, Blunden, Tanira, & Nemmar, 2008) นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ในการรักษาการ อักเสบ (Anti-inflammatory effects) ด้านอนุมูลอิสระ ลดน้ำตาล กลอเลสเตอรอล และไขมันใน เลือด ลดความดันโลหิต ช่วยเพิ่มการบีบหดตัวของหัวใจ (Positive inotropic effect) จากการทดลอง ในสัตว์ (Nicoll & Henein, 2007) สารสำคัญที่พบในจิงที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์และต้าน อนุมูลอิสระคือ 6-gingerol Zingiberene และ Farnesene (กฤติกา นวจิตร์, ญญา เลหากุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น, 2005; รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545; รุจิรา ตาปราบ จันทร่มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม, 2551; Chrubasik, Pittler, & Roufogalis, 2005) นอกจากนี้เหง้าจิงแก่ มีสรรพคุณแก้ ท้องอืด จุกเสียด แก่เสมหะ บำรุงธาตุ แก่คลื่นไส้ อาเจียน สารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยมีฤทธิ์ใน การกระตุ้นการบีบตัวของกระเพาะอาหารและลำไส้ (จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก, 2550)

ข่า (*Alpinia galangal* L. swartz.)

ข่า (Galangal) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Alpinia galangal* L. swartz. ชื่ออังกฤษ คือ Galanga ชื่ออื่น ๆ เช่น ข่า (Khaa) ข้ายักษ์ (Khaa yuak) ข่าหลวง (Khaa luang) เป็นต้น (ภาพที่ 2-2) เป็นพืชล้มลุกสูง 2-2.5 เมตร มีอายุหลายปี มีเหง้าใต้ดิน แตกแขนงไปกับพื้นดิน เหง้าและลำต้นใหญ่กว่าจริง มีข้อและปล้องชัดเจน ใบเป็นใบเดี่ยว ยาว ปลายใบแหลม ขอบใบเรียบ ก้านใบแผ่เป็นกาบ หุ้มซ้อนกันคล้ายลำต้น ดอกออกเป็นช่อที่ยอด ก้านช่อดอกมีขน ดอกย่อยคล้ายดอกกล้วยไม้ ผลมีลักษณะกลม (Globosc) หรือรูปไข่ (Ellipsoid) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร สีส้มแดง เมื่อแก่ผลมีสีดำ เหง้ามีกลิ่นหอมเฉพาะ รสขมเผ็ดร้อน สรรพคุณทางยา แก้ท้องอืด ปวดท้อง จุกเสียดแน่นท้อง (จุไรรัตน์ เกิดคอนแฝง, 2550; รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540; Farnsworth & Bunyapraphatsara, 1994) มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ มีรายงานผลของสารสกัดด้วยแอลกอฮอล์ และคลอโรฟอร์มจากข่ามีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ได้แก่ *Microsporum gypseum*, *Trichophyton rubrum*, *Epidermophyton floccosum*, *Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans* และ *Saccharomyces* sp. (Farnsworth & Bunyapraphatsara, 1994) นอกจากนี้สารสกัดจากข่ามีผลในการยับยั้งการเจริญของ *Staphylococcus aureus* และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย (Mayachiew & Devahastin, 2008; Oonmetta-arce, Suzuki, Gasaluck, & Eumkeb, 2006) สารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ และสมบัตินิการต้านอนุมูลอิสระในข่า เช่น 1,8-cineole เป็นต้น (Gachkar, Yadegari, Rezaci, Taghizadch, Astaneh, & Rasooli, 2007; Mayachiew & Devahastin, 2008)



ภาพที่ 2-2 เหง้าข่า (*Alpinia galangal* L. swartz.) (Oonmetta-arce, 2005)

เหง้าชำประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย ประมาณร้อยละ 0.04 ประกอบด้วยสารหลายชนิด เช่น เมทิล ซินนามาต (Methyl cinnamate) ซีนีคอล (Cineol) ยูจีนอล (Eugenol) การบูร (Camphor) ไพนีน (Pinenes) และแคมเฟอร์อล (Kaempferol) เป็นต้น (คาร์ณิ แก้วมณีวงศ์, 2543; จูไรรัตน์ เกิดดอนแฝก, 2550)

ขมิ้นชัน (*Curcuma longa* L.)

ขมิ้นชัน (Turmeric) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Curcuma longa* L. ชื่ออังกฤษ คือ Turmeric ชื่ออื่น ๆ เช่น ขมิ้น (Khamin) ขมิ้นแกง (Khamin kaeng) ขมิ้นชัน (Khamin chan) ขมิ้นหยอก (Khamin yok) ขมิ้นหัว (Khamin hua) ขี้มิ้น (Kheemin) ตายอ (Taa-yo) สะยอ (Sa-yo) หมิ้น (Min) เป็นต้น (ภาพที่ 2-3) มีถิ่นกำเนิดในประเทศแถบเอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นพืชล้มลุกอายุหลายปี มีเหง้าใต้ดิน เช่นเดียวกับขิงและข่า ส่วนของลำต้นเป็นลำต้นใต้ดินเรียกว่า เหง้า ซึ่งประกอบด้วยแง่มมีลักษณะต่าง ๆ กัน คือ แง่มแม่ (Mother rhizome) หรือแง่มหลักมีลักษณะกลมแตกแขนงที่สองที่สามต่อไป (Secondary and tertiary branches) แขนงที่แตกออกมานี้มีลักษณะกลมเรียกว่าหัว (Corm) ถ้ามีลักษณะยาวจะคล้ายนิ้วมือ (Finger) ลำต้นเทียมสูงประมาณ 0.3 – 0.9 เซนติเมตร ประกอบด้วยกาบใบซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ จากโคนถึงปลาย ใบเป็นใบเดี่ยว แผ่นใบมีลักษณะยาวรี ปลายแหลม ยาวประมาณ 30 – 45 เซนติเมตร กว้างประมาณ 10 – 20 เซนติเมตร มีเส้นกลางใบเห็นได้ชัดเจน จากทางด้านล่างของใบ ใบเรียงแบบสลับ โคนใบมีใบประมาณ 6 – 10 ใบ ดอกเกิดเป็นช่อ ช่อดอกเกิดบนลำต้นที่มีใบ หรือโผล่ขึ้นมาจากใจกลางของกลุ่มใบ ช่อดอกมีรูปร่างแบบทรงกระบอกหรือรูปโคน (Cone) ยาวประมาณ 10 – 18 เซนติเมตร กว้างประมาณ 5 เซนติเมตร (จูไรรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540; Farnsworth & Bunyapraphatsara, 1994; Kybal, 1980; Seidemann, 2005; Tain & Grenis, 1993)

สารสำคัญที่พบในขมิ้นชันประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 3-4 มีสีเหลืองอ่อน นอกจากนี้พบสารสำคัญประเภทเคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoids) ซึ่งเป็นสารสีเหลือง ประกอบด้วยเคอร์คูมิน (Curcumin) เดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (Desmethoxycurcumin) และบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน (Bisdsmethoxy-curcumin) (จูไรรัตน์ เกิดดอนแฝก, 2550; สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2547; Hou et al., 2007; Jayaprakasha, Jagan, Rao, & Sakariah, 2005; Yang, Lin, Tseng, Wang, & Tsai, 2007) นอกจากนี้สารสกัดจากขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Cousins, Adelberg, Chen, & Rieck, 2007; Jayaprakasha et al., 2005)



ภาพที่ 2-3 เหง้าขมิ้นชัน (*Curcuma longa* L) (Oonmetta-arce, 2005)

ความสำคัญทางเศรษฐกิจของ ขิง ข่า ขมิ้นชัน

ปัจจุบันรัฐบาลให้ความสนใจเรื่องสมุนไพรเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นทรัพยากรที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีการนำสมุนไพรไทยมาพัฒนาเป็น ยา ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และเครื่องสำอาง (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และคณะ, 2546) พืชวงศ์ขิงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญใช้เป็นอาหาร และสมุนไพร คุณค่าทางอาหารของพืชวงศ์ขิงบางชนิด ได้แก่ ขิง ข่า ขมิ้นชัน แสดงได้ดังตารางที่ 2-1 การใช้ประโยชน์จากพืชวงศ์ขิงทางด้านอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเทศ ได้แก่ ขิงแห้ง ข่าแห้ง และขมิ้นชันแห้ง เป็นต้น (Manfilcld, 2005; Tain & Grenis, 1993) นอกจากนี้มีการแปรรูปแบบอื่น ๆ เช่น ขิง ดอง ขิง ข่า และขมิ้นชันผง เป็นต้น แหล่งปลูกขิงที่สำคัญของประเทศไทย คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ จังหวัดที่มีการปลูกขิงเชิงเศรษฐกิจ ได้แก่ จังหวัดพะเยา น่าน พิจิตร โลก เพชรบูรณ์ เลย ดาก ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี และชุมพร (กิตติชัย คงตะแบก, 2547) จากข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตขิงที่ได้ ปีเพาะปลูก 2542/43 – 2546/47 กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตรได้ประมวลไว้แสดงได้ดังตารางที่ 2-2

จากตารางที่ 2-2 พบว่าแนวโน้มการผลิตขิงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าจะลดลงในช่วงปีเพาะปลูก 2546/47 ก็ตาม มีรายงานว่าผลผลิตขิงมีแนวโน้มลดลงขณะที่ราคาจำหน่ายมีแนวโน้มสูงขึ้น การที่ผลผลิตลดลงเนื่องจากราคาท่อนพันธุ์อยู่ในระดับสูง และหาซื้อยากเกษตรกรไม่สามารถหาปลูกได้ (บางเขน 1074, 2544) อย่างไรก็ตามปริมาณและมูลค่าการส่งออกของขิงแห้งและขิงสดมีแนวโน้มสูงขึ้น จากปี 2545 ถึงปี 2550 แสดงได้ตารางที่ 2-3 สำหรับขมิ้นมีความสำคัญเชิงพาณิชย์เป็นอันดับ 5 ของกลุ่มเครื่องเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (กิตติชัย คงตะแบก, 2547) ส่วนข้อมูลทางการค้ายังมีไม่มากนัก ตลาดต่างประเทศที่สำคัญของพืชสมุนไพรและพืชวงศ์ขิง ได้แก่ ญี่ปุ่น ตลาดยุโรป และอเมริกา (ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์, 2546)

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางอาหารของจิง ข่า ขมิ้น (100 กรัม) (รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540)

สมุนไพร	พลังงาน (แคลอรี)	น้ำ (g)	โปรตีน (g)	ไขมัน (g)	คาร์โบไฮเดรต (g)
จิง	37	90.3	1.1	0.9	6.9
ข่า	83	75.7	1.0	0.4	11.2
ขมิ้น	63	84.9	0.2	8.2	51

ตารางที่ 2-2 ข้อมูลพื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ ปริมาณผลผลิตจิงของประเทศไทย ปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2542/43 – พ.ศ. 2545/2546 (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2546)

ปีเพาะปลูก	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิตที่ได้ (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)
2542/43 (พ.ศ. 2542 – เม.ย. 2543)	51,786	135,095	2,608
2543/44 (พ.ศ. 2543 – เม.ย. 2544)	50,183	131,004	2,610
2545/45 (ม.ค. 2545 – ธ.ค. 2545)	84,508	208,133	2,460
2545/46 (พ.ศ. 2545 – เม.ย. 2546)	93,843	242,390	2,582
2546/47 (พ.ศ. 2546 – เม.ย. 2547)	65,662	167,094	2,545

ตารางที่ 2-3 ปริมาณ (ตัน) และมูลค่า (ล้านบาท) การส่งออกของจิงแห้งและจิงสด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

ปี	2545	2546	2547	2548	2549	2550
ปริมาณ (ตัน)	26,980	21779	12101	17217	16772	29922
มูลค่า (ล้านบาท)	377.01	350.45	362.47	417.77	339.31	514.61

น้ำมันหอมระเหยจากพืชวงศ์ขิง (Essential Oil, Volatile Oil or Ethereal Oils of Zingiberaceae)

น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) หรือน้ำมันระเหยง่าย (Volatile Oil) หรือ น้ำมันระเหยเร็ว (Ethereal Oils) เป็นสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic Compounds) เกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ (Secondary Metabolite) ของพืช ได้จากการกลั่นด้วยน้ำ หรือไอน้ำ (Steam or Hydro-distillation) หรือสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) จากพืชที่มีน้ำมันหอมระเหย (Aromatic Plant) (สิริลักษณ์ มาตานิช, 2545; Bakkali, Averbeck, Averbeck, & Idaomar, 2008; Batish, Singh, Kohli, & Kaur, 2008; Benchaar et al., 2008; Burt, 2004) พบในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ เมล็ด ดอก ใบ ผล เปลือก ลำต้น ราก และเหง้า (Benchaar et al., 2008) มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสีหรือมีสีอ่อน ๆ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยมีสมบัติที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในพืชสมุนไพรแต่ละชนิด

องค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน องค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) และสารประกอบออกซิเจนเนต (Oxygenated Compounds) โดยองค์ประกอบเหล่านี้มีผลให้เกิดคุณลักษณะเฉพาะในพืชที่มีน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ กลิ่น (Order) และกลิ่นรส (Flavors) (Pourmortazavi & Hajimirsadeghi, 2007)

1. ไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เทอร์พีนส์ และเสสควิเทอร์พีนส์ (Sesquiterpenes)

1.1 เทอร์พีนส์ มีสูตรทั่วไปคือ $(C_5H_8)_n$ พบมากในน้ำมันหอมระเหย มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเช่น โมโนเทอร์พีนส์ (Monoterpenes) มีอะตอมของคาร์บอนเป็นโครงสร้างหลัก 10 อะตอม ตัวอย่างโมโนเทอร์พีน ได้แก่ limonene พบมากในมะนาว และผิวส้ม (สิริเพ็ญ จริเกษม, สิริพันธ์ ทับทิมเทศ, ธัญรัตน์ กางสงคราม, อุบล ฤกษ์อำ และจรัส ทิษยากร, 2548) เป็นต้น

1.2 เสสควิเทอร์พีนส์ (Sesquiterpenes) มีอะตอมของคาร์บอนเป็นโครงสร้างหลัก 10 อะตอม เช่น β -caryophyllene พบมากในใบฝรั่ง Zingiberene พบมากในสารสกัดจากพืชวงศ์ขิง เป็นต้น (สิริเพ็ญ จริเกษม และคณะ, 2548)

2. สารประกอบออกซิเจนเนต ได้แก่ แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ (Aldehydes) คีโตน (Ketones) กรด ฟีนอล (Phenols) ออกไซด์ (Oxides) แลคโตน (Lactones) อะซิตัล (Acetalse) อีเทอร์ (Ethers) และ เอสเทอร์ (Esters)

การสกัดน้ำมันหอมระเหย

การสกัดน้ำมันหอมระเหยสามารถทำได้ 5 วิธี ดังนี้ (รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล, 2549; สิริเพ็ญ จริเกษม และคณะ, 2548; สิริลักษณ์ มาตานิยม, 2545)

1. การกลั่น (Distillation) เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัด โดยการให้น้ำผ่านพืชสมุนไพรที่สกัดน้ำมันหอมระเหยในหม้อกลั่น น้ำมันหอมระเหยจะถูกสกัดออกมาพร้อมกับไอน้ำซึ่งผ่านไปตามท่อ และถูกทำให้เย็นตัวเป็นของเหลวเก็บไว้ในขวด น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะแยกตัวออกจากชั้นน้ำ ทำให้สามารถนำออกมาใช้ได้ง่าย

2. การสกัดด้วยน้ำมันสัตว์ (Extraction by animal fat) วิธีนี้ใช้กับน้ำมันหอมระเหยที่ระเหยได้ง่ายเมื่อกลั่นด้วยไอน้ำ แต่ใช้เวลานานเนื่องจากต้องแช่พืชสมุนไพรไว้ในน้ำมันหลายวันเพื่อให้ไขมันดูดเอากลิ่นหอมออกมา น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้โดยวิธีนี้ ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยจากดอกมะลิ ดอกกุหลาบ เป็นต้น

3. การสกัดด้วยสารเคมี (Solvent extraction) วิธีนี้ทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูง แต่คุณภาพไม่ดีเนื่องจากจะมีสารอื่นปะปนออกมาด้วย การสกัดแบบนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่เรียกว่า Absolute oil วิธีนี้ใช้กับพืชสมุนไพรที่ทนความร้อนสูงไม่ได้ เช่น มะลิ และหลังจากการสกัดต้องระเหยตัวทำละลายที่ใช้สกัดออกให้หมด ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดคือ แอลกอฮอล์

4. การคั้นหรือบีบ (Mechanical Expression) วิธีนี้เป็นการทำให้น้ำมันที่อยู่ในเปลือกของผลไม้ เช่น เปลือกพืชตระกูลส้ม ออกมา ได้น้ำมันหอมระเหยที่ได้มีปริมาณน้อยและไม่บริสุทธิ์

5. การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (Carbondioxide Extraction) วิธีนี้สกัดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความดันสูง ซึ่งสามารถละลายสภาพกึ่งเหลวกึ่งก๊าซเรียกว่า Supercritical state ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายสูง (solvent properties) สามารถสกัดสารหอมน้ำมันหอมระเหยได้มาก ข้อดีคือ ไม่ใช้ความร้อน ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยไม่สลายตัว (Badalyan, Wilkinson, & Chun, 1998) ทำโดยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่ความดันสูงผ่านพืชสมุนไพร ซึ่งวิธีนี้มีต้นทุนการผลิตสูง แต่ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดี และมีความบริสุทธิ์สูง น้ำมันหอมระเหยในพืชวงศ์จิง

พืชวงศ์จิงเป็นพืชที่มีกลิ่นหอม เหง้าของพืชวงศ์จิงประกอบด้วยสารพฤษเคมี (Phytochemical) ที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด รูปแบบการนำสารพฤษเคมีในพืชวงศ์จิงมาใช้มีทั้งในรูปแบบน้ำมันหอมระเหย และน้ำมันชัน (Oleoresin) (รุจิรา คาปราบ และคณะ, 2551) กฤติกา นวจิตร และคณะ (2005) รายงานสารประกอบที่พบในน้ำมันหอมระเหยจากพืชวงศ์

จึง ได้แก่ จิง ข่า ขมิ้นชัน ผ่านการสกัดด้วยวิธีต้มกลั่น สกัดด้วยเอทานอล และสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS แสดงได้ดังตารางที่ 2-4 โดยพบว่าวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกันมีผลให้ สารประกอบที่พบในน้ำมันหอมระเหยมีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 2-4 สารประกอบที่พบในน้ำมันหอมระเหยจากพืชวงศ์จิง ได้แก่ จิง ข่า ขมิ้นชัน (กฤติกา นวจิตร และคณะ, 2005)

พืชวงศ์จิง	สารประกอบ	วิธีการสกัด		
		การต้มกลั่น	เอทานอล	ปิโตรเลียมอีเทอร์
จิง	Calminol	/	ไม่พบ	/
	Farnesene	/	/	/
	Geraniol	/	/	/
	Linalool acetate	/	ไม่พบ	ไม่พบ
	Neral	/	/	/
	β-phellandrene	/	/	/
	Zingiberene	/	/	/
ข่า	Camphor	/	/	/
	1,8-Cineole	/	/	/
	Eugenolacetate	ไม่พบ	/	ไม่พบ
	Fraeseol	ไม่พบ	/	/
	Methyl chavicol	/	ไม่พบ	ไม่พบ
	Terpineol	/	/	/
	β-Thujene	/	ไม่พบ	/
ขมิ้นชัน	Bisabolene	/	/	/
	1,8-Cineole	/	ไม่พบ	/
	Curhone	/	/	/
	γ-Terpinene	/	ไม่พบ	/
	Terpineol	/	ไม่พบ	/
	Turnerone	/	/	/

สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของพืชวงศ์ขิง

อนุมูล หรืออนุมูลอิสระ คืออะตอม โมเลกุล หรือสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัล (Orbital) วงนอกสุดที่มีระดับพลังงานสูง มีสมบัติเฉพาะคือ มีความไวสูงในการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น ๆ (โอภา วัชรกุลป์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดดีสินทอง, 2550) อย่างไรก็ตามมีอนุมูลอิสระบางชนิดที่มีความเสถียร ตัวอย่างอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญทางชีวภาพ ได้แก่ อนุมูลเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ($O_2^{\cdot -}$) อนุมูลไฮดรอกซี ($\cdot OH$) อนุมูลอัลคอกซี ($RO^{\cdot}$) เป็นต้น โดยแบ่งอนุมูลอิสระเป็น 3 กลุ่ม แสดงได้ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้อง (โอภา วัชรกุลป์ และคณะ, 2550)

กลุ่ม	อนุมูลอิสระ	สารที่เกี่ยวข้อง
1	กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (Reactive Oxygen Species)	
	Superoxide Superoxide anion ($O_2^{\cdot -}$)	H_2O_2 Ozone O_3
	Hydroxyl ($\cdot OH$)	Hypobromous acid ($HOBr$)
	Hydroperoxyl ($HO_2^{\cdot}$)	Hypochlorous acid ($HOCl$)
	Peroxyl ($RO_2^{\cdot}$)	Singlet oxygen
	Alkoxyl ($RO^{\cdot}$)	Organic peroxides ($ROOH$)
	Carbonate ($CO_3^{\cdot -}$)	Peroxynitrite ($ONOO^{\cdot}$)
	Carbon dioxide ($CO_2^{\cdot -}$)	Peroxynitrous acid ($ONOOH$)
2	กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (Reactive Nitrogen Species)	
	Nitric oxide ($NO^{\cdot}$)	Nitrous acid (HNO_2)
	Nitrogen dioxide ($NO_2^{\cdot}$, $NO_2^{\cdot -}$)	Nitrosyl cation (NO^+) Nitroxyl anion ($NO^{\cdot -}$) Dinitrogen tetroxide (N_2O_4)
		Dinitrogen trioxide (N_2O_3)
		Peroxynitrite ($ONOO^{\cdot}$)
		Peroxynitrous acid ($ONOOH$)
		Nitronium (nitryl) cation (NO_2^+)
		Alkyl peroxynitrites ($ROONO$)

ตารางที่ 2-5 (ต่อ)

กลุ่ม	อนุมูลอิสระ	สารที่เกี่ยวข้อง
3	กลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (Reactive Chlorine Species)	
	Atomic chlorine (Cl)	Hypochlorous acid (HOCl) Nitryl (nitronium) chloride (NO ₂ Cl) Chloranines Chlorine gas (Cl ₂)

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือสารที่มีสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ หรือทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ ซึ่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระมีความไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยาต่อโมเลกุลอื่น ๆ เช่น โครโมโซม โปรตีน กรดอะมิโน และเอนไซม์ ทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย (ประภาศรี เลหาเวชวานิช, 2547) ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี วิตามินซี กลูตาไธโอน เบต้า – แคโรทีน (β-carotene) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) รวมถึงสารกลุ่มโพลีฟีนอลิก (polyphenolics) เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟีนิลโปรพานอยด์ (phenylpropanoids) เป็นต้น โดยในปัจจุบัน พบว่าสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอลิก เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (โอภา วัชรกุลย์, 2549) สารสกัดจากพืชวงศ์ขิง ที่พบว่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น Gingerol Curcumin Cineol เป็นต้น มีรายงานการทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของพืชวงศ์ขิงแสดงได้ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 การทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของพืชวงศ์ขิง (ขิง ข่า ขมิ้นชัน)

ชื่อวิทยาศาสตร์	วิธีทดสอบ	เอกสารอ้างอิง
<i>Alpinia galanga</i>	β-Carotene bleaching method	Mayachiew and Devahastin (2008)
	DPPH [•] scavenging activity	Chan et al. (2008)
<i>Curcuma longa</i> L	ABTS ^{•+} decolorization assay	Ak and Gulcin (2008)
	DMPD ^{•+} scavenging ability	Ak and Gulcin (2008)
	DPPH [•] scavenging activity	Ak and Gulcin (2008); Chan et al. (2008); Cousins et al. (2007)

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

ชื่อวิทยาศาสตร์	วิธีทดสอบ	เอกสารอ้างอิง
<i>Curcuma longa</i> L	Fe ³⁺ reducing antioxidant power assay	Ak and Gulcin (2008); Cousins, Adelberg, Chen, and Ricck (2007)
	Fe ²⁺ chelating activity	Ak and Gulcin (2008); Chan et al. (2008); Cousins et al. (2007)
	Ferric thiocyanate method	Ak and Gulcin (2008); Cousins, Adelberg, Chen, and Rieck (2007)
	H ₂ O ₂ scavenging activity	Ak and Gulcin (2008)
	O ₂ ⁻ scavenging activity	Ak and Gulcin (2008)
	ABTS ^{•+} decolorization assay	Surveswaran, Cai, Corke, and Sun (2007)
<i>Zingiber officinale</i>	β-Carotene bleaching method	Zancan, Marques, Petenate, and Angela (2002)
	DPPH [•] scavenging activity	จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ (2549); รุจิรา ตาปราบ และคณะ (2551); Chan et al. (2008); Surveswaran et al. (2007)
	Fe ²⁺ chelating activity	Chan et al. (2008)
	Fe ³⁺ reducing antioxidant power assay	Surveswaran et al. (2007)

สมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของพืชวงศ์ขิง

สารสกัดจากพืชวงศ์ขิงบางชนิดมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น 1,8-cineole ในข่า (Gachkar, Yadegari, Rezaei, Taghizadeh, Astaneh, & Rasooli, 2007; Mayachiew & Devahastin, 2008) Curcumin Curcumin Turmerone ในขมิ้น (Hou, Takahashi, Tanaka, Tougou, Qiu, Komatsu, Takahashi, & Azuma, 2007; Jayaprakasha, Jagan, Rao, & Sakariah, 2005; Yang, Lin, Tseng, Wang, & Tsai, 2007) Gingerol Zingiberene และ Farnesene ในขิง (กฤติกา นวจิตร, ญัฏฐา เลาทกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น, 2005; รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545; รุจิรา ตาปราบ, จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม, 2551; Chrubasik, Pittler, &

Roufogalis, 2005) สารประกอบอื่น ๆ ในสารสกัดจากพืชวงศ์ขิงแสดงได้ดังตารางที่ 2-7 นอกจากนี้ การสกัดด้วยเอทานอล พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก (Gram-positive Bacteria) และแบคทีเรียแกรมลบ (Gram-negative Bacteria) (Mascolo, Jain, Jain, & Capasso, 1989 cited in Chrubasik et al., 2005) มีรายงานการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของพืชวงศ์ขิง แสดงได้ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-7 สารประกอบที่สำคัญที่พบในขิง ข่า ขมิ้นชัน

พืชวงศ์ขิง	สารสำคัญ	เอกสารอ้างอิง
ขิง	β -Bisabolene Borneol Camphene Citral Curcumene Eucalyptol Fenchone Gingerol Linalool Menthol Phellandrene β -Pinene Sesquiphellandrene Shogaol Zingiberol Zingerone Zingiberene	กฤติกา นวจิตร และคณะ (2005); จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก (2550); นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และนางลักขณ์ เรืองวิเศษ (2551); รัตนา อินทรานุปกรณ์ (2545); Ali et al. (2008); Farnsworth and Bunyapraphatsara (1994); Jolad, Lantz, Chen, Bates, and Timmermann (2005)
ข่า	D,L-1'-acetoxychavicol acetate Acetoxyeugenol acetate β -bisabolene β -caryophyllene 1,8-cineol <i>p</i> -Coumaryl diacetate Eugenol β -farnesene Galangin Kaempferol Palmitic acid Pinenes Quercitin Methyl cinnamate β -selinene Sesquiphellandrene	กฤติกา นวจิตร และคณะ (2005); จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก (2550); Farnsworth and Bunyapraphatsara (1994); Mayachiew and Devahastin (2008); Oonmetta-aree et al. (2006)
ขมิ้นชัน	Bisabolane Cineol Curcumene Curcumin Curlone Germacrane Guaiane Limonene Terpinene Terpineol Turmerone Zingerene Zingiberene	กฤติกา นวจิตร และคณะ (2005); จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก (2550); นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และนางลักขณ์ เรืองวิเศษ (2551); Farnsworth and Bunyapraphatsara (1994); Jayaprakasha (2005); Leela, Tava, Shafi, John, and Chempakam (2002)

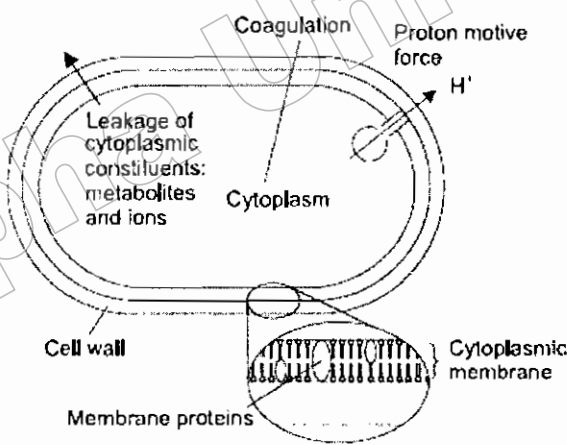
มีรายงานสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียของพืชวงศ์ขิง ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย และองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหย (Chrubasik et al., 2005; Jayaprakasha et al., 2005) ความซับซ้อนของโครงสร้างและกระบวนการต่างๆ ในการดำเนินชีวิตของแบคทีเรีนั้น ส่งผลทำให้การศึกษาถึงกลไกการทำงานของน้ำมันหอมระเหยต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียยังไม่ทราบแน่ชัด (Lambert, Skandamis, Coote, & NyChas, 2001, อ้างถึงใน กฤติกา นรจิตร์, 2548) ตำแหน่งที่สารประกอบน้ำมันหอมระเหย อาจเข้าทำลายเซลล์ของแบคทีเรีย แสดงได้ดังภาพที่ 2-4 โดยมีกลไกทำลายเซลล์แบคทีเรีย ดังนี้คือ เข้าทำลายผนังเซลล์ (Cell Wall) เยื่อหุ้มเซลล์ (Cytoplasmic Membrane) โปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาสซึมเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน (Coagulation of Cytoplasm) และสูญเสียแรงขับเคลื่อนของโปรตอน (Depletion of the Proton Motive Force) (Burt, 2004)

ตารางที่ 2-8 สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของพืชวงศ์ขิง

ชื่อวิทยาศาสตร์	เชื้อจุลินทรีย์	ส่วนพืช	เอกสารอ้างอิง
<i>Alpinia galanga</i>	<i>Bacillus cereus</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร์ (2548)
	<i>E. coli</i>	เหง้า	Oonmetta-aree (2005); Oonmetta-aree et al. (2006)
	<i>Listeria monocytogenes</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร์ (2548)
	<i>Staphylococcus aureus</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร์ (2548); Mayachiew and Devahastin (2008); Oonmetta-aree (2005); Oonmetta-aree et al. (2006)
<i>Curcuma longa</i> L	<i>B. cereus</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร์ (2548); Jayaprakasha et al. (2005)
	<i>B. subtilis</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร์ (2548); Burt (2004); Jayaprakasha et al. (2005)
	<i>E. coli</i>	เหง้า	ยุพา เทียงลาย (2545); Burt (2004); Jayaprakasha et al. (2005)
	<i>L. monocytogenes</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร์ (2548)
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	เหง้า	Jayaprakasha et al. (2005)

ตารางที่ 2-8 (ต่อ)

ชื่อวิทยาศาสตร์	เชื้อจุลินทรีย์	ส่วนพืช	เอกสารอ้างอิง
<i>Curcuma longa</i> L	<i>S. aureus</i>	เหง้า	Jayaprakasha et al. (2005)
<i>Zingiber nimmonii</i>	ราและแบคทีเรีย	เหง้า	Sabulal et al. (2006)
<i>Z. officinale</i>	<i>B. subtilis</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร (2548)
	<i>E. coli</i>	เหง้า	จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ (2549); รุจิรา คาปราบ และคณะ (2551)
	<i>L. monocytogenes</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร (2548)
	<i>S. aureus</i>	เหง้า	กฤติกา นรจิตร (2548); จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ (2549); รุจิรา คาปราบ และคณะ (2551)



ภาพที่ 2-4 กลไก และตำแหน่งของเซลล์แบคทีเรียในการเข้าทำลายโดยสารประกอบน้ำมันหอมระเหย (Burt, 2004)

กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของสารประกอบน้ำมันหอมระเหยอาจแบ่งได้เป็น 2 กลไก ดังนี้ คือ (กฤติกา นรจิตร, 2548)

1. การทำลายเปปไทโดไกลแคน (Peptidoglycan) ของผนังเซลล์แบคทีเรีย

เปปไทโดไกลแคน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย ประกอบด้วย polymer ของน้ำตาล 2 ชนิด (N-acetyl-D-glucosamine: NAG, N-acetyl-D-muramic acid: NAM) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ (Peptide) ซึ่งสารประกอบพีนอลในน้ำมันหอมระเหยสามารถเข้าทำลายโครงสร้างของเปปไทโดไกลแคนในส่วน of พันธะเปปไทด์ สายสั้นๆ โดยหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ของสารประกอบพีนอลเข้าจับกับกรดอะมิโน เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทำให้โครงสร้างของเปปไทโดไกลแคนขาดเกิดช่องว่างที่ผนังเซลล์ ทำให้สูญเสียสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน ของเหลวไหลออกภายนอกเซลล์

2. การทำลายฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ของเยื่อหุ้มเซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดประมาณร้อยละ 60-70 ซึ่งทำหน้าที่ห่อหุ้มไซโทพลาสซึม สารประกอบพีนอลในน้ำมันหอมระเหยสามารถเข้าทำปฏิกิริยาที่หมู่ R ในส่วนของลิพิดซึ่งไม่มีขั้ว ส่งผลให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์เสียรูปร่างและทำงานไม่ได้ นอกจากนี้ยังไปกระตุ้นหมู่ฟอสเฟตให้เกิดเป็นอนุมูล (Radical) ทำให้โครงสร้างเกิดความไม่เสถียร

ไคตินและไคโตซาน (Chitin and Chitosan)

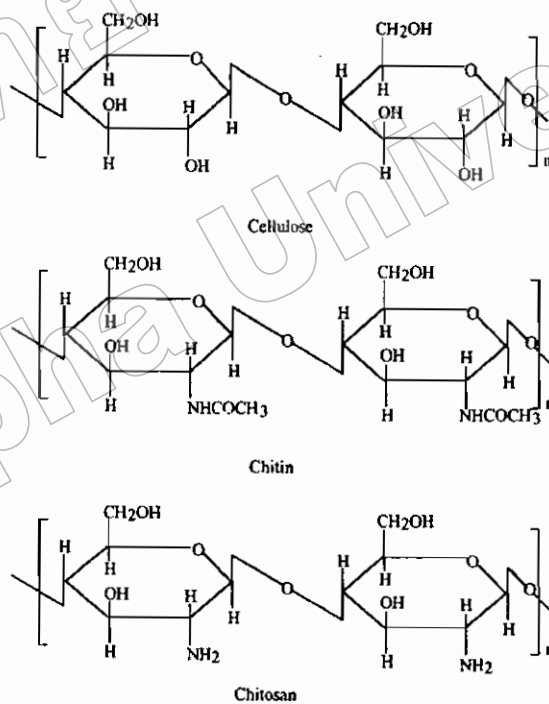
ไคติน (Chitin)

ไคตินเป็นสายโพลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ป้องกัน และสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตพบในรา ยีสต์ สัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลังประเภทข้อปล้อง (Marine invertebrates and arthropods) หรือเปลือกหุ้มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังจำพวก Crustacean และ Insecta เช่น กุ้ง ปู หอย แมลง เปลือกแข็ง และแกนปลาหมึก เป็นต้น แหล่งที่พบไคตินแสดงได้ดังตารางที่ 2-9 สรุปทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_3)_n$ ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และออกซิเจนร้อยละ 39.37 มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส (Cellulose-like) (ภาพที่ 2-4) ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose หรือเรียกว่า N-acetyl-D-glucosamine จับกันด้วยพันธะ β -(1 $\rightarrow$ 4) Linkage เป็นโพลิเมอร์สายตรง คือ Poly β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose มีลักษณะเป็นของแข็งมีรูปร่างไม่แน่นอน ไม่ละลายน้ำ ค้างเจือจาง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ แต่ละลายได้ในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 78-97 และกรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ (Anhydrous $HCOOH$) เป็นต้น (ภาวดี เมธะคานนท์, อสิรา เพ็ญฟูชาติ และก้องเกียรติ กองสุวรรณ, 2543; อภิธา บุญศิริ และไศรดา กนกพานนท์, 2552; Majeti & Kumar, 2000;

Maryadele, 2006; Rinaudo, 2006; Tsigos, Martinou, Kafetzopoulos, & Bouriotis, 2000)

โครงสร้างของไคติน แสดงได้ดังภาพที่ 2-5

ไคตินมีโครงสร้างของผลึก (Crystal Structure) ที่แข็งแรง และมีระดับของผลึกสูง (High degree of crystallinity) รูปแบบของผลึกขึ้นอยู่กับแหล่งของไคตินมี 3 ลักษณะ คือ อัลฟาไคติน (α -Chitin) เบตาไคติน (β -Chitin) และแกมมาไคติน (γ -Chitin) แต่ละลักษณะมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากรูปแบบการจัดเรียงตัวของสายโซ่ สายโซ่โมเลกุลที่ยาวของไคตินมีการจัดเรียงตัวเป็นแบบแผ่นซ้อนทับกัน (Pleated Sheet) ซึ่งอาจเรียงตัวกันได้ 2 แบบคือ แบบขนานมีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในทางเดียวกัน (Parallel pattern) และแบบสวนทางกัน (Anti-parallel pattern) โดยอัลฟาไคตินมีโครงสร้างการเรียงตัวแบบสวนทางกัน พบในเปลือกกุ้ง และปู เบตาไคตินมีการเรียงตัวแบบขนาน พบในแกนหมึก ส่วนแกมมาไคตินเกิดจากการเรียงตัวสลับกันระหว่างอัลฟาไคตินและเบตาไคติน (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543; Rinaudo, 2006)



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของเซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน (Majeti & Kumar, 2000)

ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินมีสูตรทั่วไปคือ $(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_4\text{N})_n$ ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 44.7 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.8 ไนโตรเจนร้อยละ 8.7 ได้จากการกำจัดหมู่อะซิติกของไคตินด้วย

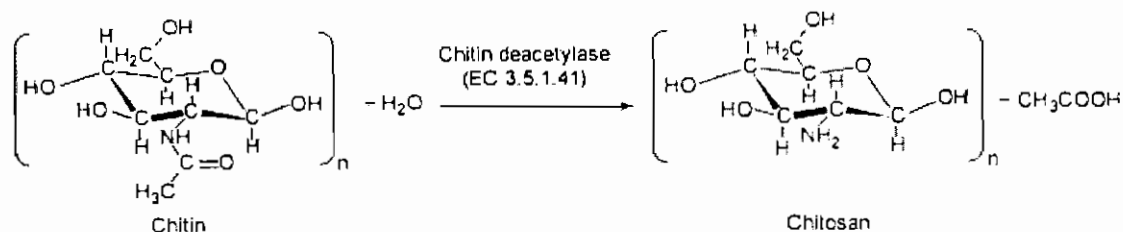
ต่างเข้มข้น หรือย่อยไคตินด้วยเอนไซม์ไคตินดีอะซิเตส (Chitin Deacetylase) (Tsigos et al., 2000) แสดงได้ดังภาพที่ 2-6 โดยหมู่อะซีตามิโด ($-\text{NHCOCH}_3$) ของไคตินถูกแทนที่ด้วยอะตอมของ ไฮโดรเจนกลายเป็นหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ไคโตซานมีชื่อทางเคมีคือ Poly B-(1 $\rightarrow$ 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose กระบวนการกำจัดหมู่อะซิเตสเป็นการเพิ่มหมู่อะมิโน บนสายโซ่ของไคติน หมู่อะมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลายแล้วเปลี่ยนไป อยู่ในรูปประจุบวก (NH_3^+) สารละลายไคโตซานจึงเป็นโพลิเมอร์ที่มีประจุบวก (Cationic polymer) ซึ่งช่วยให้สมบัติการละลายดีขึ้น ระดับการกำจัดหมู่อะซิเตสของไคตินที่ร้อยละ 50 ขึ้นไปมีผลให้ ไคโตซานสามารถละลายได้ในกรด โดยสามารถละลายได้ในกรดหลายชนิด เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดแลกติก ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$) และกรดซิตริก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) เป็นต้น (อภิธา บุญศิริ และ ไชรดา กนกพานนท์, 2552; Rinaudo, 2006)

ตารางที่ 2-9 แหล่งที่พบไคตินและไคโตซาน (Rinaudo, 2006)

สัตว์ทะเล	แมลง	จุลินทรีย์
- สัตว์ในไฟลัมแอนเนลิดา (Annelida) ได้แก่ หนอน ไส้เดือน ปลิง เป็นต้น	แมงป่อง (Scorpions) แมงมุม (Spiders)	สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีน้ำตาล
- สัตว์ในไฟลัมมอลลัสกา (Mollusca) ได้แก่ หอย หมีก ลิ่นทะเล เป็นต้น	หอยตะเกียง (Brachiopods) มด (Ants)	ยีสต์ (b-type) ผนังเซลล์ของรา
- สัตว์ในไฟลัมซีเลนเทอรตา (Coelenterata) ได้แก่ ปะการัง กัลปังหา เป็นต้น	แมลงสาบ (Cockroaches) แมลงปีกแข็ง (Beetles)	ก้านเชื้อราของ <i>Mycelia</i> <i>Penicillium</i>
- Crustaceans ได้แก่ กุ้งก้ามกราม (Lobster) กุ้ง (Shrimp) กุ้งนาง (Prawn) เคย (Krill) เป็นต้น		สปอร์ของ Chytridiaceae Blastocladiaceae Ascomydes

สมบัติทางเคมีกายภาพของไคตินและไคโตซาน

สมบัติทางเคมีกายภาพของไคตินและไคโตซานแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ และ ภาวะที่ใช้ในการผลิต ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการนำไคตินและไคโตซานไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ สมบัติทางเคมีกายภาพของไคตินและไคโตซานสรุปได้ดังนี้



ภาพที่ 2-6 การกำจัดหมู่อะซิติลของไคตินด้วยการย่อยด้วยเอนไซม์ไคตินดีอะซิติเลส
(Tsigos et al. , 2000)

การละลาย (Solubility)

ไคตินไม่ละลายในน้ำ ค้างเจี๊ยะง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ แต่ละลายได้ในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 78-97 และกรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ เป็นต้น ส่วนไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ค้างเจี๊ยะง และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ละลายในกรดอินทรีย์ทุกชนิด ไคโตซานมีคุณสมบัติในการละลายแบบ pH-dependent soluble สามารถละลายในกรดที่มีค่าความเป็นกรดน้อยกว่า 6 และไม่ละลายในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรดมากกว่า 7 อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายของไคโตซานในกรดอินทรีย์ขึ้นอยู่กับหมู่เอมิโนอิสระบนสายโซ่ของไคโตซาน หมู่เอมิโนนี้จะรับโปรตอนจากสารละลายทำให้มีประจุบวกจึงช่วยให้ไคโตซานละลายได้ดีขึ้น ดังนั้นระดับการกำจัดหมู่อะซิติลจึงมีผลต่อการละลายของไคโตซาน นอกจากนี้ ระบบตัวทำละลาย ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ และอุณหภูมิ มีผลต่อการละลายของไคโตซานอีกด้วย (อภิธา บุญศิริ และ ไชรดา กนกพานนท์, 2552; Majeti & Kumar, 2000; Maryadele, 2006) ความสามารถในการละลายในสารละลายต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2-10

ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Degree of deacetylation, %DD)

ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และระดับอะซิติลเลชัน (Degree of Acetylation, %DA) เป็นปัจจัยพื้นฐานทางโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อสมบัติของไคโตซาน เช่น การละลาย ความหนืด การดูดความชื้น การดูดซับไขมัน และความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการนำไปประยุกต์ใช้ และเนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลจึงเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินและไคโตซาน หากสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า คือมีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่หากสัดส่วนของโมโนเมอร์ที่สอง

28 13 10

660.28426
ย 2412
ค.2

มากกว่าคือค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลสูงจะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน (นันทิยา เจริญแหลม, 2548; Rinaudo, 2006)

ตารางที่ 2-10 ความสามารถในการละลายในสารละลายของไคตินและไคโตซานในสารละลาย (Mourya & Inamdar, 2008)

ไคติน	ไคโตซาน
- LiCl ร้อยละ 5 ในสารละลาย Dimethylacetamide หรือ Diethylacetamide	- สารละลายกรดอินทรีย์ และกรดแร่ (Mineral acids) มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 6.5
- LiCl ในสารละลาย N-methyl-2-pyrrolidone	- Dimethylsulfoxide
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -saturated methanol	- p-Toulene sulfonic acid
- Hexafluoroisopropyl alcohol	- 10-Camphorsulfonic acid
- Hexafluoroacetone sesquihydrate	
- สารผสมของ 1,2-dichloroethane and trichloroacetic acid (35:65)	
- สารละลายอิ่มตัวของ lithium thiocyanate	

ความหนืด (Viscosity)

การไหลของพอลิเมอร์เป็นดัชนีวัดขนาดของสายพอลิเมอร์กล่าวคือ สายพอลิเมอร์ที่มีความยาวมากจะแสดงสมบัติการไหลที่ช้า สำหรับความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น Ionic strength ความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิ สารละลายไคโตซานมีความเหนียว ใส มีความหนืดแบบ นอนนิวโตเนียน (Non-newtonian) โดยทั่วไปความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดอินทรีย์ที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่นความหนืดของสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติคเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรดต่างลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายเพิ่มขึ้น (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543)

น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight)

น้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตซานมีความสำคัญต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไคตินและไคโตซาน ได้แก่ สมบัติการละลาย ความหนืด เป็นต้น ไคตินในธรรมชาติมีน้ำหนัก

โมเลกุลสูงมากกว่า 1×10^6 ในขณะที่ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 โดยขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ในการผลิต (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543; Rinaudo, 2006)

ความหนาแน่น (Bulk Density)

โดยทั่วไปความหนาแน่นของไคตินที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง และเปลือกปูมีค่า 0.06 และ 0.17 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าไคตินจากเปลือกกุ้งมีความเป็นรูพรุนมากกว่าไคตินจากเปลือกปู (นันทิยา เจียบแหลม, 2548)

ปริมาณเถ้าและแร่ธาตุ (Ash and mineral contents)

เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคตินและไคโตซานส่วนใหญ่ คือเปลือกสัตว์ทะเล ซึ่งสัมผัสใกล้ชิดกับน้ำทะเลที่มีแร่ธาตุหลายชนิดปะปนอยู่ นอกจากนี้สมบัติการคีเลต (Chelating) ของไคตินและไคโตซานทำให้โลหะหนักที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม และโลหะหนักที่มาจากขั้นตอนกระบวนการผลิตมีโอกาสเข้ามาปนเปื้อน ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในไคตินและไคโตซาน จึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อนำมาใช้บริโภคหรือเป็นอาหารสัตว์ (นันทิยา เจียบแหลม, 2548)

ปริมาณไนโตรเจน และโปรตีน (Nitrogen and protein content)

โปรตีนหรือไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่พบในเปลือกสัตว์ทะเลเช่นเดียวกับไคตินและไคโตซาน ดังนั้นในขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตซานจึงต้องมีขั้นตอนการกำจัดโปรตีน (Deproteination) โดยการทำปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Kim & Mendis, 2006)

ปริมาณโปรตีนที่หลงเหลืออยู่ในไคตินและไคโตซาน อาจส่งผลต่อผู้แพ้โปรตีนในอาหารทะเล เกิดอาการแพ้สำหรับคนที่มีความไวเกินปกติ (Hypersensitive) การผลิตไคโตซานให้มีปริมาณน้อย หรือการสกัดไคโตซานจากสาหร่ายจึงสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ (นันทิยา เจียบแหลม, 2548)

ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulation ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (Flocculant and Coagulating Agent) เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากซึ่งสามารถแตกตัวเป็นประจุบวกได้ จึงสามารถจับกับประจุลบ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่น ๆ (นันทิยา เจียบแหลม, 2548; Renault, Sancey, Badot, & Crini, in press)

จากสมบัติการใช้งานของไคตินและไคโตซาน พบว่ามีความคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม การนำไคตินไปใช้ประโยชน์นั้นมิใช่อำนาจเรื่องความสามารถในการละลายของไคติน ดังนั้นความ

สนใจในการนำไคตินไปใช้ประโยชน์นั้นจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับไคโตซานซึ่งสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นกรดเจือจาง (นันทิยา เจียบแหลม, 2548)

การประยุกต์ใช้ไคโตซาน

ไคโตซานเป็นโพลีเมอร์ชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีสมบัติด้านจุลินทรีย์ นอกจากนี้หมู่อะมิโนบนสายโพลีเมอร์ของไคโตซานมีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลายของแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปประจุบวก (NH_3^+) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และมีหมู่ Primary alcohol ($-\text{CH}_2\text{OH}$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และหมู่ Secondary alcohol ($-\text{CHOH}$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ทำให้ไคโตซานมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา และเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ของไคโตซานได้มากมาย (นันทิยา เจียบแหลม, 2548; ภาวดี เหมะกานนท์ และคณะ, 2543; Rinaudo, 2006) จึงมีการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2-11 ซึ่งในปัจจุบันการประยุกต์ใช้ไคโตซานในด้านอาหารนั้นได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยการมีสมบัติเป็นสารก่อฟิล์ม (Film-Forming Agent) ของไคโตซานทำให้มีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ ซึ่งนอกจากเป็นสารเคลือบผิวที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซแล้ว ยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารเนื่องจากมีสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Dutta, Tripathi, Mehrotra, & Dutta, 2009)

ตารางที่ 2-11 การประยุกต์ใช้ไคโตซาน (Rinaudo, 2006)

การประยุกต์ใช้	การใช้ประโยชน์
ด้านการเกษตร (Agriculture)	เป็นกลไกป้องกันตนเองของพืช กระตุ้นการเจริญเติบโต เคลือบเมล็ดพันธุ์ ป้องกันการการสูญเสียปุ๋ยและสารอาหารในดิน
ด้านการบำบัดน้ำและน้ำเสีย (Water and waste treatment)	เป็นตัวสร้างตะกอนทำให้น้ำใส ดูดซับไอออนของโลหะ ลดกลิ่น
ด้านอาหารและเครื่องดื่ม (Food and beverages)	ไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ (เป็น Dietary fiber) จับไขมัน (ลดคอเลสเตอรอล) ใช้เป็นวัตถุกันเสีย เพิ่มความหนืด และความคงตัวในซอสปรุงรส เคลือบผิวอาหารป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
ด้านเครื่องสำอาง และเครื่องใช้ในห้องน้ำ (Cosmetics and Toiletries)	รักษาความชุ่มชื้นให้แก่ผิวหนัง รักษาผิว บำรุงผม ดูแลช่องปาก (เป็นส่วนผสมของยาสีฟัน และหมากฝรั่ง)

ตารางที่ 2-11 (ต่อ)

การประยุกต์ใช้	การใช้ประโยชน์
ด้านชีวเภสัช (Biopharmaceutics)	ระบบภูมิคุ้มกัน (Immunologic) ห้ามเลือด และยับยั้งการแข็งตัวของเม็ดเลือด (Hemostatic and anticoagulant) รักษาบาดแผล (Hcaling)

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ (Edible Coating)

ปัจจุบันผู้บริโภคต้องการอาหารที่มีคุณภาพดี คงลักษณะของผลิตภัณฑ์ไว้แม้ผ่านกระบวนการแปรรูป หรือเก็บรักษา โดยภาชนะบรรจุได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารในการถนอมรักษาอาหาร จึงได้มีการค้นคว้าและพัฒนาภาชนะบรรจุที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่ตามมาคือ ของเสียเหลือทิ้งอันเนื่องมาจากภาชนะบรรจุที่ใช้บรรจุอาหาร จึงได้มีการพัฒนาการนำวัสดุที่ร่างกายสามารถย่อยได้มาใช้ในการผลิต โดยวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มอาหารประเภทหนึ่งซึ่งได้รับการพัฒนาคือ ฟิล์ม และสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ (วุฒิชัย นาครักษา, 2535)

สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้ ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย นำมาใช้ห่อหุ้มอาหารด้วยวิธีต่าง ๆ กัน เช่น การจุ่ม (Dipping or Immersing) การแปรง (Brushing) การพ่นฝอย (Spraying) การห่อหุ้ม (Enrobing) เป็นต้น เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร และยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร (วุฒิชัย นาครักษา, 2535; อภิธา บุญศิริ และ ไสเรดา กนกพานนท์, 2552; Guilbert, Gontard, & Gorris, 1996; Han, 2005; Krochta, Baldwin, & Nisperos-Carriedo, 1994; Robertson, 1992) โดยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ ถือเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารประเภทหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพอาหารได้ดี มีการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ กับผักและผลไม้สดตัดแต่ง โดยใช้สารเคลือบผิวไปปกคลุม หับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่ และปิดช่องต่าง ๆ ตามธรรมชาติ ทำให้การสูญเสียน้ำ และการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง (อภิธา บุญศิริ และ ไสเรดา กนกพานนท์, 2552) โดยสมบัติเชิงหน้าที่ของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ แสดงได้ดัง ตารางที่ 2-12

หน้าที่ด้านการป้องกันการซึมผ่านของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ มีดังนี้ (ลลิตา ซาติยานนท์, 2549)

1. การป้องกันการซึมผ่านความชื้น สารเคลือบผิวที่มีสมบัตินี้จะควบคุมปริมาณความชื้นและกิจกรรมของอาหารที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง หรือมีส่วนผสมของอาหารที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยา ทางกายภาพ ทางเคมี และลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหาร

2. การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ (เช่น ก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์) สารเคลือบผิวที่มีสมบัตินี้จะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหาร เพื่อลดการเกิดกลิ่นหืนและการสูญเสียวิตามิน อย่างไรก็ตามสารเคลือบที่ใช้กับผักและผลไม้สด ควรยอมให้มีการซึมผ่านของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้ผลผลิตมีอาการผิดปกติ มีกลิ่น และรสชาติที่เปลี่ยนไป (อภิศา บุญศิริ และ ไชรดา กนกพานนท์, 2552)

3. การป้องกันการซึมผ่านของไขมันและสารถูกละลาย สารเคลือบผิวที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไขมันจะช่วยลดการซึมผ่านของน้ำมันและไขมันเข้าไปในอาหาร ทอดได้ นอกจากนี้ในระหว่างการแช่แข็งของเนื้อสัตว์ เนื้ออาหารทะเลในน้ำเกลือ หรือระหว่างการทำแห้งแบบออสโมซิส (Osmosis) ของชิ้นผักและผลไม้ นั้นจำเป็นต้องเคลือบด้วยสารเคลือบผิว ก่อนจึงสามารถลดการซึมผ่านของสารถูกละลายได้

ตารางที่ 2-12 สมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) ของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้

(Dutta et al., in press; Krochta, Baldwin, & Nisperos-Carriedo, 1994;

Robertson, 1992)

สมบัติเชิงหน้าที่	หน้าที่
เป็นตัวห่อหุ้มหรือตัวพา (Encapsulation or Carriage)	- กักเก็บหรือพากลิ่นรส หรือกลิ่นของเครื่องเทศ - กักเก็บหรือพาสารต้านจุลินทรีย์ หรือสารต้านอนุมูลอิสระ - ดูดซับเม็ดสี (Pigments) หรือแสง - พาวัดดูเจือปนอาหาร (Food Additive) อื่น ๆ
การปรับปรุงสมบัติความต้านทาน เชิงกล (Improvement of Mechanical Resistance)	- ปรับปรุงสีของอาหาร - เพิ่มความมันเงา (Shininess) มีความโปร่งแสง (Transparency) - ลดการสูญเสียความชื้น และการแลกเปลี่ยนก๊าซ - ลดการซึมผ่านของไขมันและน้ำมัน และสารถูกละลาย - รักษากลิ่นรสที่ระเหยได้ (Volatile Flavor)
เคลือบอาหารที่มีชิ้นขนาดเล็ก แยกกัน (Individual Protection of Small Pieces of Food)	- เคลือบอาหารที่มีชิ้นขนาดเล็กได้อย่างทั่วถึงที่ละเอียด เช่น เมล็ดธัญพืช เป็นต้น - ไม่ขึ้นกับรูปร่าง และขนาดของอาหาร

นอกจากสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ ช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้น การแลกเปลี่ยนก๊าซ และอื่น ๆ แล้ว สารเคลือบผิวที่บริโภคได้บางชนิดยังมีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อีกด้วย เช่น สารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากไคโตซาน มีรายงานผลการเคลือบผิวสตอเบอร์รี่ด้วยไคโตซาน พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของรา *Fragaria x ananassa* มีผลให้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของสตอเบอร์รี่สดได้นานขึ้น (Hernandez-Munoz, Almenar, Ocio, & Gavara, 2006; Vargas, Albors, Chiralt, & Gonzalez-Martinez, 2006) ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในแก้วมังกรสีแดงดัดแต่ง (Chien, Sheu, & Lin, 2007) เป็นต้น โดยข้อดีของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้มีดังนี้

ข้อดีของสารเคลือบผิวที่รับประทาน (วุฒิชัย นาครักษา, 2535; ลลิตา ซาเดียนนท์, 2549)

1. สามารถบริโภคได้พร้อมกับผลิตภัณฑ์จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
2. เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส เนื่องจากสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ช่วยในการเก็บรักษาสารประกอบที่ให้กลิ่นรส เป็นต้น
3. เสริมคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่ทำจากโปรตีน
4. ใช้หุ้มอาหารโดยแยกออกเป็นแต่ละชั้นได้ เช่น เคลือบผิวด้วย สตอเบอร์รี่ เป็นต้น ใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พิซซ่า (Pizza) พาย (Pie) เป็นต้น
5. ทำหน้าที่เป็นตัวพา (Carrier) โดยการเติมสารต้านจุลินทรีย์ สารกันหืน วัตถุเจือปนอาหารต่าง ๆ ลงในสารละลายเคลือบผิว สำหรับเก็บสารป้องกันจุลินทรีย์ และสารกันหืนนอกจากนี้ยังช่วยควบคุมอัตราการซึมผ่านของสารกันเสีย และสารกันหืนจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร

วัตถุดิบที่ป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ (Materials use in edible coatings formulation)

สารที่ใช้เคลือบผิวที่รับประทานได้มีหลายชนิด ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) หรือคาร์โบไฮเดรต โปรตีน (Proteins) ไขมัน (Lipids) และเรซิน (Resins) (Han, 2005; Gennadios, Hanna, & Kurth, 1997; Guilbert et al., 1996; Krochta et al., 1994; Rahman, 2007) สารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียว หรือใช้สารหลายชนิดร่วมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น สารเคลือบผิวที่มีสตาร์ช (Starch) และ แอลจีเนต (Alginate) หรือ มีสตาร์ช วุ้น (Agar) และ ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) (ลลิตา ซาเดียนนท์, 2549) สารเคลือบผิวจากไคโตซานและเจลาติน (อภิศา บุญศิริ และ โสธดา กนกพานนท์, 2552) เป็นต้น นำมาประยุกต์ใช้ในการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด ได้แก่ ผักและผลไม้สด ผักและผลไม้สดดัดแต่ง ธัญพืช เนื้อสัตว์ อาหารทะเล

เป็นต้น เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร วัตถุดิบที่ใช้ทำเป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคนได้แสดงได้ดังตารางที่ 2-13

ตารางที่ 2-13 วัตถุดิบใช้เป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้และการประยุกต์ใช้ในการเคลือบผิวอาหาร (Rahman, 2007)

ชนิดสาร	สารเคลือบผิว
พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides)	เซลลูโลส และอนุพันธ์ของเซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน เพคติน (Pectin) สตาร์ช (Starch) อะโลเวลา (Aloe vera) Konjac glucomannan สาหร่ายทะเล และกัม (Seaweed and gum polymer)
โปรตีน (Proteins)	โปรตีนจากนม (Milk protein) คอลลาเจน และเจลาติน (Collagen and gelatin) กลูเตนจากข้าวสาลี (Wheat gluten) Corn Zein โปรตีนจากถั่วเหลือง (Soy protein) โปรตีนจากถั่ว (Peanut protein)
ไขมัน (Lipids)	น้ำมัน (Oil) แวกซ์ (Waxes) อิมัลชัน (Emulsions)
เรซิน (Resins)	ครั่ง (Shellac) ชันสน (Wood rosin) เรซิน อื่น ๆ (Other resins)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลือบผิวอาหารด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการเคลือบผิว

วัตถุดิบในการนำมาทำเป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่แตกต่างกันมีผลให้สมบัติเชิงหน้าที่ของสารเคลือบผิวแตกต่างกัน เช่น สารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากคาร์โบไฮเดรตความสามารถในการเลือกผ่านก๊าซต่ำ แต่มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำสูง สารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากโปรตีนโดยมีแหล่งวัตถุดิบจากข้าวโพด กลูเตนจากข้าวสาลี และโปรตีนถั่วเหลืองมีความสามารถในการเลือกผ่านก๊าซออกซิเจนต่ำ เป็นต้น (Rahman, 2007) วัตถุดิบที่นำมาทำเป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้แสดงได้ดังตารางที่ 2-12

2. วิธีการเคลือบผิว

วิธีการเคลือบผิวมีผลต่อคุณภาพของอาหารที่ผ่านการเคลือบผิว โดยมีผลต่อการเกิดฟิล์มที่ผิวของอาหาร การเลือกวิธีการเคลือบที่ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้สูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ของสารเคลือบผิวที่ต้องการ วิธีการเคลือบทำได้หลายวิธี Krochta et al. (1994) แบ่งวิธีการทำให้เกิดฟิล์มและการเคลือบผิว 4 วิธี คือ การจุ่ม การพ่นฝอย การหล่อ และวิธีอื่น ๆ ดังนี้

2.1 การจุ่ม (Dipping)

การจุ่มทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์อาหารเคลือบด้วยสารละลายที่ใช้เป็นสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน มีขนาดใหญ่ ภายหลังจากจุ่มหรือเคลือบผลิตภัณฑ์ถูกวางไว้ให้สารเคลือบผิวแห้ง ตัวอย่างวิธีการจุ่มได้แก่ การทำให้เกิดฟิล์มของอะซิติกเลตโมโนกลีเซอไรด์ (Acetylated monoglycerides) ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ปลา และสัตว์ปีก การเคลือบผิวผักผลไม้ด้วยแว็กซ์ หรือไคโตซาน เป็นต้น

2.2 การพ่นฝอย (Spraying)

การพ่นฝอยสามารถทำให้เกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวอาหารได้เช่นเดียวกับการจุ่ม แต่สามารถทำได้ปริมาณที่มากกว่า อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการพ่นฝอยคือทำให้เกิดฟิล์มที่ผิวอาหารได้เพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น ไม่เคลือบทั่วทั้งผิวเหมือนการจุ่ม เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการเคลือบเพียงด้านเดียว เช่น เคลือบไส้พิซซ่าป้องกันการสูญเสียความชื้นที่ผิวหน้า เป็นต้น นอกจากนี้อาจประยุกต์ใช้การพ่นฝอยในการเคลือบผิวครั้งที่สองต่อจากวิธีการเคลือบผิวอื่น ๆ เช่น การพ่นฝอยสารละลายเทฟลอนเพื่อให้เกิดการเชื่อมข้าม (Cross-link) ของสารเคลือบอัลจิเนตหรือเพคติน

2.3 การหล่อ (Casting)

วิธีนี้ประยุกต์มาจากการเคลือบสารเคลือบผิวที่บริโภคน้ำได้ โดยวิธีนี้ทำได้ง่ายทำให้เกิดฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอ ผิวของสารเคลือบผิวมีความเรียบ การหล่อที่สมบูรณ์สามารถทำได้โดยการควบคุมการกระจายของสารเคลือบผิว (Controlled-thickness spreading) หรือ การเท เมื่อหล่อสำเร็จจะได้เป็นชั้นของสารละลายสารก่อฟิล์มที่มีความหนา จากนั้นนำไปทำให้แห้ง ได้เป็นฟิล์มเคลือบผิวที่บริโภคได้

2.4 วิธีอื่น ๆ (Other Method)

วิธีการเคลือบอื่น ๆ เช่น สารเคลือบผิวที่มีลักษณะเป็นไขมันสามารถเคลือบโดยการแปรง (Brushes) เป็นต้น

3. ชนิดของตัวทำละลายและความเข้มข้นของสารเคลือบผิว

ตัวทำละลายของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน สารเคลือบผิวที่บริโภคได้บางชนิดละลายได้ในน้ำ เช่น อนุพันธ์ของเซลลูโลส (Rahman, 2007) บางชนิดละลายได้ในกรด เช่น ไคโตซาน (Maryadele, 2006) บางชนิดละลายในแอลกอฮอล์ เช่น กลูเตนจากข้าวสาลี (Rahman, 2007) ตัวทำละลายที่ไม่เหมาะสมมีผลให้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ละลายได้ไม่ดี ทำให้การเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ไม่ดี ได้แก่ การเคลือบไม่สม่ำเสมอ สารเคลือบผิวไม่เคลือบหรือเกาะที่ผิวผลิตภัณฑ์ เกิดรูหรือช่องว่างของสารเคลือบที่ผิวผลิตภัณฑ์ เป็นต้น นอกจากนี้

ความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ต้องมีความเหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคลือบผิวและผลิตภัณฑ์ที่นำมาเคลือบ โดยมีผลต่อความหนืดของสารละลายสารเคลือบผิว และสมบัติเชิงหน้าที่ของสารเคลือบผิว

4. อุณหภูมิของสารเคลือบผิว

อุณหภูมิมีผลต่อ การละลาย และความหนืดของสารละลายสารเคลือบผิว ซึ่งส่งผลกระทบต่อเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การเคลือบไม่สม่ำเสมอ สารเคลือบผิวไม่เคลือบหรือเกาะที่ผิวผลิตภัณฑ์ เกิดรูหรือช่องว่างของสารเคลือบที่ผิวผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

5. ความหนาสารเคลือบผิว

การเคลือบสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ให้หนาหรือบางขึ้นขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์อาหารที่นำมาเคลือบ การใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ที่มีความเข้มข้นสูง หรือเคลือบหนาเกินไปนอกจากเป็นการสิ้นเปลืองแล้ว ยังส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด เช่น ผักและผลไม้ มีผลให้อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์ และอะเซตัลดีไฮด์ ทำให้ผลผลิตมีอาการผิดปกติ มีกลิ่นและรสชาติที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้แบคทีเรียที่หายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนจำพวก *Clostridium botulinum* เจริญและสร้างสารพิษส่งผลให้เกิดอันตรายได้ (อภิศา บุญศิริ และ ไสรดา กนกพานนท์, 2552)

การประยุกต์ใช้โคโคซานเป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้

โคโคซานเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ มีสมบัติเป็นสารก่อฟิล์ม (Film-Forming Agent) นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นการใช้โคโคซานในการเคลือบผิวอาหารจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก มีการนำมาใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ มีรายงานการใช้โคโคซานเคลือบผิวอาหารแสดงได้ดังตารางที่ 2-14 โดยการใช้โคโคซานเคลือบผักและผลไม้สดมีผลให้ช่วยปรับสภาพบรรยากาศภายใน ลดอัตราการหายใจ ชะลอการสุก และควบคุมเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกระบวนการเกิดสีน้ำตาล (Browning) (อภิศา บุญศิริ และ ไสรดา กนกพานนท์, 2552) การดัดแปรโคโคซาน โดยการทำเมทิลเลชัน (Methylation) ซึ่งเป็นการเติมหมู่เมทิล (Methyl group) ลงในหมู่อะมิโนของโคโคซาน มีผลให้มีความต้านทานการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นสองเท่า อย่างไรก็ตามมีความต้านทานการระเหยของไอน้ำ (Low Resistance to Water Vapor Transfer) ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวจากไขมัน (Rahman, 2007)

ตารางที่ 2-14 ผลิตภัณฑ์อาหารเคลือบผิวด้วยไคโตซาน

ผลิตภัณฑ์	น้ำหนัก โมเลกุล (kDa)	Degree of deacetylation (%)	กรด ใช้ทำ ละลาย	ความ เข้มข้น (%)	การ เคลือบ	เอกสารอ้างอิง
กระเทียม	-	87	อะซิติก	0.2	เคลือบ	Geraldine, Soares, Botrel, and Goncalves (2008)
แก้วมังกรคั่ว แต่ง	12.36	95 - 98		0.2 0.5 และ 1	ห่อหุ้ม	Chien et al. (2007b)
แครอท	-	-	แลกติก	1.0 1.5 และ 2.0	จุ่ม	Casariago et al. (2008)
พุทราอินเดีย	460	85	-	-	จุ่ม	Qiuping and Wenshuia (2007)
มะเขือเทศ	-	-	แลกติก	1.0 1.5 และ 2.0	จุ่ม	Casariago et al. (2008)
ลิ้นจี่	-	90 - 95	อะซิติก	0 1 2 และ 3	เคลือบ	Dong, Cheng, Tan, Zheng, and Jiang (2004)
ลำไย	-	-	อะซิติก	0.5 1 และ 2.0	จุ่ม	Jiang and Yuebiao (2001)
สตรอเบอรี่	-	-	อะซิติก	1.5	เคลือบ	Hernandez-Munoz et al. (2006)
ส้ม (Murcott tangor)	15.1 และ 357	96.2	อะซิติก	0.05 0.1 และ 0.2	-	Chien, Sheu, and Lin (2007a)
องุ่น	-	90 - 95	อะซิติก	-	พ่นฝอย เคลือบ	Meng et al. (2008)

การทำแห้งอาหาร

การทำแห้ง (Drying) เป็นกระบวนการแปรรูปอาหาร จากการรวบรวมความหมายของการทำแห้งสรุปได้ว่า การทำแห้งหมายถึง กระบวนการดึงน้ำออกจากอาหาร ที่เปลี่ยนวัตถุดิบที่เป็นของแข็ง (Solid) ของเหลว (Liquid) หรือกึ่งแข็ง (Semi-solid) เป็นผลิตภัณฑ์ของแข็ง และมีปริมาณความชื้นต่ำจนถึงระดับที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2543; Baker, 1997; Lewicki, 2006; Vega-Mercado, Gongora-Nieto, & Barbosa-Canovas, 2001)

การทำแห้งเป็นการแปรรูปอาหารอีกวิธีหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากทำให้เก็บรักษาอาหารไว้ได้นาน สามารถทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน เช่น การทำแห้งแบบตากแห้งเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่ใช้เวลานาน ควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ยาก เป็นต้น

การทำแห้งแบ่งได้หลายประเภท Baker (1997) ได้จำแนกประเภทของการทำแห้งแสดงได้ดังตารางที่ 2-15 ซึ่งในกรณีที่ใช้ตัวกลางในการทำแห้งเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งการทำแห้งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. การทำแห้งด้วยอากาศร้อน (Hot air drying)

การทำแห้งด้วยอากาศร้อนนั้นเป็นที่นิยมเนื่องจาก ทำได้ง่าย อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน เช่น การตากแดด การทำแห้งในห้องอบแห้งที่มีกระแสลมผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นตัวให้ความร้อน เป็นต้น อาหารที่นิยมทำแห้งด้วยอากาศร้อน เช่น อาหารทะเล ได้แก่ กุ้งแห้ง ปลาหมึกแห้ง หอยแมลงภู่แห้ง เป็นต้น ผักผลไม้ ได้แก่ กุ้งแห้ง หอม กระเทียม พริก ลำไย เป็นต้น

2. การทำแห้งด้วยก๊าซหลังเผาไหม้ (Flue gases drying)

ก๊าซหลังเผาไหม้เป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ เช่น ขี้เลื่อย ถ่านหิน เป็นต้น มีน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบ ก๊าซหลังเผาไหม้ใช้ในการทำแห้งถ่าน ทราย และใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนในโรงไฟฟ้า เป็นต้น (Holmberg, Claesson, Abul-Milh, & Steenari, 2003)

3. การทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated steam drying)

การทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดยังเป็นการทำแห้งที่ได้รับความสนใจและนำมาประยุกต์ใช้ในการทำแห้งอาหารเนื่องจากการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดช่วยปรับปรุงคุณภาพอาหารทางด้านกายภาพ ได้แก่ สี การหดตัว การกิ่นตัว เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งด้วยอากาศร้อน นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดพลังงานในการทำแห้ง เนื่องจากความชื้นที่ระเหยจาก

ผลิตภัณฑ์และไอน้ำร้อนยวดยิ่งในระบบจะถูกนำกลับมาหมุนเวียนใช้ในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อไป

การทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated steam drying)

การทำแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนแทนอากาศร้อน มีไอน้ำเป็นส่วนประกอบเพียงอย่างเดียว ความดันไอล้อย (Partial Pressure of vapor) จึงมีค่าเท่ากับความดันไอรวม (Total Pressure) และความดันไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำในอาหารจึงไม่มีการแพร่ของความชื้นซึ่งเกิดจากการแพร่ของของเหลวภายในอาหารที่เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่าง ๆ ซึ่งพบในการทำแห้งด้วยอากาศร้อน ดังนั้นการทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำในอาหาร น้ำจึงระเหยได้ สามารถแบ่งการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้ (ฉัตรชัย นิยมล, 2548)

ตารางที่ 2-15 เกณฑ์และการจำแนกประเภทของการทำแห้ง (Baker, 1997)

เกณฑ์	ประเภทของการทำแห้ง
1. วิธีปฏิบัติการ (Mode of operation)	1) แบบกะ (Batch) 2) แบบต่อเนื่อง (Continuous)
2. กายภาพของวัสดุที่ป้อน (Physical form of feed)	1) ของเหลว (Liquid) 2) แป้งเปียก (Paste-like) 3) ผง (Powder) 4) แผ่นกรอบ (Chips) 5) แผ่นต่อเนื่อง (Continuous sheet)
2. กายภาพของวัสดุที่ป้อน (Physical form of feed)	6) กระดานขนาดใหญ่ (Large planks)
3. สถานะของวัตถุดิบในเครื่องทำแห้ง (State of material in dryer)	1) อยู่กับที่ (Stationary) 2) เคลื่อนที่ (Moving)
3. สถานะของวัตถุดิบในเครื่องทำแห้ง (State of material in dryer)	3) กวน (Agitated) 4) สั่นสะเทือน (Vibrated) 5) หมุนวน (Converged) 6) ฟลูอิดไดซ์ (Fluidized) 7) อื่น ๆ (Dispersed)

ตารางที่ 2-15 (ต่อ)

เกณฑ์	ประเภทของการทำแห้ง
4. ความสัมพันธ์ของการไหลของ วัตถุดิบและก๊าซในเครื่องทำแห้ง (Relative flow direction of material and gas in dryer)	1) ทางเดียวกัน (Cocurrent) 2) สวนทางกัน (Countercurrent) 3) การไหลแบบผสม (Mixed flow) 4) การไหลแบบไขว้ (Cross - flow)
5. การใช้ความดัน (Operating pressure)	1) สูญญากาศ (Vacuum) 2) บรรยากาศ (Atmospheric) 3) ความดันสูง (High pressure)
6. ตัวกลางการทำแห้ง (Drying medium)	1) อากาศร้อน (Hot air) 2) ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated steam) 3) ก๊าซหลังเผาไหม้ (Flue gases)
7. อุณหภูมิในการทำแห้ง (Drying Temperature)	1) ต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (Below triple point) 2) ต่ำกว่าจุดเดือด (Below boiling point) 3) สูงกว่าจุดเดือด (Above boiling point)
8. แหล่งความร้อน (Heat input)	1) การนำความร้อน (Conduction) 2) การพาความร้อน (Convection) 3) การฉายรังสี (Radiation) 4) จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic field) 5) การใช้ความร้อนแบบต่างๆร่วมกัน (Combination of various modes) 6) การใช้กระแสมร้อน (Adiabatic) และไม่ใช่กระแสมร้อน (Non-adiabatic)
9. การรับความร้อน (Time – variation of heat input)	1) ต่อเนื่อง (Continuous) 2) ให้ความร้อนแล้วหยุดเป็นช่วงๆ (Intermittent)

1. ช่วงเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวอาหาร (Condensation period)

ในช่วงต้นของการทำแห้งความร้อนที่ให้กับอาหารจะอยู่ในรูปของความร้อนสัมผัส (Sensible heat) อุณหภูมิของอาหารจะสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำในอาหาร ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้ปริมาณ

ความร้อนสูง ถ้าอุณหภูมิของไอน้ำไม่สูงพอจะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวอาหารทำให้ความชื้นของอาหารเพิ่มขึ้น ปริมาณไอน้ำที่ควบแน่นจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (Thermal diffusivity) ของอาหาร ความชื้นในอาหาร และอุณหภูมิของไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง

2. ช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ (Constant drying rate period)

เป็นช่วงที่อาหารมีความชื้นสูง และบริเวณผิวอาหารเต็มไปด้วยน้ำอิสระ ดังนั้นจึงมีการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารจึงเกิดขึ้นที่ผิวอาหารเท่านั้น โดยความร้อนส่วนใหญ่ที่อาหารได้รับจะถูกนำไประเหยน้ำอิสระบริเวณผิว ซึ่งอุณหภูมิจะคงที่ที่จุดเดือดของไอน้ำในอาหารส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนและอัตราการทำให้แห้งคงที่

3. ช่วงอัตราการทำให้แห้งลดลง (Falling Rate Drying Period)

ช่วงนี้ความชื้นของอาหารมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) หรือค่าความชื้นในอาหารที่อัตราการทำให้แห้งลดลงและเป็นจุดสุดท้ายของช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่ การถ่ายโอนความร้อนและมวลสาร ไม่ได้เกิดขึ้นที่ผิวอาหารเท่านั้นแต่เกิดการถ่ายโอนในเนื้ออาหารด้วย การเคลื่อนที่จากน้ำภายในมาที่ผิวอาหารช้ากว่าการพาความร้อนของอาหารไปยังอากาศ ทำให้อัตราการทำให้แห้งลดลง

อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วอัตราการทำให้แห้งสำหรับกระบวนการทำให้แห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง และการทำให้แห้งด้วยอากาศร้อนไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนที่แตกต่างกันคือ เมื่อทำให้แห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวของตัวอย่างอาหารในช่วงเพิ่มอุณหภูมิอาหาร ซึ่งอัตราการทำให้แห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งหรืออากาศร้อนจะเร็วหรือช้าเมื่อเปรียบเทียบกับขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณไอน้ำที่ควบแน่นที่เกิดขึ้น ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เวลาในการทำให้แห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถลดปัญหานี้ได้โดยให้ความร้อนแก่อาหารก่อนการทำให้แห้ง
2. อุณหภูมิอินเวอร์ชัน (Inversion temperature) ถ้าอุณหภูมิของไอน้ำร้อนชนิดยิ่งสูงกว่าอุณหภูมิอินเวอร์ชัน การทำให้แห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งจะเร็วกว่าการทำให้แห้งด้วยอากาศร้อน
3. ความดันของไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง ถ้าใช้ความดันไอน้ำร้อนชนิดยิ่งเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนจะสูงขึ้น เนื่องจากสมบัติของไอน้ำที่เปลี่ยนไป ความดันของไอน้ำจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การทำให้แห้งเร็วขึ้น
4. ธรรมชาติของอาหารที่นำมาทำให้แห้ง เช่น หากอาหารที่นำมาทำให้แห้งมีขนาดเล็ก หรือมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สูง หรืออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารสูง จะส่งผลให้อาหารแห้งได้เร็วขึ้น งานวิจัยเกี่ยวกับการทำให้แห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2-16

ตารางที่ 2-16 การทำแห้งอาหารด้วยไอน้ำร้อนขวดขิง

ชนิดอาหาร	เอกสารอ้างอิง
กล้วยเคี้ยว	Pronyk, Cenkowski, and Muir (2004)
กล้วย	Elustondo, Elustondo, and Urbicain (2001); Nimmol, Devahastin, Swasdisevi, and Soponronnarit (2007 a); Nimmol, Devahastin, Swasdisevi, and Soponronnarit (2007 b)
กากข้าวมอลต์	Pronyk et al. (2004); Tang, Cenkowski, and Izydorczyk (2005); Tang, Cenkowski, and Muir (2004)
กุ้ง	สำราญ ธิช่วงทอง (2544); Elustondo et al. (2001); Namsanguan, Tia, Devahastin, and Soponronnarit (2003)
ไก่	สุตาทิพย์ คงขำ, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2549); Nathakaranakul, Kraiwanichkul, and Soponronnarit (2007)
ข้าว	Rordprapat, Nathakaranakule, Tai, and Soponronnarit (2005); Taechapairoj, Dhuchakallaya, Soponronnarit, Wetchacama, and Prachayawarakorn (2003); Taechapairoj, Prachayawarakorn, and Soponronnarit (2006)
ข้าวกล้อง	Soponronnarit, Nathakaranakule, Jirajindalert, and Taechapairoj (2006)
ข้าวเหนียวหนึ่ง	มนตรี มนตรีพิลา (2548)
แครอท	Suvarnakuta, Devahastin, and Mujumdar (2007)
ถั่วเหลือง	Prachayawarakorn, Prachayawasin, and Soponronnarit (2006)
ทุเรียน	Jamradloedluk, Nathakaranakule, Soponronnarit, and Prachayawarakorn (2003); Jamradloedluk, Nathakaranakule, Soponronnarit, and Prachayawarakorn (2007)
เนื้อวัว	ชัยรงค์ เตชะไพโรจน์, ศิริวัฒน์ สีนประเสริฐ, สมเกียรติ ปรัชญาวารากร และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2548)
เนื้อหมู	ณรงค์ อังกิมบัวน (2544); วันชลี เฟื่องพงศา, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2549)
ใบโหระพา	Barbieri, Elustondo, and Urbicain (2004).
ปลากระตัก	สำราญ ธิช่วงทอง (2544)
มะขามป้อม	Methakhup, Chiewchan, and Devahastin (2005)

การทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชัน

การทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชัน แบบวิธีดั้งเดิมนิยมทำแห้งด้วยการตากแดด ซึ่งใช้ระยะเวลาการตากแดดหลายวัน ต่อมาได้มีการประยุกต์เพื่อให้สามารถทำแห้งได้เร็วขึ้น เช่น การทำแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ การทำแห้งด้วยอากาศร้อน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำเทคโนโลยีการทำแห้งเพื่อรักษาสารประกอบที่ระเหยได้โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำเข้ามาใช้ เช่น การทำแห้งแบบระเหิด การทำแห้งที่ความดันต่ำ เป็นต้น แต่วิธีดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ปัจจุบันมีรายงานการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนขยอซึ่งที่สภาวะบรรยากาศ (อาทิตย์ จันทร์ หิรัญ, 2550) ซึ่งเป็นวิธีการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนขยอซึ่งที่ใช้ความร้อนสูง (มากกว่า 100 องศาเซลเซียส) แต่อย่างไรก็ตาม การทำแห้งด้วยวิธีนี้ทำให้ใช้ระยะเวลาการทำแห้งที่สั้นลง อีกทั้งยังช่วยลดพลังงานในการทำแห้งเนื่องจากการหมุนเวียนของไอน้ำกลับมาใช้ใหม่ มีรายงานวิธีการทำแห้งพืชวงศ์ขิงด้วยวิธีต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2-17

ตารางที่ 2-17 วิธีการทำแห้งพืชวงศ์ขิงด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีการทำแห้ง	พืช	อุณหภูมิ (°C)	เวลาทำแห้ง	เอกสารอ้างอิง
ตากแดด	ขิง	ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ	4 วัน	กุตยา จันทร์อรุณ และคณะ (2538)
			1 สัปดาห์	รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ (2540)
	ขมิ้นชัน	-	3 วัน	Balladin, Changyen, McGAW, and Headley (1996)
			192 - 288 ชั่วโมง	Prasad and Vijay (2005)
			1 – 2 สัปดาห์	รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ (2540)
ตากแดดการใช้ร่วมกับเรือนกระจกช่วงกลางวัน	ใบพืชวงศ์ขิง	35 (อุณหภูมิเรือนกระจกเวลากลางวัน)	3 วัน	Chan, Lim, Wong, Lim, Tan, Lianto, and Yong (2008)

ตารางที่ 2-17 (ต่อ)

วิธีการทำแห้ง	พืช	อุณหภูมิ (°C)	เวลาทำแห้ง	เอกสารอ้างอิง
ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	จิงและขมิ้นชัน	28.5	72 - 120 ชั่วโมง	Prasad and Vijay (2005)
ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล	จิงและขมิ้นชัน	40 - 51	36 - 48 ชั่วโมง	Prasad and Vijay (2005)
แบบระเหิด	ใบพืชมังคุด	-50 (0.125 mbar)	Overnight	Chan et al. (2008)
ไ้มความร้อน	จิง	60	7 - 8 ชั่วโมง	กฤษดา จันทร์อรุณ และคณะ (2538)
ไมโครเวฟ	ใบพืชมังคุด	50	5	Chan et al. (2008)
อากาศร้อน	จิง	60	7 - 8 ชั่วโมง	กฤษดา จันทร์อรุณ และคณะ (2538)
	ใบพืชมังคุด	25-30 (RH 33 %)	3 วัน	Chan et al. (2008)
ไอน้ำร้อนขดขึง	จิง	150	80 นาที	อาทิตย์ จันทรศิริ (2550)

กระบวนการทำแห้งจิง ข่า ขมิ้นชัน

กระบวนการทำแห้งจิง ข่า และขมิ้นชัน เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตสารสกัดสมุนไพร (รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล, 2549) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตยา เครื่องสำอาง ในอุตสาหกรรมอาหารอาจไม่จำเป็นต้องทำในรูปแบบของสารสกัด เพียงแต่นำมาย่อยขนาดแล้วนำไปเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ต่อไป เช่น ผลิตเป็นผงเครื่องเทศ ได้แก่ ผงกะหรี่ (Curry powder) เป็นต้น สำหรับขั้นตอนการทำแห้งจิง ข่า และขมิ้นชัน ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- 1. ขั้นตอนการคัดเลือกวัตถุดิบ (รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล, 2549)

ปัจจัยที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการคัดเลือกวัตถุดิบ คือ แหล่งเพาะปลูก อายุพืช ฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว กระบวนการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล, 2549)

2. การล้างวัตถุดิบ

ควรมีการทำความสะอาดวัตถุดิบก่อนการทำให้แห้ง เนื่องจากวัตถุดิบขิง ข่า และขมิ้นชันเป็นส่วนเหง้าที่อยู่ใต้ดิน ทำให้มีสิ่งแปลกปลอม เช่น กรวด หิน ดิน ทราย เป็นต้น ติดมาด้วย เพื่อลดสิ่งแปลกปลอมที่อาจมากับวัตถุดิบ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขิงแห้ง และขมิ้นชันแห้ง (มอก. 458-2526; มอก. 890-2532) กำหนดให้มีสิ่งเจือปนหรือสิ่งแปลกปลอมได้ไม่เกินร้อยละ 2

3. การเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำให้แห้ง

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำให้แห้ง เช่น การตัดแต่ง การแช่หรือไมแช่ในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตขิงแห้ง ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขิงแห้งกำหนดให้ความยาวของขิงที่เป็นชิ้น หรือเป็นแ่ง ต้องไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร (มอก. 458-2526) นอกจากนี้มีรายงานว่า การผลิตขิงแห้งนั้น อาจต้องมีการแช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อลอกเยื่อออกได้ง่าย ข้อควรระวังคือไม่ควรใช้มีดในการตัดแต่งขิง เพราะทำให้ผิวของขิงเสีย (กุลยา จันทร์อรุณ และคณะ, 2538; รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540) สำหรับขมิ้นชัน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดไว้คือในการทำขมิ้นชันแห้งคือนำขมิ้นชันต้ม หรือนึ่ง หรือแช่ในน้ำเดือดอย่างน้อย 30 นาที เพื่อกันออกผิให้แห้ง อาจขัดผิวหรือไม่ก็ได้ (มอก. 890-2532)

4. ขั้นตอนการทำให้แห้ง

ในขั้นตอนนี้ควรมีสถานะที่เหมาะสมต่อการทำให้แห้งเพื่อคงรักษาสารประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง วิธีการทำแห้งนั้นทำได้หลายวิธี แสดงได้ดังตารางที่ 2-17

5. ขั้นตอนการย่อยขนาด

ย่อยขนาดเพื่อนำผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้งไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น ผงกะหรี่ เป็นต้น เครื่องย่อยขนาดที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ เครื่องบดที่มีลักษณะเป็นใบพัดตัด หรือค้อนตี เครื่องบดแบบลูกไม่หมุน และเครื่องบดแบบสไลด์เกลียว (รุ่งระวี เต็มศิริฤกษ์กุล, 2549)

มาตรฐานพืชวงศ์ขิงแห้ง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานของพืชวงศ์ขิงแห้งไว้ 2 ชนิด คือ ขิง และขมิ้นชัน มีรายละเอียดดังนี้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขิงแห้ง (มอก. 458-2526)

ขิงแห้ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนที่เป็นลำต้นใต้ดิน (rhizome) ของพืชที่มีชื่อพฤกษศาสตร์ว่า ชินจิเบอร์ ออฟฟิซินาเล รอสcoe (*Zingiber officinale* Roscoe) มีลักษณะทั้งแ่งหรือเป็นชิ้น (cut piece) ที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร สีเหลืองถึงน้ำตาลอ่อน ล้างน้ำให้สะอาด และจะฟอกน้ำปูนใส (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ด้วยหรือไม่ก็ได้ แล้วทำให้แห้ง

สิ่งเจือปน (extraneous matter) หมายถึง สิ่งที่ไม่ใช่ส่วนประกอบตามธรรมชาติของขิง เช่น กรวด หิน ดินทราย ฯลฯ ที่ปะปนมากับขิง

คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ลักษณะทั่วไป

1.1 ต้องมีสี กลิ่นรสเฉพาะตามธรรมชาติของขิง ไม่มีกลิ่นหืน กลิ่นอับและรสขม หรือกลิ่นรสแปลกปลอมอื่นใด

1.2 ต้องไม่มีรา แมลง ชิ้นส่วนของแมลง หรือมูลสัตว์ ที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2. การปราศจากข้อบกพร่อง

2.1 สิ่งเจือปน จะมีได้ไม่เกินร้อยละ 2

3. คุณลักษณะทางเคมีของขิงแห้ง ให้เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2-18

ตารางที่ 2-18 คุณลักษณะทางเคมีของขิงแห้ง

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	12.0
2	เถ้าทั้งหมด ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่เกิน	10.0
3	แคลเซียม (คำนวณเป็นแคลเซียมออกไซด์) ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่เกิน	1.0
4	น้ำมันระเหย (volatile oil) ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่น้อยกว่า	1.5

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง (มอก. 890-2532)

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มีดังต่อไปนี้

1. ขมิ้นชัน หมายถึง ลำต้นใต้ดิน หรือที่เรียกว่าเหง้า ของพืชที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *เคอร์คูมา ลองกา* *ลินเนียส (Curcuma longa Linnaeus)* วงศ์ขิงกิเบราซีอี (Zingiberaceae)

2. ขมิ้นชันแห้ง หมายถึง ขมิ้นชันที่นำมาคั่วหรือแห้ง ไม่น้อยกว่า 30 นาที หรือแช่น้ำในน้ำเดือด เพื่อกันงอก แล้วทำให้แห้ง อาจขัดผิวหรือไม่ก็ได้ มีลักษณะเป็นก้อนหรือเป็นผง

3. สิ่งแปลกปลอม หมายถึง สิ่งที่ไม่ใช่ส่วนประกอบตามธรรมชาติของ ขมิ้นชัน เช่น กรวด หิน ดิน ทราย เส้นขน แมลง ชิ้นส่วนของแมลง

ชนิดและแบบ

ขมิ้นชันแห้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะปรากฏ คือ

1. ชนิดก้อน แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1.1 เหง้า (whole rhizome)

1.2 หัว (bulb or primary rhizome)

1.3 แง่ง (finger or secondary rhizome)

2. ชนิดผง

คุณลักษณะที่ต้องการ

คุณลักษณะโดยทั่วไป

1. ชนิดก้อน

1.1 มีลักษณะแห้ง แข็ง มีกลิ่นเฉพาะตัว ปราศจากกลิ่นอับ หรือกลิ่นแปลกปลอม เมื่อหักแล้วเนื้อภายในต้องมีสีเหลืองจนถึงสีส้มปนน้ำตาล

1.2 สิ่งแปลกปลอม จะมียรวมกันได้ไม่เกินร้อยละ 2.0

1.3 ชี้นบกพร่องที่ยอมให้มีได้ ได้แก่ ภายในกลวง เสียไหม้ หรือคำหนีอื่นๆ จะมียรวมกันได้ไม่เกินร้อยละ 5.0

1.4 ในกรณีที่เป็นแบบแ่ง จะมีส่วนหัวปนได้ไม่เกินร้อยละ 5.0 และจะมีชิ้นหักที่มีความยาวน้อยกว่า 15 มิลลิเมตร ได้ไม่เกินร้อยละ 7.0

2. ชนิดผง

2.1 มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีเหลืองจนถึงสีส้มปนน้ำตาล มีกลิ่นเฉพาะตัว และปราศจากกลิ่นอับหรือกลิ่นแปลกปลอม

2.2 ปริมาณที่ผ่านร่ง 500 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0

2.3 ปราศจากสิ่งแปลกปลอม

2.4 เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ต้องไม่พบเม็ดแป้งอื่น นอกจากเม็ดแป้งของขมิ้นชันซึ่งเป็นเม็ดแบนยาว หรือรูปไข่ หรือรูปรี และมักจะมียอย ส่วนใหญ่อยู่เดี่ยวๆ มีขนาดกว้าง × ยาว อยู่ในช่วง 7 ถึง 13 ไมโครเมตร × 10 ถึง 16 ไมโครเมตร 15 ถึง 20 ไมโครเมตร × 23 ถึง 28 ไมโครเมตร* 19 ถึง 28 ไมโครเมตร × 39 ถึง 45 ไมโครเมตร

หมายเหตุ * เป็นขนาดที่พบมากที่สุด

3. คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี ให้เป็นไปตามตารางที่ 2-19

สารปนเปื้อน

- 1. สารหนู ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 2. ตะกั่ว ไม่เกิน 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 2-19 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
		ชนิดก้อน	ชนิดผง
1	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	12.0	10.0
2	เถ้า ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างที่ปราศจากความชื้น ไม่เกิน	-	9.0
3	เถ้าที่ไม่ละลายในกรด ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างที่ปราศจากความชื้น ไม่เกิน	-	1.0
4	น้ำมันระเหยง่าย ดูดบาศก์เซนติเมตร ต่อตัวอย่างที่ปราศจากความชื้น 100 กรัม ไม่น้อยกว่า	4.0	3.5
5	เคอร์คูมินอยด์รวม (คำนวณเป็นเคอร์คูมิน) ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างที่ปราศจากความชื้น ไม่น้อยกว่า	4.0	4.0
6	โครเมียม	ต้องไม่พบ	ต้องไม่พบ