

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผักชีฝรั่ง

ผักชีฝรั่ง เป็นพืชวงศ์ Umbelliferae ชื่อวิทยาศาสตร์ *Trachyspermum roxburghianum* มีชื่อท้องถิ่น ได้แก่ ผักสะแงะ (ภาคอีสาน) หอมเข้ (ภาคเหนือ) ส่วนผักชีฝรั่งเป็นชื่อเรียกในภาคกลาง มีสรรพคุณเป็นสมุนไพร ช่วยแก้ท้องอืดท้องเฟ้อ ช่วยย่อยอาหาร เจริญอาหาร และแก้วิงเวียน พบมากในภาคอีสานและภาคเหนือ เป็นพืชล้มลุกเหมือนผักชีไทย ลำต้นสีเขียวกลวงสูง แตกกิ่งเล็กน้อย ลักษณะใบเป็นใบประกอบสีเขียวออกเรียงสลับกัน กาบใบหุ้มแน่นไม่แข็ง ลักษณะดอกมีขนาดเล็กเป็นกระจุกสีขาวออกเป็นช่อ เมล็ดผลเป็นสีเขียว เมื่อแก่เป็นสีน้ำตาลออกเหลือง มีขนาดเล็กกว่าผักชีแต่มีกลิ่นหอมฉุนมากกว่าผักชีไทย ดังแสดงในภาพ 2.1 นิยมนำไปใช้ปรุงอาหาร โดยใช้ส่วนใบและยอดอ่อนเพื่อดับกลิ่นคาวเนื้อสัตว์ในอาหารประเภทแกง เช่น แกงหน่อไม้ แกงป่า แกงแค แกงเผ็ด และห่อหมก เป็นต้น (สถาบันการแพทย์แผนไทยฯ, 2541)



ภาพ 2.1 ผักชีฝรั่ง

2.2 การทำแห้ง

การกำจัดน้ำหรือการทำแห้ง เป็นกระบวนการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของน้ำแข็งในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยการลดค่าอวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ ทั้งยังช่วยลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลต่อการลดต้นทุนของการขนส่ง อีกทั้งยังเพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภคด้วย (วิไล, 2545)

2.2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว เนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกสู่ภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก อัตราการอบแห้งสามารถเกิดขึ้นได้เร็วเช่นกัน เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มมากขึ้น
2. รูปร่างและความหนาของอาหาร อาหารที่มีความหนามาก อัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร
3. ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้า เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ ทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง
4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ซึ่งการระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม
5. ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากน้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เมื่อความดันลดต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น (พิชญา และคณะ, 2547)

2.2.2 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ (วิไล, 2545)

1. ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณค่าอาหาร

การอบแห้งจะระเหยไ้ลดความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีการอบแห้งจะทำให้คุณภาพของอาหารลดลง โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำและถ้ามีการลวกหรือแช่สารเคมีก่อนการอบแห้งเพื่อหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ วิตามินก็จะลดลงอีกโดยเฉพาะอย่างยิ่งการ

อบแห้งโดยการตากแดด จะส่งผลให้วิตามินลดลงไปมากกว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องมือ เนื่องจาก การอบแห้งโดยการตากแดดไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ระหว่างกระบวนการทำแห้ง เช่น ความชื้น อากาศ แสงแดด และอุณหภูมิ

2. ผลของการอบแห้งที่มีต่อเอนไซม์

เอนไซม์จะหยุดการทำงาน เมื่อใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที การ ลวกน้ำร้อนหรือใช้สารเคมีจะช่วยหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ ความชื้นของอาหารมีผลต่อ ปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วย กล่าวคือถ้าความชื้นในอาหารลดลง ปฏิกิริยาของเอนไซม์ก็จะลดลงด้วย แต่อัตราเร็วของปฏิกิริยาของเอนไซม์จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์

3. ผลของการอบแห้งที่มีต่อรงควัตถุในอาหาร

เมื่ออบแห้งสีของอาหารจะเปลี่ยนไป โดยสีแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานินจะซีด จางลง ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานหรือใช้สารเคมีบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยา ของเอนไซม์จะทำให้อาหารสีจางลง การลวกน้ำร้อนหรือแช่ในสารเคมีจะไม่ทำให้สีผักและผลไม้ ซีดจางลงหรือเป็นสีน้ำตาล แต่จะทำให้อาหารแห้งกระด้างขึ้น การอบแห้งยังทำให้เกิดปฏิกิริยา เมลลาร์ด (Millard Reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่เอมีนที่ อยู่ในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน หรือโปรตีน เป็น carbonyl-amine reaction ซึ่งจะทำให้ เกิดสีน้ำตาลขึ้นและทำให้กลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

4. ผลของการอบแห้งต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารแห้ง เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อม คุณภาพลักษณะและการจัดการเบื้องต้น เช่น การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำลวก ชนิดและลักษณะ การลดขนาด และการปอกเปลือกถั่วมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ ที่นำมาผ่านการลวก อาจเกิดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสได้ เนื่องจากการเกิดเจลของแป้ง การตกผลึกของเซลลูโลส การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งส่วนต่างๆ ของอาหารทำให้เกิด ความเครียดภายใน ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนรูปร่างเซลล์ที่ค่อนข้างแข็งทำให้อาหารมีลักษณะ เหี่ยวยุบ อาหารจะดูดน้ำกลับอีกครั้งอย่างช้าๆ แต่จะไม่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นเหมือนวัตถุดิบ เดิม

อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยทั่วไปการทำ แห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและอัตรา การทำแห้งที่ต่ำกว่า โดยตัวทำละลายจะเคลื่อนที่จากภายในของอาหาร ไปที่ผิว น้ำจะถูกกำจัดออก ระหว่างการทำแห้ง กลไกและอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะสำหรับตัวทำละลายและสภาวะการ

ทำแห้งของอาหารแต่ละชนิด การระเหยน้ำทำให้ตัวทำละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น โดยการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้อาหาร โดยเฉพาะผลไม้ ปลา และเนื้อ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าอาหารและทำให้ผิวอาหารเกิดลักษณะแข็งบริเวณผิวหน้า (case hardening) ซึ่งเป็นปัจจัยที่จะลดอัตราการทำแห้ง การควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในและผิวของอาหาร จะช่วยลดลักษณะดังกล่าวได้

5. ผลของการอบแห้งต่อกลิ่นและรส

ความร้อนทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป โดยปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไอและความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารหอมระเหย การสูญเสียสารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหยและการแทนที่สูงจะเกิดในช่วงแรกของการอบแห้ง การควบคุมสภาวะการทำแห้งในแต่ละขั้นตอนจะช่วยลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด โดยเฉพาะอาหารให้กลิ่นรสที่มีมูลค่าสูง เช่น สมุนไพร และเครื่องเทศ จะใช้อุณหภูมิในการกำจัดน้ำต่ำ สอดคล้องกับ Sefidkon *et al.* (2006) ศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิของการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหย พบว่าการอบแห้งแต่ละวิธีมีผลให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลงแตกต่างกัน สาเหตุสำคัญของการสูญเสียกลิ่นอื่นๆ ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชันรงควัตถุ วิตามิน และไขมันในอาหารระหว่างการเก็บรักษา

6. ผลของการอบแห้งต่อการดูดคืนน้ำ

การดูดคืนน้ำไม่ใช่ปฏิกิริยาย้อนกลับของการทำแห้ง การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวทำละลายและการสูญเสียสารระเหยไม่สามารถเกิดแบบย้อนกลับไปเหมือนเดิมได้ ความร้อนจะลดระดับการดูดคืนน้ำของแป้งและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและระดับของการดูดคืนน้ำอาจใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ โดยอาหารที่ทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมากกว่าจะเกิดความเสียหายน้อยกว่า และดูดคืนน้ำได้เร็ว

7. ผลของการอบแห้งต่อจุลินทรีย์

โดยทั่วไปแล้ว การทำแห้งไม่มีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ แม้ว่าจุลินทรีย์บางชนิดจะตายระหว่างการทำอาหาร การเสีของอาหารแห้งมักมีจุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญ เนื่องจากแบคทีเรียต้องการปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์หรือ a_w มากกว่า 0.90 ดังนั้นแบคทีเรียจึงไม่มีบทบาทในการเสีของอาหารแห้ง ยีสต์และราเท่านั้นที่มีบทบาทสำคัญต่อการเสีของอาหารแห้ง อาหารแห้งที่มี a_w 0.80-0.85 จะเสีภายใน 1-2 อาทิตย์ โดยมีราเป็นสาเหตุ ถ้าอาหารมี a_w ต่ำกว่า 0.75 การเสีจะเกิดช้า และมีจุลินทรีย์เพียงไม่กี่ชนิดที่ทำลายได้ ถ้าอาหารมี a_w 0.70 การเสีจะเกิด

ช้ามาก และหากอาหารมี a_w 0.65 การเสียบทจะไม่เกิดขึ้นเลย และสามารถเก็บอาหารได้มากกว่า 2 ปี ดังนั้นการทำแห้งอาหารจนมี a_w อยู่ระหว่าง 0.65-0.70 จะสามารถเก็บอาหารแห้งได้เป็นเวลานาน (อรัญ, 2530)

2.2.3 เทคนิคการทำแห้ง

1. การทำแห้งแบบลมร้อน (conventional drying)

เครื่องที่ใช้ในการอบอาจมีลักษณะเป็นตู้หรืออุโมงค์ หรือใช้สายพานอบแห้งจนความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงถึงระดับหนึ่ง แล้วค่อยใช้วิธีการอบแห้งแบบถ้ง ซึ่งวิธีนี้นิยมใช้สำหรับอบแห้งผลไม้ ตัวแปรควบคุมที่มีต่อการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อน ได้แก่ อุณหภูมิ วิธีการอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหลเวียนของอากาศ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยจะแตกต่างกันไปแล้วแต่อาหาร อุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้งคือ 60-70 องศาเซลเซียส ถ้าใช้สูงกว่านี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มไม่สวย ผิวอาจเหี่ยวย่นมาก

2. การทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying)

การทำแห้งแบบสุญญากาศเป็นการอบแห้งในระบบความดันต่ำ ซึ่งระดับความดันและอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้งในระบบขึ้นอยู่กับความไวต่อความร้อนของวัตถุดิบ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นแบบการนำความร้อนหรือการแผ่รังสี เครื่องอบแห้งความดันต่ำที่ใช้สำหรับอบแห้งผักและผลไม้เป็นแบบถาดหรือชั้น อุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้งคือ 35-60 องศาเซลเซียส และขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ

ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จะมีคุณภาพดี เนื่องจากอบที่อุณหภูมิต่ำ สารระเหยยังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ แต่จะมีความไวต่อการดูดความชื้น จึงต้องมีการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการดูดความชื้นเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

3. การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็งมาแล้ว ภายในสภาวะสุญญากาศ ทำให้น้ำแข็งระเหิดกลายเป็นไอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังอบแห้งจะมีโครงสร้างที่ดี มีกลิ่นดี โครงสร้างเปิดเป็นรูพรุน สามารถกลับคืนรูปเดิมได้ดี และรวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดคือ การลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยมนัก มักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพสูง

4. การทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ (microwave vacuum drying)

การทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศเป็นการอบแห้งโดยใช้หลักการลดจุดเดือดของน้ำในผลิตภัณฑ์ลง ที่สภาวะสุญญากาศ ซึ่งสามารถทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำ ไมโครเวฟอยู่ในรูปของพลังงาน และจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อน โดยการสั่นสะเทือนของอนุภาคที่มีประจุ หรือการหมุนของโมเลกุลที่มีขั้ว ทำให้เกิดการชนกันของอนุภาค หลังจากที่ถูกคลื่นและมีการดูดซับพลังงานดังกล่าว มีผลทำให้เกิดความร้อนขึ้น (Fellow, 2000) ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยไปโดยไมโครเวฟที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2,540 MHz ประกอบด้วยเม็กนีตรอน 800 วัตต์ จำนวน 6 ชุด ซึ่งในระหว่างการอบทุกส่วนของผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งจะได้พลังงานพร้อมกัน ทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่จากภายในออกสู่ภายนอก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง การอบแห้งวิธีนี้จะใช้เวลาอย่างมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ อีกทั้งยังรักษาสี รส กลิ่น และสารอาหารให้ใกล้เคียงกับของสด

การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศเพื่อให้ทนกับความดันบรรยากาศนั้นจะเลือกห้องอบเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อจะได้ใช้วัสดุน้อย แต่เนื่องจากการออกแบบห้องอบให้มีการกระจายคลื่นไมโครเวฟให้สม่ำเสมอเป็นไปได้ยาก เพราะคุณสมบัติของคลื่นมีการเสริมและหักล้างกันเนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งตัวกำเนิดคลื่น จากการสะท้อนของผนังห้องอบแห้ง จึงมีการออกแบบให้นำวัตถุดิบใส่ในถังทรงกระบอกที่มีครีบภายใน เมื่อถึงหมุนจะทำให้วัตถุดิบเกิดการเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน แล้วตกลงมาอย่างอิสระสู่ด้านล่าง ทำให้อุณหภูมิมีโอกาสรับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ไอน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ยังสามารถเคลื่อนที่ออกได้อย่างสะดวกจึงทำให้การอบแห้งใช้เวลาสั้น

5. การทำแห้งแบบออสโมติก (osmotic drying)

การทำแห้งแบบออสโมติก เป็นวิธีการทำแห้งด้วยการแช่อาหารลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าอาหารหรือสารละลายที่มีค่าออสโมติกต่ำกว่าอาหารนั้น จะทำให้เกิดกระบวนการออสโมติกในอาหารขึ้น โดยน้ำที่อยู่ภายในอาหารจะซึมผ่านผนังเซลล์ออกมายังสารละลายซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าอาหาร ขณะเดียวกันตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลายจะซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปยังอาหาร เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชั้นอาหาร ในกระบวนการอบแห้งแบบออสโมติกควรจะใช้ระยะเวลาสั้น ซึ่งหมายถึงให้น้ำถูกกำจัดออกมากที่สุดโดยให้มีการดูดซึมตัวถูกละลายได้น้อยที่สุด

2.3 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระหรือแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidants) คือ สารเคมีที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงสารที่สามารถยับยั้งและควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบป้องกันการทำลายของเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระอยู่แล้ว ซึ่งประกอบด้วยแอนติออกซิแดนซ์มากมายหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป บางชนิดเป็นเอนไซม์ บางชนิดเป็นสารประกอบ บางชนิดสามารถละลายได้ในน้ำหรือละลายได้ในไขมัน สารแอนติออกซิแดนซ์เหล่านี้ จะทำหน้าที่ในการป้องกันและจำกัดการก่อตัวของอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังทำหน้าที่ซ่อมแซมส่วนที่ถูกทำลาย (จักรพันธ์, 2550)

สารแอนติออกซิแดนซ์มีบทบาทในการทำงานดังนี้

1. ป้องกันการเกิดสารออกซิเดชัน เช่น ทรานสเฟอริน (transferrin) ที่ทำปฏิกิริยากับเหล็กไอออน หรือ คอปเปอร์ไอออน ที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้
2. ยับยั้งการทำงานของสารออกซิเดชัน โดยเป็นผู้ให้อิเล็กตรอนแก่สารออกซิเดชัน ทำให้ปฏิกิริยาแย่งชิงอิเล็กตรอน (electron-straling reaction) สิ้นสุดลง
3. ช่วยลดตัวกลางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase) ที่ยับยั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือสารประกอบฟีนอลที่ช่วยให้เอนไซม์บางชนิดเกิดความคงตัว ทำให้สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

สารแอนติออกซิเดนต์ แบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. Primary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ซึ่งทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ยังรวมถึง tocopherols ที่ได้จากธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ ได้แก่ tert-butyl-4-hydroxyanisole (BHA), tert-butyl-4-hydroxytoluene (BHT), tert-butylhydroquinone (TBHQ) และอื่นๆ ซึ่งสารในกลุ่มดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

2. Oxygen scavenger

สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือวิตามินซี ascorbyl palmitate erythorbic acid (isoascorbic acid) และ sodium erythorbate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้

3. Secondary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ dilauryl thiopropionate และ thiopropionic acid ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ lipid hydroperoxide ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

4. Enzymatic antioxidant

สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ แบ่งเป็น primary antioxidant enzyme และ ancillary antioxidant enzyme สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธ์ของออกซิเจน โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

5. Chelating agent หรือ sequestrant

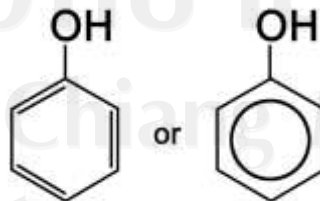
สารในกลุ่มนี้ เช่น กรดซิตริก กรดอะมิโน ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริมและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร

สารแอนติออกซิเดนต์ในอุตสาหกรรมมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1. มีความเฉพาะเจาะจงสูงในการเข้าจับกับอนุมูลอิสระโดยตรงและกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไป
2. สามารถทำปฏิกิริยาคีเลทกับโลหะได้
3. สามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้
4. ไม่มีผลกระทบต่อการแสดงออกของยีน

2.4 สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไป มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นไฮดรอกซีอย่างน้อยหนึ่งหมู่ (ภาพ 2.2) หรือมากกว่านั้น สามารถละลายได้ในน้ำ ส่วนใหญ่เป็นสารที่พบมากในธรรมชาติ เช่น พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว และไวน์แดง เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลเป็นจำนวนมากถึง 8,000 ชนิด



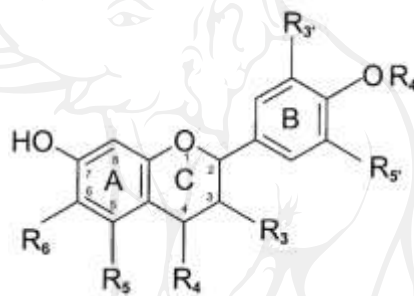
ภาพ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอล

ที่มา : โอภา และคณะ (2550)

สารประกอบฟีนอลสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ monocyclic phenol ประกอบด้วยวงแหวนฟีนอล 1 วง กลุ่มที่สองคือ dicyclic phenol ซึ่งมีวงแหวนฟีนอล 2 วง และกลุ่มที่สามคือ polycyclic phenol หรือ polyphenolic ซึ่งมีบทบาทสำคัญมากในการต้านอนุมูลอิสระ ตัวอย่างสารแอนติออกซิแดนซ์ที่อยู่ในกลุ่ม polyphenolic ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และกรดฟีนอลิก (phenolic acid) (โอภา และคณะ, 2550)

2.4.1 ฟลาโวนอยด์ (flavonoid)

สารฟลาโวนอยด์ พบได้ทั่วไปในทุกส่วนของพืช จัดเป็นสารกลุ่ม polyphenolic ซึ่งประกอบด้วยวงอะโรมาติกตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป โดยมีการจับกับคาร์บอน และ aromatic hydroxyl ดังภาพ 2.3



ภาพ 2.3 โครงสร้างและรูปแบบทั่วไปของฟลาโวนอยด์ในอาหาร

ที่มา : Patel (2008)

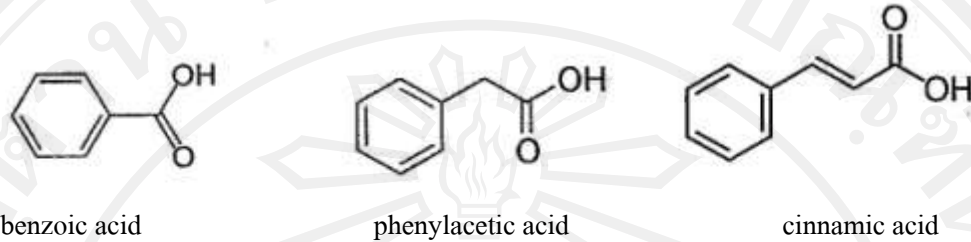
กลไกในการออกฤทธิ์เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์

1. เป็นสารที่เลททำหน้าที่จับหรือสร้างพันธะกับโลหะหนัก เช่น ทองแดง เหล็ก มีบทบาทในการกระตุ้นการสร้าง รวมทั้งปฏิกิริยาถูกโซ่ของอนุมูลอิสระ
2. เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ โดยหยุดปฏิกิริยาถูกโซ่ ทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนให้ออนแทนอนุมูลอิสระ
3. ทำหน้าที่สร้างวิตามินอี (alpha-tocopherol) โดยจะรีดิวซ์อนุมูล alpha-tocopheroxyl กลับเป็น alpha-tocopherol ตามเดิม

2.4.2 กรดฟีนอลิก (phenolic acid)

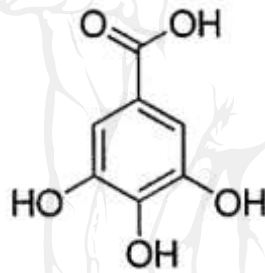
กรดฟีนอลิกเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่ม polyphenolic เช่นเดียวกับฟลาโวนอยด์ มีสารกลุ่มหลัก 3 กลุ่ม คือ กรดเบนโซอิก กรดฟีนิลอะซิติก และ กรดซินนามิก มีโครงสร้างพื้นฐานดังภาพ 2.4 ส่วนใหญ่พบในองุ่น หรือผลไม้พวกเบอร์รี่ (โอภา และคณะ,

2550) การวิเคราะห์หาปริมาณกรดฟีนอลิกในผักผลไม้ ส่วนใหญ่นิยมหาออกมาในรูปของกรดแกลลิก (gallic acid) ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังภาพ 2.5



ภาพ 2.4 โครงสร้างของกรดเบนโซอิก กรดฟีนิลอะซิติก และกรดซินนามิก

ที่มา : Premier group of industries (2009)

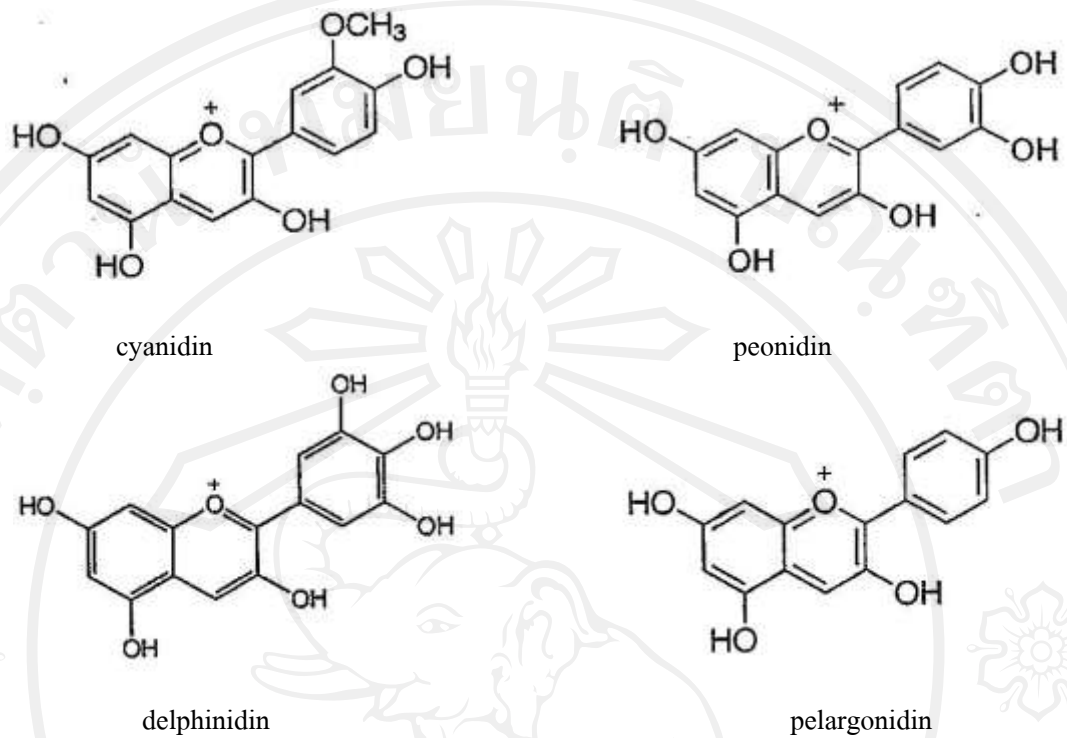


ภาพ 2.5 โครงสร้างของกรดแกลลิก

ที่มา : Premier group of industries (2009)

2.4.3 แอนโทไซยานิน (anthocyanin)

แอนโทไซยานินเป็นสารกลุ่มหนึ่งของฟลาโวนอยด์ เป็นสารให้สีที่พบในเซลล์พืช ได้แก่ สีแดง น้ำเงิน และม่วง ประกอบด้วยวงแหวนเบนโซไพแรน 2 วง ต่อกับวงแหวนฟีนอล สามารถละลายในน้ำแต่ไม่ละลายใน non-hydroxy solvent ปัจจุบันพบว่า มีแอนโทไซยานินอยู่ประมาณ 120 ชนิด ซึ่งสารประกอบที่พบมากได้แก่ ไซยานิดิน (cyanidin) พีโอนิดิน (peonidin) เดลฟินิดิน (delphinidin) และพีลาร์โกนิดิน (pelargonidin) มีโครงสร้างแสดงดังภาพ 2.6



ภาพ 2.6 โครงสร้างของไซยานิดิน พีโอนิดิน เดลฟินิดิน และพีลาร์โกนินดิน
ที่มา : Packer *et al.* (1999)

2.5 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหย (essential oil) คือ น้ำมันที่พืชสร้างขึ้นและเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ดอก ใบ ผล ลำต้น และเมล็ด ซึ่งจะพบแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด น้ำมันหอมระเหยเป็นกลุ่มสารอินทรีย์ ซึ่งสะสมอยู่ในบริเวณผนังเซลล์ของพืช ปริมาณและคุณภาพของน้ำมันหอมระเหยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ดิน ภูมิอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความสูงจากระดับน้ำทะเล การเก็บเกี่ยว เทคนิคและวิธีการสกัดและการกลั่นใส เมื่อสกัดได้ใหม่ๆ จะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้องแต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ถูกแสงแดดและอากาศนานๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะมีสีเข้มขึ้น ดังนั้นจึงควรเก็บในขวดสีชาที่ปิดสนิท เก็บไว้ในที่แห้งและเย็น ส่วนใหญ่น้ำมันหอมระเหยจะไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในพืชสมุนไพรแต่ละชนิด (แสงหล้า, 2543)

น้ำมันหอมระเหยเป็นแหล่งที่มาของกลิ่นหอมจากธรรมชาติ ซึ่งจะให้กลิ่นหอมที่นุ่มนวลกว่าน้ำมันหอมที่ได้จากการสังเคราะห์ น้ำมันหอมระเหยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ได้แก่

1. ยารักษาหรือป้องกันโรค น้ำมันหอมระเหยหลายชนิดออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่อร่างกายมนุษย์ เช่น น้ำมันหอมระเหยเปปเปอร์มินท์ (peppermint oil) ช่วยกระตุ้นให้ลำไส้มีการเคลื่อนไหว จึงใช้เป็นส่วนประกอบของยาที่ช่วยบรรเทาอาการท้องอืดท้องเฟ้อ เช่นเดียวกับน้ำมันจิงที่มีฤทธิ์เป็นยาขับลม (carminative) น้ำมันไพลมีฤทธิ์ด้านการอักเสบ (anti-inflammatory) จึงใช้บรรเทาอาการเคล็ดขัดยอกของกล้ามเนื้อและข้อ น้ำมันหอมระเหยจากเปปเปอร์มินท์ สเปียร์มินท์ และน้ำมันกานพลู มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย จึงใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำยาบ้วนปาก

2. สารปรุงแต่งกลิ่นในอาหาร ยา และเครื่องสำอาง น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากเครื่องเทศ เช่น น้ำมันกระวาน น้ำมันจิง น้ำมันกะเพรา น้ำมันโสมกระดูก และน้ำมันตะไคร้ เป็นต้น

3. สารปรุงแต่งกลิ่นในน้ำหอมและเครื่องสำอาง ส่วนมากจะเป็นน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากดอกไม้ เช่น น้ำมันกุหลาบ น้ำมันมะลิ น้ำมันกระดังงา น้ำมันลาเวนเดอร์ และน้ำมันโรมันคาโมไมด์ เป็นต้น

4. ใช้ในสுகนธบำบัด เนื่องจากกลิ่นหอมของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดมีผลต่อจิตใจ และร่างกาย ดังนั้น จึงมีการนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ในการบำบัดโรคและอาการ โดยการสูดดมและทาผิวหนัง ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้ยาแผนปัจจุบันลงได้

5. การใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น น้ำยาปรับอากาศ (air freshener) ผลิตภัณฑ์ไล่แมลง ผลิตภัณฑ์ระงับกลิ่นไม่พึงประสงค์ เป็นต้น

2.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มเทอร์ปีน (terpenes) และฟีนิล โพรเพน (phenylpropenes) อาจประกอบด้วยสารพวกฟีนอล (simple phenols), สารประกอบซัลเฟอร์ (sulphur-containing compounds) เมทิลแอนทรานิลเลท (methyl anthranilate) คูมารินส์ (coumarins) แลคโตน (lactones) สารประกอบไนโตรเจน (nitrogen-containing compounds) และกรด (acids) องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหยอาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มหลัก (จักรพันธ์, 2550) ดังนี้

1. สารประกอบแอลิฟาติก (Aliphatic compounds) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมต่อกันด้วยพันธะอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัว เรียงตัวกันเป็นเส้นตรงหรือแบบมีสาขา ได้แก่

- Aliphatic hydrocarbons เช่น 1,3-trans-5-cis-undecatriene และ 1,3-trans-5-trans-undecatriene มีความสำคัญต่อกลิ่นของน้ำมันยางไม้ต้นยี่หระ (galbanum oil)

- Aliphatic alcohols เช่น 1-octen-3-ol พบในน้ำมันหอมระเหยลาเวนเดอร์ และเห็ด (mushroom) มีกลิ่นเฉพาะตัวเรียกว่า earthy-forest odor ส่วน cis-3-hexen-1-ol ให้กลิ่น

เฉพาะตัวและพบมากในน้ำมันหอมระเหยจากใบของ *Robinia pseudoacacia* L., mulberry (*Morus* spp.) และชาเขียว

- Aliphatic aldehydes มีความสำคัญต่อกลิ่นของพืชมาก เช่น n-octanal, n-nonanal, n-decanal และ n-undecanal พบในน้ำมันหอมระเหยกลิ่นส้ม (citrus oil)
- Aliphatic ketones เช่น 3-hydroxy-2-butanone (acetoin) และ 2,3-butanedione (diacetyl) มีกลิ่นคล้ายเนย (buttery aroma)
- Aliphatic esters มีความสำคัญต่อกลิ่นของพืชมาก พบทั่วไปในธรรมชาติ เช่น *trans*-2-hexenyl acetate

2. เทอร์พีน และอนุพันธ์ เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยเกือบทุกชนิด ประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐานเรียกว่า isoprene (C_5H_8) และมีขบวนการชีวสังเคราะห์ผ่าน acetate-mevalonate pathway สารพวกเทอร์พีนและอนุพันธ์ ที่มักพบในน้ำมันหอมระเหย แบ่งได้ 3 กลุ่มย่อย ดังนี้

- Monoterpenes ($C_{10}H_{16}$) ประกอบด้วย isoprene 2 หน่วย หรือมี 10 carbon skeleton ในโครงสร้างโมเลกุล มักเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือ รีดักชัน ที่ C=C ได้ alcohol (-OH), aldehydes (-CHO) และ esters (-O-CO-)

- Acyclic monoterpenes มี 10-carbon skeleton ไม่เรียงตัวเป็นวง เช่น myrcene, ocimene, geraniol, geraniol และ linalool

- Monocyclic monoterpenes มี 10-carbon skeleton เรียงตัวเป็นวง 1 วง และมี para-menthane nuclease อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล บางครั้งมีหมู่แทนที่คาร์บอนอะตอมของ C_6 -ring เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสเตอริโอเคมี (stereochemical conformations) มีผลให้คุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัส (organoleptic properties) ของสารที่เป็นไอโซเมอร์กันมีความแตกต่างกันได้

- Sesquiterpenes ($C_{15}H_{24}$) ประกอบด้วย isoprene 3 หน่วย หรือมี 15-carbon skeleton ในโครงสร้างโมเลกุลเป็นองค์ประกอบสำคัญในน้ำมันหอมระเหยเกือบทุกชนิด มักมีจุดเดือดสูง มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะเชิงประสาทสัมผัสแต่น้อยกว่า monoterpenes แบ่งกลุ่มย่อยได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

- Acyclic sesquiterpenes เช่น farnesol และ nerolidol

- Monocyclic sesquiterpenes เช่น zingiberene และ α -bisabolene

- Bicyclic sesquiterpenes ประกอบด้วย C_6 -ring 2 วง หรือ C_6 -ring 1 วง กับ C_5 -ring เช่น cadalene, vetivazulene และ caryophyllene

- Tercyclic sesquiterpenes เช่น aromadendrene

- Diterpenes ($C_{20}H_{32}$) ประกอบด้วย isoprene 4 หน่วย หรือมี 20-carbon skeleton อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล เช่น manool และ sclareol diterpenes พบได้ในน้ำมันหอมระเหยบางชนิดเท่านั้น แต่มักพบเป็นองค์ประกอบสำคัญในยางเหนียว (resins) จากพืช

3. ฟีนิลโพรพิน และอนุพันธ์ มีขบวนการชีวสังเคราะห์ผ่าน shikimic acid pathway โดยเริ่มจาก phenylalanine ถูกเปลี่ยนเป็น *trans*-cinnamic acid โดย phenylalanine ammonia lyase (PAL) phenylpropenes จึงเป็นอนุพันธ์อย่างง่ายของ cinnamic acid โครงสร้างหลักของฟีนิลโพรพิน ประกอบด้วย C_6 aromatic ring มี side chain ที่ C_3 เช่น

- Benzyl acetate เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยมะลิ และน้ำมันหอมระเหยดอกพุด (gardenia oil)

- Phenylethyl acetate เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด

4. สารประกอบอื่นๆ (miscellaneous) แม้จะพบเฉพาะในน้ำมันหอมระเหยบางชนิด แต่ก็มีส่วนทำให้น้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นเฉพาะตัว ได้แก่

- สารประกอบซัลเฟอร์ เช่น allyl isothiocyanate พบในน้ำมันมัสตาร์ด (mustard oil) และแอลคิลซัลไฟด์ (allyl sulfides) พบในน้ำมันกระเทียม และในทางอุตสาหกรรมจะใช้สารประกอบซัลเฟอร์ เพื่อปรับปรุงกลิ่นของยางไม้ต้นยี่หระ และน้ำมันหอมระเหยกุหลาบ

- สารประกอบไนโตรเจน มีส่วนทำให้น้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นเฉพาะตัว เช่น indole และสารประกอบพวก anthranilates พบในน้ำมันหอมระเหยดอกส้มและน้ำมันหอมระเหยมะลิ ในทางอุตสาหกรรมจะใช้ สารประกอบไนโตรเจน เพื่อปรับปรุงกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยมะลิ ลาเวนดิน (lavandin) และ น้ำมันหอมระเหยไอบะกรูด (petigrain oil)

- สารประกอบอนุพันธ์ของคูมาริน (coumarin) พบในน้ำมันหอมระเหยสไปค์ ลาเวนเดอร์ (spike lavender)

2.5.2 คุณภาพของน้ำมันหอมระเหย

คุณภาพของน้ำมันหอมระเหย ศึกษาได้จากลักษณะที่ปรากฏภายนอก คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี รวมทั้งการปน (adulteration) ซึ่งเก็ชตำรับของสหรัฐอเมริกา (The United State Pharmacopoeia; USP) เก็ชตำรับของยุโรป (The European Pharmacopoeia) และเก็ชตำรับของอังกฤษ (The British Pharmacopoeia; BP) ได้กำหนดให้มีการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหอมระเหย (วิริยา, 2546) ดังนี้

1. ลักษณะที่ปรากฏภายนอก ได้แก่ สี กลิ่น และรสชาติ ซึ่งน้ำมันหอมระเหยที่บริสุทธิ์และสกัดได้ใหม่ๆ ส่วนใหญ่จะไม่มีสี แต่ถ้าถูกแสงและอากาศนานๆ จะทำให้สีเปลี่ยนไป

2. คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่

- ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) หรือความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density; d_{20}^4) น้ำมันหอมระเหยที่ถูกกำหนดในเภสัชตำรับจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.842-1.172 และส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันที่เบากว่าน้ำ

- ค่าดัชนีการหักเห (refractive index; n_D^{20}) ค่านี้ใช้สำหรับตรวจเอกลักษณ์และความบริสุทธิ์ของน้ำมันได้

- ค่าการเบี่ยงเบนแสง (optical rotation) อาจระบุเป็น ค่ามุมของการเบี่ยงเบนแสง (angle of optical rotation; α_D^{20}) หรือ ค่าการเบี่ยงเบนแสงเฉพาะ (specific optical rotation; $[\alpha_D^{20}]$) มีประโยชน์ในการตรวจเอกลักษณ์น้ำมันหอมระเหย

- ค่าการละลายในเอทานอล (solubility in ethanol)

3. จุดเดือด (boiling point) น้ำมันหอมระเหยทั่วไปมีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 150-300 องศาเซลเซียส

4. องค์ประกอบทางเคมี

- ค่ากรด วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี

- ค่าเอสเทอร์ วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี

- ค่าคาร์บอนิล วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี

- ค่าคีโตน วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี

- ปริมาณของ 1,8-cineole วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี

- ปริมาณของเมนทอล วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี เภสัชตำรับของสหรัฐอเมริกา กำหนดให้ตรวจสอบในน้ำมันหอมระเหยเปปเปอร์มินท์

- ปริมาณของไคเมทิลซัลไฟด์ วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี เภสัชตำรับของสหรัฐอเมริกา กำหนดให้ตรวจสอบในน้ำมันหอมระเหยเปปเปอร์มินท์

- ปริมาณของโลหะหนัก วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี เภสัชตำรับของสหรัฐอเมริกา กำหนดให้ตรวจสอบในน้ำมันหอมระเหยเปปเปอร์มินท์

- วิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟีผิวบาง (thin layer chromatography; TLC)

- วิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography; GC)

5. อื่นๆ

- fatty oils และ resinified essential oils ในน้ำมันหอมระเหย (ในน้ำมันหอมระเหยเปปเปอร์มินท์) วิเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีตามข้อกำหนดของเภสัชตำรับของยุโรป
- เอสเทอร์แปลกปลอมในน้ำมันหอมระเหย
- สารตกค้างในการระเหย
- น้ำในน้ำมันหอมระเหย

2.5.3 การตรวจสอบคุณสมบัติและคุณภาพ

1. การตรวจสอบคุณสมบัติและลักษณะทั่วไป เช่น กลิ่น สี รส โดยใช้วิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส

2. ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

น้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดจะมีค่าคงที่ทางกายภาพ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยเภสัชตำรับต่างๆ

2.1 การละลายในเอทานอล

2.2 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

2.3 ค่ามุมเบี่ยงเบนแสง (angular rotation)

2.4 ค่าดัชนีการหักเห (refractive index) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ของตัวอย่าง เป็นค่าที่ไว (sensitive) ต่อการมีสิ่งเจือปนในน้ำมันหอมระเหย การหาค่าดัชนีการหักเหแสง ทำโดยการใช้เครื่องมือ refractometer สามารถอ่านค่าได้จากเครื่องโดยตรง

2.5 การเบี่ยงเบนแสง (optical rotation) เป็นค่าที่แสดงถึงความบริสุทธิ์ของสารที่สามารถบิดแนวแสงได้ น้ำมันหอมระเหยและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติในการบิด plane ของแสง polarised light ถ้าบิดไปทางขวา เรียกว่า dextrorotatory หรือ (+) ถ้าบิดไปทางซ้ายเรียกว่า levorotatory หรือ (-) การวัดค่าสามารถวัดโดยตรงจากเครื่อง polarimeter ซึ่งมีหลอดยาว 100 มิลลิเมตร ค่าที่อ่านได้จะเปลี่ยนให้อยู่ในรูป specific rotation ดังนี้

$$\text{Specific rotation} = 100 * \text{ค่าการบิดแนวแสงที่อ่านได้} / \text{ความยาวของหลอด}$$

ค่าคงที่ทางกายภาพเหล่านี้ จะบ่งบอกถึงชนิดและความบริสุทธิ์ของน้ำมันหอมระเหย
อื่นๆได้

3. การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยด้วยเทคนิคทางโครมาโทกราฟี
วิธีวิเคราะห์สารองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย มีหลายวิธี ที่นิยม ได้แก่

3.1 การวิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟีผิวบาง (thin layer chromatography; TLC) มีข้อดีคือ ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ไม่เกิดการเจือปน และสามารถเกิดสีได้โดยการใช้ spraying reagents ชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถตรวจสอบสิ่งเจือปนในน้ำมันหอมระเหยได้ ใช้วิเคราะห์สารได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ แต่เป็นวิธีที่ไม่เฉพาะเจาะจง

3.2 การวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography; GC) มีความสำคัญและนิยมกันมากในการศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย เนื่องจากมีความจำเพาะเจาะจงสูง แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ (fingerprint) ปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง (sampling technique) ที่เรียกว่า headspace analysis method เพื่อให้ได้กลิ่นที่แท้จริง และลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

3.3 การวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี ควบคู่กับแมสสเปกโทเมตรี (gas chromatography-mass spectrometry; GC-MS) สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์และปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายและระเหยได้ค่อนข้างปานกลางในตัวอย่างสารผสม และให้การวิเคราะห์ที่มีความจำเพาะเจาะจงสูง รวดเร็วและสมบูรณ์กว่าวิธีอื่น นิยมใช้วิธีนี้ในการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยมากที่สุด เนื่องจากสามารถแปลข้อมูลจากสเปกตรัมของสารตัวอย่างนั้นได้โดยตรง จึงมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์หาหน้าหลักโมเลกุลและส่วนประกอบของธาตุต่างๆในสารผสม

2.5.4 การสกัดน้ำมันหอมระเหย

การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชเป็นกระบวนการทางกายภาพ ซึ่งมีหลายวิธีซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของพืชและชนิดของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบ โดยวิธีการสกัดที่แตกต่างกันจะทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพแตกต่างกันด้วย เนื่องจากแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพในการแยกสารองค์ประกอบแต่ละชนิดออกจากเซลล์พืชไม่เท่ากัน (Peng *et al.*, 2004)

1. การกลั่น (distillation)

การกลั่นเป็นกรรมวิธีที่ระเหยเอาสิ่งหอมหรือน้ำมันหอมออกจากพืชโดยใช้ความร้อนช่วย ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องกลั่นมีดังนี้

1. ภาชนะบรรจุ สำหรับบรรจุพืชตัวอย่างที่ต้องการสกัดน้ำมันหอมระเหย
2. ส่วนที่พาไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยไปยังเครื่องควบแน่น
3. ตัวควบแน่น สำหรับทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นน้ำมันหอมระเหย
4. ส่วนที่แยกน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำ

แหล่งให้ความร้อนอาจใช้ไฟโดยตรง แต่การใช้หม้อไอน้ำ (steam boiler) จะเป็นที่นิยมนมากกว่าเพราะการใช้ไฟควบคุมอุณหภูมิได้ยาก ถ้าใช้ความร้อนสูงเกินไปอาจเกิดการไฮโดรไลซิส

พอลิเมอไรเซชัน และออกซิเดชัน การใช้ไอน้ำจะลดข้อเสียเหล่านี้ทั้งสามสามารถกลั่นได้เร็วกว่า และได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดีกว่า การกลั่นด้วยไอน้ำแบ่งได้เป็น

1.1 การกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง (direct steam distillation)

เป็นการกลั่นโดยให้สารที่ต้องการแยกและน้ำอยู่ในภาชนะเดียวกัน นิยมใช้กับพืชสด โดยต้มสารตัวอย่างกับน้ำโดยตรงจนเดือดกลายเป็นไอ ไอน้ำจะพาสารที่ระเหยได้ออกมาแล้วกลั่นเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่น โดยของเหลวจะแยกเป็นสองชั้น ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจะเบากว่าน้ำ จึงลอยอยู่ข้างบน วิธีการนี้ใช้ได้กับน้ำมันหอมระเหยไม่ระเหยพร้อมกับน้ำ พืชที่สกัดน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีนี้ได้แก่ ตะไคร้หอมและเปปเปอร์มินท์ เนื่องจากพืชยังสดอยู่และมีความชื้น จึงไม่จำเป็นต้องหมักด้วยน้ำ แต่ควรปรับให้การกระจายตัวของไอน้ำเข้าไปในวัตถุดิบมากที่สุด มีการไฮโดรไลซิสและการสลายตัวน้อยที่สุด เนื่องจากในขณะที่กลั่นสารบางตัวเกิดไฮโดรไลซิสและการสลายตัว

1.2 การกลั่นด้วยไอน้ำโดยอ้อม (indirect steam distillation)

เป็นการกลั่นโดยให้ไอน้ำผ่านตัวอย่างที่ต้องการแยก ใช้ในการกลั่นสารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดสูงและสลายตัวที่จุดเดือด เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการแยกสารออกจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ ซึ่งถ้านำไปกลั่นโดยตรงจะทำให้เกิดการเดือดอย่างรุนแรงและทำให้เกิดการไหม้ของสาร การกลั่นไอน้ำโดยอ้อมทำได้โดยใส่สารที่ต้องการกลั่นในขวดกลั่นแล้วผ่านไอน้ำจากหม้อต้มเข้าไปยังขวดกลั่น ไอน้ำจะพาสารระเหยได้ออกมาแล้วกลั่นเป็นของเหลวที่เครื่องควบแน่นเช่นเดียวกับการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง (แสงหล้า, 2543)

1.3 การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation)

นิยมใช้กับพืชสด หรือพืชแห้งที่อาจถูกทำลายได้ด้วยความร้อน โดยการหมักพืชในน้ำแล้วผ่านไอน้ำเข้าไป เช่น การกลั่นน้ำมันอบเชย และน้ำมันกานพลู เป็นต้น

1.4 การกลั่นด้วยน้ำ (water distillation)

วิธีนี้มันใช้กับพืชแห้งและสารในพืชไม่สลายไปเมื่อถูกความร้อนสูง เช่น การกลั่นน้ำมันสน

2. การบีบ (expression)

น้ำมันหอมระเหยบางชนิดสลายตัวเมื่อถูกความร้อน จึงใช้การบีบน้ำมันออกมา การบีบทำได้โดยใช้เข็มที่มีความแหลมและยาวพอที่จะแทงผ่านชั้นอีพิเดอร์มิส (epidermis) ของพืช ทำให้ต่อมน้ำมันแตกออก น้ำมันจะหยดลงไปในรางซึ่งเก็บน้ำมันได้ เช่น น้ำมันจากผิวมะนาว และน้ำมันจากผิวส้ม

3. การสกัดด้วยน้ำมัน (enfleurage)

นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกลีบดอกไม้ที่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยน้อยมาก โดยใช้น้ำมันไม่ระเหย หรือไขมันชนิดไม่มีกลิ่นนำมากระจายเป็นแผ่นบางๆ บนแผ่นกระจก นำกลีบดอกไม้มาโปยบนชั้นไขมันนี้ประมาณ 2-3 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะเกิดการอิมตัว แล้วเก็บกลีบดอกไม้ออกแล้วโปยกลีบดอกไม้ชุดใหม่ลงไปแทนหลังจากที่ไขมันดูดซับน้ำมันหอมระเหยไว้แล้ว จากนั้นนำไขมันมาสกัดด้วยแอลกอฮอล์ที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ เพื่อแยกน้ำมันหอมระเหยออกมาซึ่งจะได้ น้ำมันหอมบริสุทธิ์ ซึ่งมีข้อดีคือ ใช้น้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นใกล้เคียงกับพืชวัตถุดิบมากที่สุด และได้ผลผลิตสูงกว่าการกลั่นและการสกัด ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม

4. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายจะมีความเข้มข้นสูง แต่คุณภาพไม่ดีเท่ากับการกลั่น เพราะหลังจากการสกัดจะได้สารอื่นปนออกมาด้วย ซึ่งการสกัดด้วยสารเคมีจะได้ น้ำมันหอมระเหยที่เรียกว่า absolute oil โดยเติมตัวทำละลายที่ระเหยง่าย (volatile solvent) ลงในภาชนะที่บรรจุพืชตัวอย่าง จนเกิดการละลายที่สมบูรณ์ ผลคือ แวกซ์ (waxes) อัลบูเมน (albumen) รังควัตถุ (pigment) เรซิน (resin) และสารอื่นๆ จะละลายปนออกมาพร้อมกับน้ำมันหอมระเหย แล้วจึงนำไประเหยเพื่อกำจัดตัวทำละลายโดยใช้อุณหภูมิต่ำและในระบบสุญญากาศ แล้วกำจัดสิ่งปนเปื้อนมาโดยการล้างซ้ำหลายครั้งด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ จนได้ absolute ข้อดีคือ น้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยวิธีนี้จะมิกลินคงเดิม เพราะไม่เกิดการสลายตัวด้วยความร้อน แต่มีข้อเสียคือต้นทุนการผลิตสูงเมื่อเทียบกับการกลั่น ต้องมีระบบการนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ที่ดีและน้ำมันหอมระเหยที่ได้โดยเฉพาะจากส่วนดอก มักมีสีเข้มและละลายในแอลกอฮอล์ได้ยากกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่น ตัวทำละลายที่ดี ต้องมีความบริสุทธิ์สูง สามารถละลายสารให้กลิ่นได้รวดเร็ว ไม่ดูดซับน้ำ ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น ปีโตรเลียมอีเทอร์ และแอลกอฮอล์ เป็นต้น (วีรียา, 2546)

5. การกลั่นสลาย (destructive distillation)

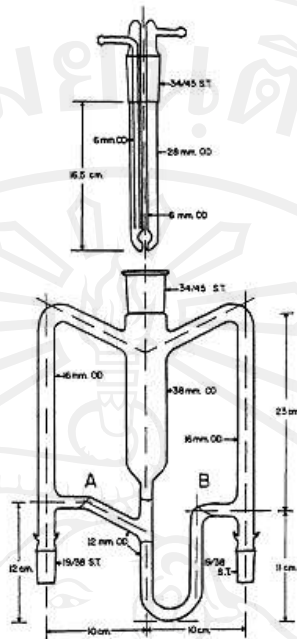
วิธีการกลั่นสลายใช้กับการกลั่นน้ำมันจากต้นไม้นางศ์ Pinaceae และ Cupressaceae โดยนำมาเผาในอากาศที่ไม่เพียงพอ จะเกิดการสลายตัวได้สารระเหยออกมา ซึ่งจะแยกออกได้เป็น 2 ชั้น คือชั้นน้ำซึ่งประกอบด้วย เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) และกรดแอซิติก (crude acetic acid) กับชั้นของน้ำมันดิน (tarry liquid) เช่น pine tar หรือ juniper tar

6. การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายวิกฤตยิ่งยวด (supercritical fluid extraction; SFE)

วิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายวิกฤตยิ่งยวดเหมาะสมกับสารที่ไม่ทนความร้อน นิยมใช้ supercritical carbon dioxide เป็นตัวทำละลาย เนื่องจาก ไม่มีกลิ่นและรสชาติ ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟ มีความหนืดต่ำ จึงสามารถแทรกซึมเข้าสู่เซลล์พืชได้ดี มีจุดเดือดค่อนข้างต่ำ จึงกำจัดออกได้ง่าย เป็นวิธีที่ปัจจุบันนิยมใช้มากเพราะจะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นดี มีความบริสุทธิ์สูง แต่วิธีนี้จะมีต้นทุนการผลิตที่สูง

7. การกลั่นและสกัดพร้อมกัน (simultaneous distillation extraction)

วิธีการกลั่นและสกัดพร้อมกันเป็นวิธีที่รวมวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายรวมกับวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำเข้าด้วยกัน (ภาพ 2.7) โดยการออกแบบของ Liken และ Nickerson ในปี 1964 เพื่อวิเคราะห์น้ำมันจากต้นฮอบ และเริ่มมีการใช้วิธีการกลั่นและสกัดพร้อมกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นวิธีการกลั่นแบบต่อเนื่องโดยทำการสกัดและทำให้เข้มข้นในขั้นตอนเดียว ทำให้ประหยัดเวลาในกระบวนการ (Chaintreau, 2001) นิยมใช้ไคลคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากเป็นสารที่มีคุณสมบัติความเป็นขั้วน้อย และมีจุดเดือดต่ำเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส (Gu *et al.*, 2009) มีการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการกลั่นและสกัดพร้อมกัน และวิธีอื่นๆ เช่น การเปรียบเทียบวิธีการกลั่นและสกัดพร้อมกันวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ และวิธีเฮดสเปซโคดีสทิลเลชัน (headspace co-distillation) เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของสารให้กลิ่นในใบยาสูบ พบว่าวิธีการกลั่นและสกัดพร้อมกันได้สารประกอบใกล้เคียงกับวิธีเฮดสเปซโคดีสทิลเลชัน โดยปริมาณสารระเหยพบมากในวิธีการกลั่นและสกัดพร้อมกัน ส่วนจำนวนสารประกอบทั้งหมดในวิธีการกลั่นและสกัด และวิธีเฮดสเปซโคดีสทิลเลชัน ไม่แตกต่างกัน ส่วนวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำได้สารประกอบน้อยที่สุด (Peng *et al.*, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารระเหยให้กลิ่นในชาผู้เอ้อ โดยเปรียบเทียบวิธีการกลั่นและสกัดพร้อมกัน การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (steam distillation-Liquid/Liquid extraction) และ การสกัดแบบซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) พบว่าวิธีการกลั่นและสกัดพร้อมกันเป็นวิธีที่ดีที่สุด เนื่องจากสารประกอบที่สกัดออกมามีปริมาณมากกว่าวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลวและการสกัดแบบซอกซ์เลต อาจเนื่องมาจากวิธีการกลั่นและสกัดเป็นระบบปิดและมีการสกัดอย่างต่อเนื่องด้วยสารละลายอินทรีย์ อีกทั้งใช้อุณหภูมิต่ำในการควบแน่น ซึ่งทำให้สารให้กลิ่นยังคงอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบซอกซ์เลต (Gu *et al.*, 2009)



ภาพ 2.7 เครื่องกลั่นและสกัดพร้อมกัน (Liken-Nickerson apparatus)

ที่มา : Chaintreau (2001)

2.5.5 การเก็บน้ำมันหอมระเหย

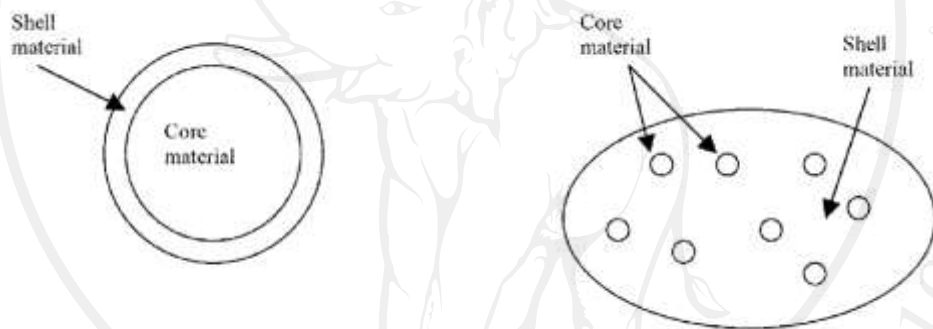
น้ำมันหอมระเหยประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compounds) หลายชนิด ซึ่งบางชนิดมีการสลายตัวได้ง่าย เช่น มีการเปลี่ยนสี ความหนืดเพิ่มขึ้น หรือกลิ่นเปลี่ยนไป ดังนั้นควรเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท ภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ป้องกันแสงได้ และเก็บในที่เย็น น้ำมันหอมระเหยที่ดีควรใช้ภายใน 3 ปี หลังการกลั่นหรือสกัด และควรเก็บไว้ในขวดแก้ว ไม่ควรใช้ภาชนะพลาสติก

2.6 การเก็บกักกลิ่นรส (flavor encapsulation)

การเก็บกัก (encapsulation) เป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารอื่น สารที่ถูกละเลียง (coated) หรือ ถูกขังจับไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่อาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซ ซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น core material หรือ internal phase ส่วนสารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating การเก็บกักกลิ่นรสนั้น เป็นการประยุกต์ใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ ทำให้กลิ่นรสอยู่ในรูปของของเหลว ในรูปของไขมัน หรือน้ำมัน ให้เป็นผงซึ่งสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น การเก็บกักที่มีขนาดอนุภาคในระดับไมครอน เรียกว่า ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) ตามคำจำกัดความแล้ว

เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูลชั้น หมายถึง กระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์ชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน (ฉันทรา, 2549) ผลัดกันที่ที่ได้จะมีผนังที่บาง แต่แข็งแรงพอที่จะป้องกันอนุภาคภายในหรือสารแกน (core) ไมโครแคปซูลมีรูปร่างหลายแบบ เช่น ทรงกลม (sphere) รูปไต (kidney shape) เป็นก้อน (aggregate) ซึ่งภายในสารแกนอาจเป็นสารเดี่ยว (mononucleus) หรือหลายอนุภาค (multinucleus) (พิมพร, 2527)

แคปซูลประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนของสารสำคัญที่บรรจุอยู่ภายในแคปซูล เรียกว่า คอร์ (core) หรือสารแกน และส่วนของผนังที่ห่อหุ้มซึ่งอยู่รอบอนุภาคสารสำคัญ เรียกว่า วอลล์ (wall) หรือ เซลล์ (shell) ดังแสดงในภาพ 2.8



ภาพ 2.8 ส่วนประกอบและรูปแบบของไมโครแคปซูล

ที่มา : Wilson and Shah (2007)

2.6.1 ประโยชน์ของเทคโนโลยีการเก็บกัก (ฉันทรา, 2549)

1. เปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง เช่น การผลิตน้ำหอมในลักษณะผงในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง แต่สารแกนยังคงเป็นของเหลว เมื่ออบคยี้จะไ้กลิ่นหอมออกมา
2. ลดการระเหยของสาร ทำให้สามารถเก็บสารบางชนิดที่ระเหยได้ง่ายไว้ภายในแคปซูล เช่น น้ำมันหอมระเหย ทำให้มีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษามากขึ้น
3. ป้องกันปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากสารบางชนิดมีความไวต่อสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด ออกซิเจน ความชื้น เป็นต้น ไมโครแคปซูลจะทำให้สารแกนมีความคงตัวดีขึ้น สามารถป้องกันคุณสมบัติที่จะเปลี่ยนไปของสารแกนและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสารให้กลิ่นรสหรือควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารได้

4. ช่วยให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน เช่น การเปลี่ยนสารที่เป็นของเหลวให้อยู่ในรูปแคปซูลที่เป็นของแข็ง ง่ายต่อการนำไปผสมกับสารอื่น และไม่จับตัวเป็นก้อน
5. สามารถควบคุมการทำงานของสารให้มีการปลดปล่อยสารในบริเวณที่เหมาะสม และยังคงความสิ้นเปลืองในการใช้สารได้

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาไมโครแคปซูล

1. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งในการเก็บรักษาสารสำคัญ กลิ่น รสชาติในอาหาร โดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น
2. ความชื้นสัมพัทธ์ มีผลต่อการเก็บรักษาโดยสังเกตจากการปล่อยกลิ่นรส ระหว่างการเก็บรักษา โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำลายโครงสร้างของแคปซูล (Rosenberg *et al.*, 1990)
3. การเลือกใช้สารห่อหุ้ม มีความสำคัญมาก โดยวัสดุที่ใช้อาจเลือกได้จากพอลิเมอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ ขึ้นกับชนิดของสารสำหรับเก็บกักกลิ่นรสและรูปร่างของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ ซึ่งวัสดุในการเก็บกักกลิ่นรสที่ดีควรมีลักษณะดังนี้
 - 3.1 สามารถกระจายตัวได้ดีและเป็นอิมัลชัน
 - 3.2 ไม่ทำปฏิกิริยากับกลิ่นรสในระหว่างการผลิตและระหว่างการเก็บรักษา
 - 3.3 สามารถเก็บกักกลิ่นรสและคงรูปร่างไว้ได้ดี
 - 3.4 สามารถป้องกันกลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อม เช่น ความร้อน แสงแดด และความชื้น
 - 3.5 ไม่ดูดซับตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการเก็บกักกลิ่นรส การทำแห้งและการระเหยตัวทำละลายอินทรีย์
 - 3.6 ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น
 - 3.7 มีราคาถูก
4. ขนาดของอิมัลชัน มีผลต่อการเก็บรักษาสารสำคัญ โดยอิมัลชันขนาดใหญ่จะเก็บและรักษาสารสำคัญได้น้อยกว่าอิมัลชันที่มีขนาดเล็ก

โดยทั่วไปการเก็บกักสารให้กลิ่นรส ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบ โดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือ โปรตีน ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง โดยเทคนิคการเก็บกักที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรส และความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา (Madene *et al.*, 2006)

2.6.3 สารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเก็บกัก

1. สตาร์ชและสตาร์ชดัดแปร

สตาร์ชเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่มีมาก รองลงมาจากเซลลูโลส สตาร์ชที่ผลิตขายทั่วไปในอุตสาหกรรมได้จาก ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าว ถั่วเขียว มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง พืชสร้างสตาร์ชและเก็บสะสมไว้ในรูปของเม็ดสตาร์ช (starch granules) มีลักษณะเฉพาะของพืชแต่ละชนิด เม็ดสตาร์ชมีสมบัติเป็นผลึก (crystalline) บางส่วน มีขนาด 1-100 ไมโครเมตร เม็ดสตาร์ชไม่ละลายน้ำเย็น สามารถดูดน้ำได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature) ของสตาร์ชแล้วเม็ดสตาร์ชสามารถดูดน้ำได้มากและขยายขึ้นได้หลายเท่าตัวให้สารละลายมีความหนืด โดยสตาร์ชจากพืชต่างชนิดกันจะให้สมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน (วรรณา, 2549)

สตาร์ชส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะไมโลสประมาณ 15-25% ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ส่วนอะไมโลเพกทินประมาณ 85-75% สตาร์ชบางชนิดอาจจะมีอะไมโลเพกทินสูงถึงมากกว่า 90% ได้แก่ พวกวุ้นวุ้นวอกซี (waxy variety) เช่น สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวเหนียว เป็นต้น

เนื่องจากการใช้ประโยชน์ของสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติในอุตสาหกรรมอาหารมีข้อจำกัด และในกระบวนการแปรรูปอาหารยังอาจมีผลกระทบจากพิษเอช อุณหภูมิและแรงเฉือน แม้ว่าผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชบางชนิดจะมีการแปรรูปเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ยังมีผลกระทบต่อสมบัติของสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติ โดยสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง มีความคงตัวต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ และไม่มีสมบัติการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง จึงได้มีการนำสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติมาดัดแปร โดยทำลายโครงสร้างทางธรรมชาติของเม็ดสตาร์ช ทำให้สตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติมีสมบัติเปลี่ยนไป สตาร์ชดัดแปรใหม่ที่ได้จะมีคุณสมบัติการใช้งานตามที่ต้องการ เช่น ให้ความหนืดลดลง คงตัวต่อความร้อน กรด และแรงเฉือน

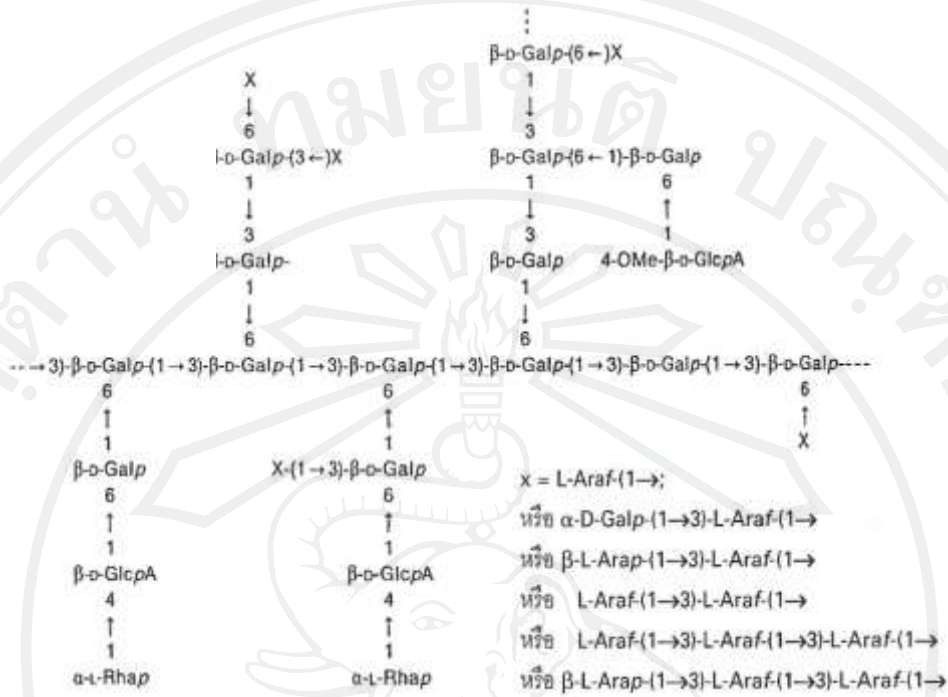
สตาร์ชได้ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการเก็บกักสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเก็บกักสารให้กลิ่นรส โดยกลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ชแบ่งออกได้ 2 รูปแบบ โดยรูปแบบแรก สารให้กลิ่นรสถูกล้อมรอบด้วย amylose helix โดยการจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะเก็บกักสารให้กลิ่นไว้ภายใน โมเลกุล (inclusion complex) ส่วนรูปแบบที่สองจะเกิด polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและสารให้กลิ่นรส

2. มอลโทเดกซ์ทริน

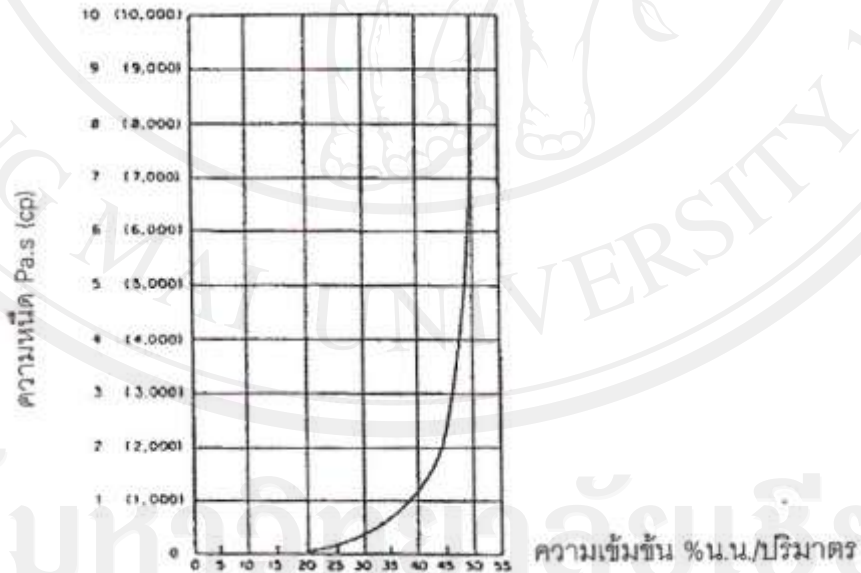
มอลโทเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดด้วยกรดหรือเอนไซม์ ผลิตจำหน่ายในรูปแบบ dextrose equivalent (DE) ค่า DE เป็นการวัดระดับของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ช และเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ มีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว โดยค่า DE จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ชนิดที่มีค่า DE สูงที่สุด คือ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุดและดูดความชื้นได้ดี การย่อยสลายของสตาร์ชให้มีค่า DE 20-60 จะได้โมเลกุลของเดกซ์ทรินที่มีขนาดต่างกัน เมื่อทำให้แห้งเรียกว่า corn syrup solid ซึ่งละลายน้ำได้รวดเร็วและมีรสหวานเล็กน้อย (นิธิยา, 2549)

3. กัมอะราบิก

กัมอะราบิก (arabic gum) หรือ กัมอะคาเซีย (Acacia gum) เป็นสารธรรมชาติชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ได้มาจากน้ำยางธรรมชาติที่ไหลออกมาจากเปลือกของลำต้นในพืชกลุ่มอะคาเซีย (acacia) จัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยน้ำตาล 4 ชนิด ได้แก่ แอล-แอราบิโนส (27%) ดี-กาแลกโทส (44%) แอล-แรมโนส (13%) และกรดดี-กลูคูโรนิก (14.5%) ซึ่งสายโซ่หลักประกอบด้วย เบตา-กาแลกโทไฟแรนเนสจับด้วยพันธะ β -1,3 และมีสายกิ่งต่อออกจากสายโซ่หลัก ดังภาพ 2.9 กัมอะราบิกอาจอยู่ในรูปของพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นกลาง หรืออยู่ในรูปเกลือของกรดอ่อนที่มีแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม โดยกัมชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุล 250,000 ถึง 750,000 ดาลตัน มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี ให้สารละลายใส และมีความหนืดต่ำ โดยความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น แต่ความเข้มข้นจะเพิ่มช้าที่ความเข้มข้น 25% น้ำหนักต่อปริมาตร ความหนืดจะมีประมาณ 160 Pa.s แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงกว่า 25% ขึ้นไป ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเร็ว ดังภาพ 2.10 ความเข้มข้น 50% จะมีความหนืดสูงสุดที่ 10,000 Pa.s นอกจากนี้ความหนืดของกัมอะราบิกจะขึ้นอยู่กับ พีเอช โดยความหนืดจะสูงสุดที่ พีเอช 5-6 และความหนืดอาจลดลง 20% ที่ พีเอช ประมาณ 3 หรือ 11 กัมอะราบิกถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติเป็นอิมัลชันไฟเออร์ที่ดี โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) สามารถเก็บกักสารให้กลิ่นรสได้ดี ไม่มีผลกระทบต่อความหนืดและกลิ่นรส รวมทั้งสีของผลิตภัณฑ์ เมื่ออยู่ในรูปผงแห้งจะมีการกระจายตัวได้ดี ไม่จับตัวกันง่าย เหมาะในการใช้ห่อหุ้มคอร์ที่ขึ้นง่ายอีกด้วย



ภาพ 2.9 โครงสร้างของกัมอะราบิก
ที่มา : วรณา (2549)



ภาพ 2.10 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกัมอะราบิกต่อความหนืด
(วัดที่อุณหภูมิ 25.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส โดยใช้ Brookfield Synchroelectric)

ที่มา : วรณา (2549)

4. เจลาติน

เจลาตินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่ได้จากการย่อยสลายวัตถุดิบที่มีคอลลาเจน (fibrous protein collagen) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) กระดูก และเอ็นของสัตว์ทุกชนิด แต่วัตถุดิบที่นำมาย่อยสลายจะต้องมีคอลลาเจนมากๆ เช่น หนังวัว หนังหมู และกระดูก ซึ่งผลที่ได้จะมีกรดอะมิโนเช่นเดียวกับการย่อยสลายโปรตีนทั่วไป ยกเว้นไม่มี ทริปโตเฟน (tryptophane) และมีกรดอะมิโนบางตัวสูงเป็นพิเศษ ได้แก่ ไกลซีน (glycine) 27% โพรลีน (proline) และกรดไฮดรอกซีโพรลีน รวม 25% รองลงมาได้แก่ กรดกลูตามิก (glutamic acid) อะลานีน (alanin) 9% อาร์จินีน (arginine) 8% และกรดแอสปาร์ติก (aspartic acid) 6% ซึ่งสามารถเซตตัวเป็นเจลได้เหมือนกับคอลลาเจน โดยเจลที่ได้จะมีลักษณะอ่อนนุ่ม มีจุดหลอมเหลวประมาณ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของร่างกาย เมื่อกินเข้าไปจึงให้ความรู้สึกในการกินที่ดี (สุวรรณ, 2543)

เจลาตินถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบในการเก็บกักสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิค complex coacervation และเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดี และมีความสมบัติในการเคลือบผิว (Lee *et al.*, 1999) ซึ่งไม่โครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ได้โดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส และสารให้กลิ่นรสอื่นๆ ในอุตสาหกรรมอาหาร

5. โซเดียมอัลจิเนต

โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate) เป็นสารสกัดที่ได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (*Phaeophyceae*) ผลิตได้โดยการทำการสกัดกรดอัลจินิกออกจากสาหร่ายสีน้ำตาล และทำการสะเทินด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมอัลจิเนตมีส่วนประกอบหลักเป็นเกลือโซเดียมของกรดอัลจินิก ซึ่งเป็นกรดโพลียูโรนิก (polyuronic) ประกอบด้วย α -l-guronate และ β -D-manuronate

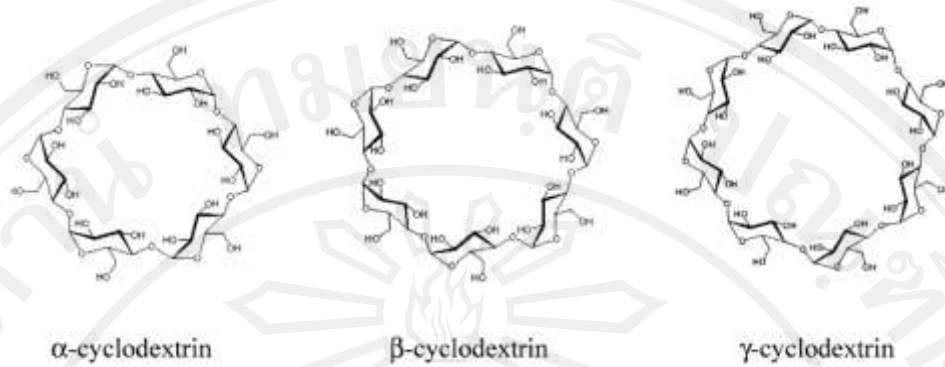
โซเดียมอัลจิเนตมีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงเหลืองน้ำตาล ไม่มีกลิ่นและรสชาติ เมื่อละลายน้ำจะให้ประจุลบภายในโมเลกุล สารละลายโซเดียมอัลจิเนต 1% ในน้ำจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.2 โดยโซเดียมอัลจิเนตจะไม่ละลายน้ำและเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 5% อีเธอร์ คลอโรฟอร์ม ส่วนผสมของเอทานอลและน้ำ (เอทานอลมากกว่า 30%) ตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ และสารละลายกรดในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง น้อยกว่า 3 ซึ่งจะละลายอย่างช้าๆ ในน้ำ โซเดียมอัลจิเนตไม่เข้ากันกับอนุพันธ์ของ acridine, crystal violet, phenylmercuric acetate และ nitrate, calcium salt, heavy metals โดยสารอิเล็กโตรไลต์ที่มีความเข้มข้นต่ำจะทำให้ความหนืดของโซเดียมอัลจิเนตเพิ่มขึ้น ส่วนอิเล็กโตรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการแยกตัวของโซเดียมอัลจิเนตกับสารละลาย (salting out) สารละลายโซเดียมอัลจิเนตในน้ำที่มีความหนืดต่างกัน

จะขึ้นอยู่กับเกรดของวัตถุดิบ ความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิหรือการมีออกซิเจนของ โลหะอยู่ในระบบ ความหนืดจะลดลงเมื่ออยู่ในสถานะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 10 โดยทั่วไปความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต 1% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความหนืดอยู่ในช่วง 20-400 มิลลิปาสคาล สารละลายในน้ำจะคงตัวมากที่สุดเมื่ออยู่ในค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 4-10 และเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 3 จะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ความเข้มข้น 1% ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 2 ปี จะมีความหนืดลดลง 60-80% ของค่าความหนืดตั้งต้น สารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ข้นหนืดเรียกว่ามิวซิเลจ (mucilage) ซึ่งสามารถเตรียมมิวซิเลจได้โดยการนำโซเดียมอัลจิเนตมาละลายในน้ำแต่ห้ามนำมาละลายทันที เพราะจะทำให้สารละลายจับเป็นก้อน สามารถป้องกันโดยการเติมสารช่วยกระจายโซเดียมอัลจิเนต ได้แก่ แอลกอฮอล์ กลีเซอรอล หรือโพรโพลีนไกลคอล อย่างใดอย่างหนึ่งในปริมาณ 2-4% หรือใช้เครื่องมือกวนน้ำแล้วโปรยโซเดียมอัลจิเนตทีละน้อย การให้ความร้อนเล็กน้อยจะช่วยให้เป็นมิวซิเลจเร็วขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โซเดียมอัลจิเนตจะเสียคุณลักษณะเดิมและความหนืดลดลงด้วย มิวซิเลจของโซเดียมอัลจิเนตจะมีความหนืดมากที่สุดหลังการเตรียมประมาณ 1 ชั่วโมง จนถึง 24 ชั่วโมง และจะลดลงจนคงที่ โดยความหนืดจะมากที่สุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 และความหนืดจะลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 และ 10

โซเดียมอัลจิเนตได้ถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบในการเก็บกักสารให้กลิ่นรสเนื่องจากมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ให้ความหนืดต่ำ ราคาไม่แพงและใช้ปริมาณน้อย แต่ฟิล์มที่ได้มักจะไม่ค่อยแข็งแรง จึงต้องเสริมความแข็งแรงด้วยเกลือแคลเซียม และทำให้เกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำ

6. ไซโคลเดกซ์ทรินซ์

ไซโคลเดกซ์ทรินซ์ (cyclodextrins) หรือไซคลิกโอลิโกแซ็กคาไรด์ (cyclic oligosaccharides) ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ ดี-กลูโคส จับต่อกันเป็นวงแหวนปิด ด้วยพันธะ α -(1,4)-glucosidic เตรียมได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไซโคลเดกซ์ทรินกลูโคทรานส์เฟอเรส (cyclodextrin glucotransferase) จาก *Bacillus macerans* (Cevallos *et al.*, 2010) ผลผลิตที่สำคัญได้แก่ ไซโคลมอลโทเฮกซะโอส (cyclomaltohexaose) ไซโคลมอลโทเฮปตะโอส (cyclomaltoheptaose) และไซโคลมอลโทออกตะโอส (cyclomaltooctaose) มีโครงสร้างวงแหวนที่แข็งแรง เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนขึ้นอยู่กับจำนวนน้ำตาล ดี-กลูโคส ในวงแหวนขอบบนและล่างไม่เท่ากัน โมเลกุลมีลักษณะคล้ายทรงกรวย ได้แก่ α -cyclodextrin, β -cyclodextrin และ γ -cyclodextrin ที่ประกอบด้วยกลูโคส 6, 7 และ 8 หน่วยตามลำดับ ซึ่งแต่ละชนิดมีการละลายที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพ 2.11 และสมบัติพื้นฐานของไซโคลเดกซ์ทรินซ์ ดังตาราง 2.1



ภาพ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของ α -, β - และ γ -cyclodextrin
ที่มา : Li *et al.* (2007)

ตาราง 2.1 สมบัติพื้นฐานของไซโคลเดกซ์ทริน

สมบัติ	α -cyclodextrin	β -cyclodextrin	γ -cyclodextrin
จำนวนหน่วยของกลูโคส	6	7	8
สูตรโมเลกุล	$C_{36}H_{60}O_{30}$	$C_{42}H_{70}O_{35}$	$C_{48}H_{80}O_{40}$
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	972	1135	1297
ความสามารถในการละลายน้ำที่ 25°C (%,w/v)	14.5	1.85	23.2
จุดเดือด (°C)	275	280	275
เส้นผ่านศูนย์กลางโมเลกุลด้านนอก (Å)	14.6	15.4	17.5
เส้นผ่านศูนย์กลางโมเลกุลด้านใน (Å)	4.7-5.3	6.0-6.5	7.5-8.3
ความสูงของโมเลกุล (Å)	7.9	7.9	7.9
ความจุ (Å ³)	174	262	427

ที่มา : Del-Valle (2004)

ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถรวมตัวกับสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ จึงทำให้ไซโคลเดกซ์ทรินถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ได้แก่

1. ใช้เพิ่มความสามารถในการละลาย ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมยา โดยใช้ไซโคลเดกซ์ทรินเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของตัวยาบางชนิด โดยไซโคลเดกซ์ทรินจะรวมตัวกับยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของยาเพิ่มขึ้น

2. ลดการระเหยของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์บางประเภทเป็นสารระเหยง่าย เช่น น้ำมันหอมระเหย เมื่อถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไซโคลเดกซ์ทริน จะทำให้จุดเดือดหรืออุณหภูมิในการระเหย และอุณหภูมิในการระเหิดสูงขึ้น ซึ่งช่วยลดการระเหยของผลิตภัณฑ์ได้นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการตกผลึกกลับได้ (recrystallization)

3. การปรับปรุงกลิ่นและรส เนื่องจากไซโคลเดกซ์ทรินช่วยลดการระเหยของสารที่ระเหยได้ง่าย เป็นผลให้ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถช่วยลดหรือเก็บรักษากลิ่นและรสชาติผลิตภัณฑ์ได้ โดยการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารให้กลิ่น เช่น ช่วยลดความขมในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม ลดกลิ่นคาวในอาหารจำพวกปลา เป็นต้น อีกทั้งยังถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมการเก็บกักกลิ่น (flavor encapsulation)

4. ใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โมเลกุลของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ถูกทำลายโดยสารอื่นๆ ได้ยากขึ้น เช่น ช่วยเพิ่มความคงตัวของอาหารเสริมประเภทวิตามิน รักษาความคงตัวของสีที่ได้จากธรรมชาติ เป็นต้น

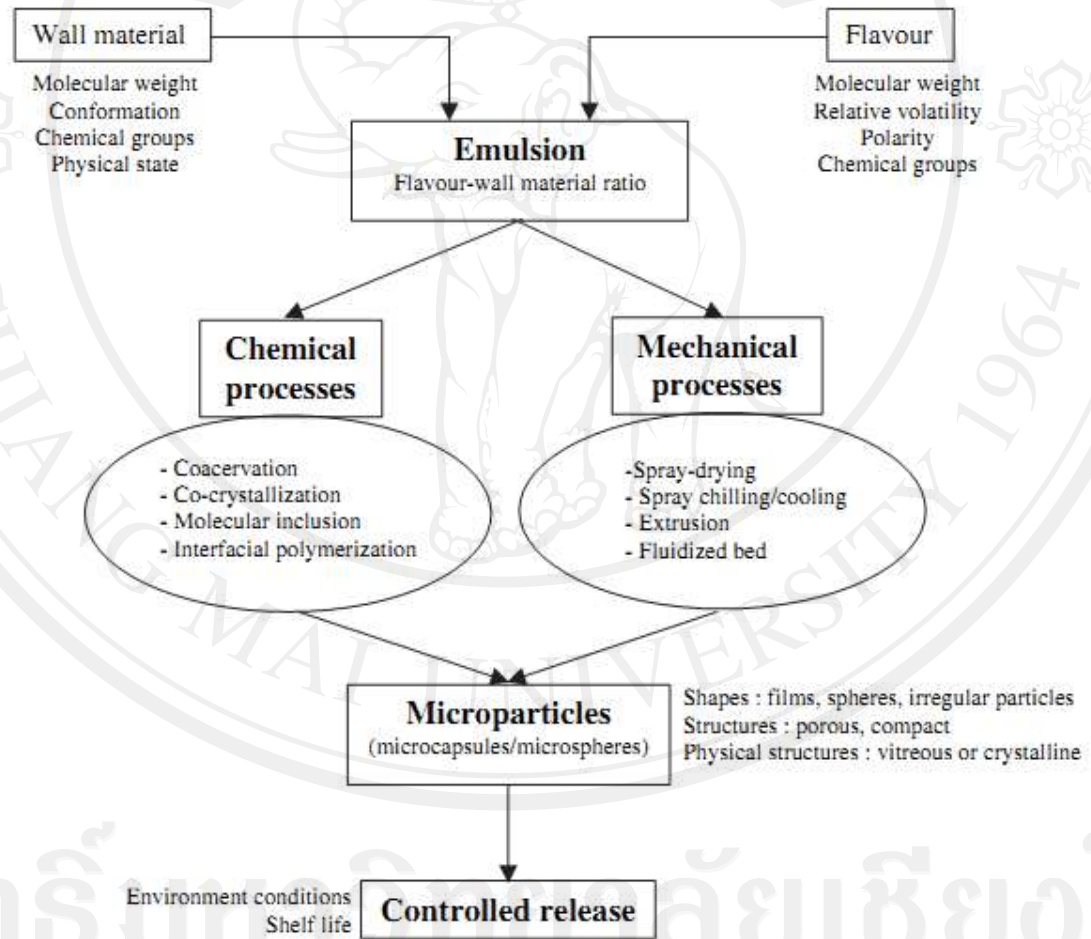
ตาราง 2.2 ลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเก็บกักสารให้กลิ่นรส

ชนิดของสารเคลือบ	ลักษณะเฉพาะ
มอลโทเดกซ์ทริน (DE<20)	สารทำให้เกิดฟิล์ม
คอร์นไซรัปโซลิค (DE>20)	สารทำให้เกิดฟิล์ม
สตาร์ชคัดแปร	เป็นตัวทำอิมัลชันที่ดีมาก
กัมอะราบิก	ตัวทำอิมัลชันและทำให้เกิดฟิล์ม
เซลลูโลสคัดแปร	สารทำให้เกิดฟิล์ม
เจลาติน	ตัวทำอิมัลชันและทำให้เกิดฟิล์ม
ไซโคลเดกซ์ทรินซ์	เป็นสารเคลือบและตัวทำอิมัลชัน
เลซิทิน	เป็นตัวทำอิมัลชัน
เวย์โปรตีน	เป็นตัวทำอิมัลชันที่ดี
กรดไขมันชนิดทรานส์	เป็นตัวป้องกันออกซิเจนและน้ำ

ที่มา : Madene *et al.* (2006)

2.6.4 เทคนิคที่ใช้ในการเก็บกักสารให้กลิ่นรส

การเก็บกักสารให้กลิ่นรสสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมได้แก่ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) นอกจากนี้สามารถใช้เทคนิคอื่นๆ เช่น สเปรย์ชิลลิ่งและคูลลิ่ง (spray chilling and cooling) โคอะเซอร์เวชัน (coacervation) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไคส์เบด (fluidized bed coating) การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (liposome entrapment) อินคลูชันคอมเพล็กซ์ชัน (inclusion complexation) และเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ดังแสดงในภาพ 2.12

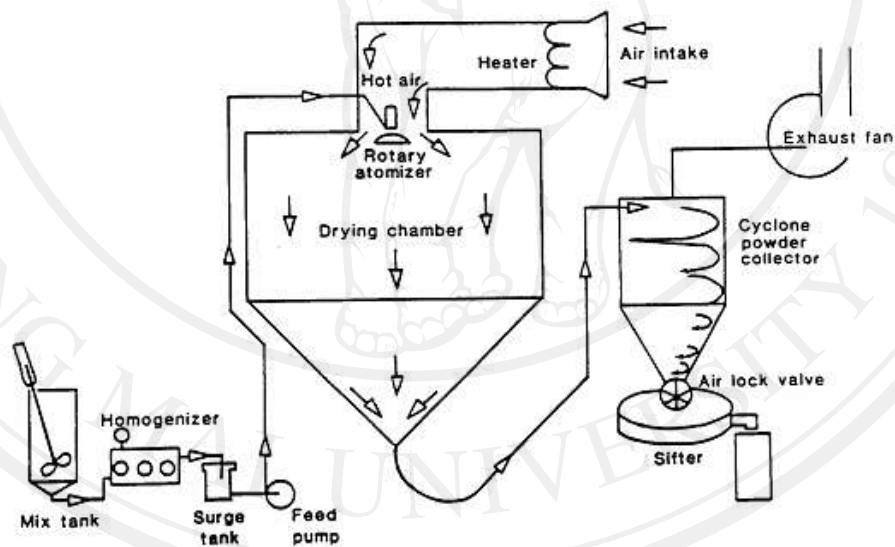


ภาพ 2.12 เทคนิคที่ใช้ในการเก็บกักสารให้กลิ่นรส

ที่มา: Madene *et al.* (2006)

1. เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเก็บกักที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่าย และต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเก็บกักด้วยวิธีนี้ประกอบด้วย การนำสารที่ใช้ในการเคลือบ (wall หรือ shell) เช่น มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชคัดแปร กัม หรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเก็บกักผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier solution) โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 ไมครอน จากนั้นจึงป้อนส่วนผสม (feed) ผ่านรูหัวฉีด (rotary atomizer) หรือจานจ่ายลงมาในส่วนของถัง (drying chamber) ที่มีลมร้อนเป่าที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ได้อนุภาคของสารสำคัญที่มีขนาดเล็กและถูกเคลือบจนแห้งออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ (Madene *et al.*, 2006) ดังภาพ 2.13



ภาพ 2.13 การเก็บกักโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา: Madene *et al.* (2006)

ข้อด้อยของวิธีการนี้คือ อาจเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย และอาจมีสารแกนกลางติดที่ผิวของไมโครแคปซูลซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ได้

2. เอ็กซ์ทรูชัน

การเก็บกักสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคเอ็กซ์ทรูชันสามารถใช้ในการเก็บกักสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ง่าย ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารให้กลิ่นรสในมวลของคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว โดยส่วนผสมจะถูกบังคับให้เคลื่อนผ่านหัวไดล์ (die) ไปยังช่องเหลวซึ่งใช้ในการดึงน้ำออก (dehydrating liquid) ทำให้สารเคลือบเกิดการแข็งตัวและจับสารแกนกลางไว้ภายใน ของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นเส้นซึ่งมีความแข็ง ต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ และทำให้แห้ง วิธีการนี้จะได้ไมโครแคปซูลขนาดใหญ่ (500-1000 ไมครอน) ซึ่งทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหาร และยังเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนจึงอาจทำให้มีการสูญเสียสารที่ระเหยได้ง่ายในระหว่างการผลิต (กฤษฎีกีและคณะ, 2548)

3. สเปรย์ซิลลิงและสเปรย์คูลลิ่ง

วิธีการเก็บกักกลิ่นรสด้วยเทคนิคสเปรย์ซิลลิงและสเปรย์คูลลิ่งจะคล้ายกัน โดยสารแกนกลางจะกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ จากนั้นของผสมที่ได้เคลื่อนที่ผ่านหัวฉีด (atomizer) เพื่อพ่นให้เป็นละอองฝอย ซึ่งเทคนิคนี้จะแตกต่างจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยตรงที่ไม่มีการระเหยน้ำโดยของผสมระหว่างสารแกนกลางและสารเคลือบจะถูกฉีดพ่นไปยังอากาศเย็น (cool or chill air) วิธีการนี้จะทำให้สารเคลือบเกิดการแข็งตัวรอบๆ ผิวของสารแกนกลาง

การเก็บกักสารให้กลิ่นรสโดยวิธีสเปรย์ซิลลิง สารที่ใช้ในการเคลือบจะเป็นสารพวก fractionated หรือ hydrogenated vegetable oil ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32-42 องศาเซลเซียส ขณะที่สารที่ใช้เคลือบของวิธีสเปรย์คูลลิ่ง จะเป็นสารพวกน้ำมันพืช หรือสารชนิดอื่นที่มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 45-122 องศาเซลเซียส เทคนิคทั้งสองนี้นิยมใช้ในการเก็บกักสารให้กลิ่นรส วิตามิน กลีโอะแร้ หรือ สารให้ความเป็นกรด เนื่องจากสามารถเลือกจุดหลอมเหลวของสารเคลือบ ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อย สารแกนกลางได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเก็บกักโดยวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ ชูปัง และผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของไขมันสูง

วิธีการนี้ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดในกระบวนการเก็บรักษากลิ่นรส (Gouin, 2004) นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกลีโอะอินทรีย์ เกลีโอะนินทรีย์ เอนไซม์ กลิ่นรส รวมถึงส่วนผสมอื่นๆ เพื่อปรับปรุงด้านความคงตัวของความร้อน ช่วยชะลอการปลดปล่อยกลิ่นรสสู่ภาวะแวดล้อมที่เปียกชื้น เป็นต้น

4. การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด (fluidized bed coating)

เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็ง อนุภาคที่ต้องการเคลือบผิวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนภายในห้องอบแห้งด้วยความเร็วสูง ในขณะที่เดียวกันตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะเคลื่อนที่ผ่านหัวฉีดและพ่นเป็นละอองฝอยไปยังกระแสของอนุภาค (particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาค ความหนาของสารเคลือบผิวสามารถควบคุมได้โดยควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ภายในห้องอบแห้ง เทคนิคนี้จะทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีความหนาของเปลือกที่สม่ำเสมอมาก และสามารถเคลือบอนุภาคด้วยสารห่อหุ้มทุกชนิด (กฤษฎี และคณะ, 2548)

5. การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (liposome entrapment)

วิธีนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมการผลิตยา ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ (aqueous phase) ล้อมรอบด้วยเมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (phospholipid base membrane) เมื่อฟอสโฟไลปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นไลโปโซม โดยไลโปโซมจะสามารถใช้ในการหุ้มสารที่ละลายได้ในน้ำหรือไขมันไว้ภายใน

6. เทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

เทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถประยุกต์ใช้ในการเก็บกักสารให้กลิ่นรสที่ไวต่อความร้อน การเก็บกักจะเกิดระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง โดยขณะที่น้ำในสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็ง สารละลายในส่วนที่น้ำยังไม่แข็งตัว (non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยชะลอการแพร่ของสารให้กลิ่นรส เมื่อปริมาณผลึกน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้น สารละลายที่มีสารให้กลิ่นรสละลายอยู่จะอยู่ในสภาวะอิมตัวยิ่งยวดและเริ่มตกผลึกโดยจับสารให้กลิ่นรสไว้ภายในผลึกน้ำแข็งที่ได้ ซึ่งจะอยู่ในรูปของแข็งอสัณฐาน (amorphous solid) หรือของแข็งที่ไม่มีรูปผลึก อนุภาคเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ

7. โคอะเซอร์เวชัน (coacervation หรือ phase separation)

การเก็บกักสารให้กลิ่นรสด้วยวิธีนี้ เป็นการทำให้เกิดการแยกวัฏภาคของคอลลอยด์ออกเป็น 2 วัฏภาค วัฏภาคหนึ่งจะประกอบด้วยของเหลวที่มีคอลลอยด์อยู่เป็นจำนวนมาก เรียกว่า colloid-rich phase ส่วนอีกวัฏภาคหนึ่งจะมีคอลลอยด์อยู่น้อยมากหรือไม่มีเลยเรียกว่า equilibrium liquid การเกิดการแยกวัฏภาคดังกล่าวทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิ พีเอช และการเติมสาร

electrolyte หรือปัจจัยอื่นๆ colloid-rich phase จะกระจายตัวเป็นหยดของของเหลวที่เรียกว่า coacervation droplet ซึ่งจะเกิดการรวมตัวกันเป็นชั้นของ homogeneous colloid-rich liquid รอบๆ สารแกนกลาง เกิดเป็นผนังหุ้มสารแกนกลางไว้

ขั้นตอนการเก็บกักสารให้กลั่นรสโดยใช้เทคนิค โคอะเซอร์เวชัน

1. การเกิดอนุภาคหรือหยดของเหลวที่มีขนาดเล็ก
2. การเกิด coacervative wall
3. การแยกไมโครแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย

การเก็บกักสารให้กลั่นโดยเทคนิคนี้จะต้องทำการควบคุมการผสมเพื่อทำให้สารเคลือบเคลือบบนผิวของแกนกลางอย่างสม่ำเสมอ สารเคลือบที่ใช้ได้แก่ เจลาติน การเคลือบผิวรอบๆ สารแกนกลางเกิดจากการดูดซับไฮโดรฟิลิกเฟส (hydrophilic phase) ที่บริเวณผิวของสารแกนกลาง การเติมอิเล็กโทรไลต์เข้าไปในระบบจะทำให้เกิดการตกตะกอนของคอลลอยด์โดยอิเล็กโทรไลต์จะทำให้ประจุเป็นกลางซึ่งจะช่วยให้เกิดการเคลือบที่บริเวณผิวของสารแกนกลาง จากนั้นทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้อยู่ในรูปของแข็งโดยการทำให้แห้ง

การเกิดโคอะเซอร์เวชัน มี 2 วิธี (พิมพร, 2527) ได้แก่

7.1 โคอะเซอร์เวชันชนิดธรรมดา (Simple coacervation)

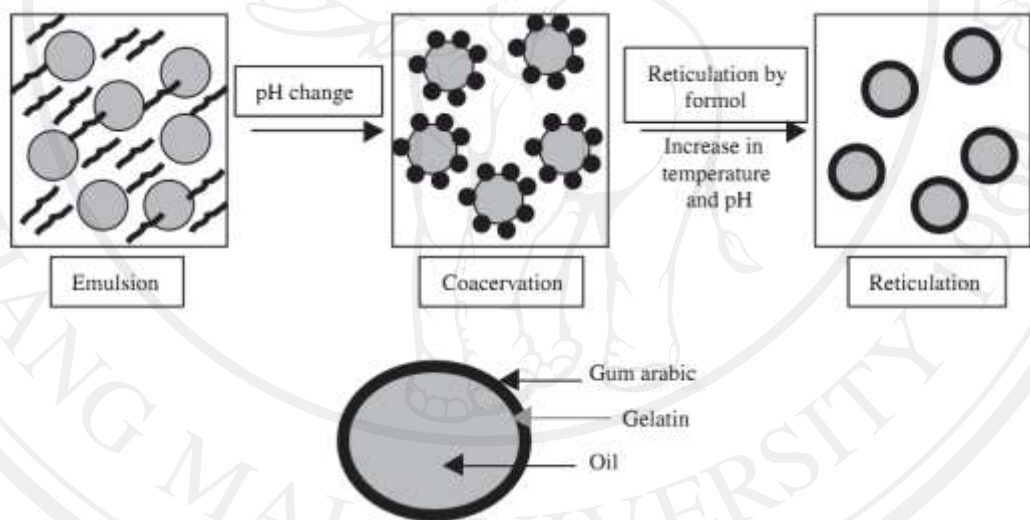
เป็นการเกิดโคอะเซอร์เวชันในระบบที่มีคอลลอยด์เพียงชนิดเดียว ถ้าเป็น โคอะเซอร์เวชันแบบที่เป็นน้ำ (aqueous coacervation) มักเกิดจากการเติมสารตั้งน้ำและสารที่เป็นเกลือ เช่น การเติมแอลกอฮอล์ โซเดียมซัลเฟต หรือแอมโมเนียมซัลเฟต ลงในสารละลายของเจลาตินทำให้เกิดสภาพการขาดน้ำ จึงรวมตัวกันอย่างหนาแน่นแยกตัวออกมา ส่วนกรณีของโคอะเซอร์เวชันแบบที่ไม่เป็นน้ำ (non aqueous or organic coacervation) มักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้โพลิเมอร์ละลายน้ำลง แยกตัวเป็นโคอะเซอร์เวชัน เช่น การแยกตัวของเอทิลเซลลูโลสในสารละลายของไซโคลเฮกเซนเมื่อมีการลดอุณหภูมิ สารเคลือบที่นิยมใช้คือเจลาติน

วิธีนี้มีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมขนาดของไมโครแคปซูลได้ และมักเกิดการรวมตัวเป็นก้อน (agglomerates) จึงไม่ค่อยนิยมใช้

7.2 คอมเพล็กซ์โคอะเซอร์เวชัน (Complex coacervation)

คอมเพล็กซ์โคอะเซอร์เวชัน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โคอะเซอร์เวชันเชิงซ้อน เป็นกระบวนการเก็บกักโดยใช้หลักการทางเคมี เกิดโคอะเซอร์เวชันในระบบที่มีคอลลอยด์มากกว่า 1

ชนิด ถ้าเป็น โคอะเซอร์เวทแบบที่เป็นน้ำ มักเกิดจากการเปลี่ยนหรือปรับสภาพ พีเอช โดยใช้ ไฮโดรฟิลิก คอลลอยด์สองชนิดที่มีประจุต่างกัน เช่น การเติมสารละลายของกัมอะราบิกลงใน สารละลายของเจลาติน จากนั้นปรับพีเอชจนเจลาตินมีประจุบวก กัมอะราบิกมีประจุลบ เกิดการจับ กันของประจุอย่างหลวมๆ แยกตัวออกมา กรณีของ โคอะเซอร์เวทแบบที่ไม่เป็นน้ำ มักเกิดจากการ เติมโพลิเมอร์ตัวที่ 2 ซึ่งไม่เข้ากับ โพลิเมอร์ตัวแรก และการชักนำให้เกิดปฏิกิริยาของ โพลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อน การเกิดโคอะเซอร์เวชันชนิดเชิงซ้อนประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ การนำอนุภาคที่จะเคลือบไปกระจายตัวอยู่ในสารละลายพอลิเมอร์ การแยกวัฏภาคของ พอลิเมอร์ออกจากตัวทำละลายเพื่อไปเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาค และขั้นตอนสุดท้าย คือ การทำ ให้ชั้นของสารเคลือบแข็งแรงขึ้น โดยอาศัยอุณหภูมิหรือสารที่เสริมความแข็งแรงให้แก่ฟิล์ม เช่น สารประกอบแคลเซียม ดังแสดงในภาพ 2.14



ภาพ 2.14 หลักการของการเก็บกักกลิ่น โดยใช้เทคนิคคอมเพล็กซ์โคอะเซอร์เวชัน

ที่มา: Madene *et al.* (2006)

วิธีนี้นิยมใช้ผลิตไมโครแคปซูลมากกว่าชนิดธรรมดา เนื่องจากได้ผนังที่แข็งแรงกว่า สามารถควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นรสได้ดีกว่า และการผลิตสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคของ ไมโครแคปซูลได้ง่ายกว่า มีประโยชน์สำหรับเก็บกักสารที่เป็นของเหลวหรืออนุภาคขนาดเล็ก มีลักษณะเป็น oil-in-water ซึ่งการเกิดโคอะเซอร์เวชันชนิดเชิงซ้อนนี้ นิยมใช้เจลาติน เพราะละลาย น้ำได้ดี ไม่เป็นพิษ มีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มได้ดี ราคาถูก หาซื้อง่าย นิยมใช้ร่วมกับกัมอะราบิก

เนื่องจากกัมมะธาบิกจะแสดงประจุลบ หรืออาจใช้ร่วมกับคอลลอยด์ประจุลบอื่น เช่น เพกติน โซเดียมอัลจินต และกรดอินทรีย์ เป็นต้น โดยอาศัยสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

1. สารละลายของคอลลอยด์ทั้ง 2 ชนิด ต้องเป็นชนิดเจือจาง (ความเข้มข้นน้อยกว่า 3%)
2. พีเอชของการเกิด โคอะเซอร์เวทต้องต่ำกว่า isoelectric point ของเจลาติน คือ 4.5
3. อุณหภูมิในขณะที่เกิด โคอะเซอร์เวทต้องสูงกว่า gel point ของเจลาติน เพื่อป้องกันการเกิดเจลและต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้เจลาตินสลายตัว
4. ต้องไม่มีสารที่มีประจุอื่นๆ ปะปนอยู่ เพราะจะรบกวนการเกิด โคอะเซอร์เวท

อิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อการแข็งตัวของโคอะเซอร์เวทไปเป็นไมโครแคปซูล

การทำให้ผนังไมโครแคปซูลแข็งตัว ทำได้หลายวิธี เช่น การลดอุณหภูมิ การเติมสารที่เกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้เกิดสะพานเชื่อมระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์โดยสารกันเป็นร่างแห ซึ่งเกิดสภาพพรุน ความแข็งแรง และความคดโค้งของผนัง สิ่งเหล่านี้มีบทบาทต่อคุณสมบัติในการปลดปล่อยสารออกจากไมโครแคปซูล การเตรียมไมโครแคปซูลเพื่อการออกฤทธิ์นั้น จำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ของผนัง เพื่อจะสามารถคาดการณ์และทดสอบอัตราการปลดปล่อยตามที่ต้องการได้ สิ่งที่มีผลต่อผนังการแข็งตัวของไมโครแคปซูล ดังนี้

1. Formaldehyde หรือ glutaraldehyde
2. Alum
3. Copper sulfate
4. Tannic acid หรือ gallic acid
5. การลดอุณหภูมิ
6. การใช้รังสี

ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมและคุณภาพของไมโครแคปซูล

การเตรียมไมโครแคปซูลโดยวิธี โคอะเซอร์เวชัน เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ผลิตในรูปแบบที่ออกฤทธิ์ช้า คุณภาพและคุณสมบัติของไมโครแคปซูล ต้องคำนึงถึงปัจจัย ดังนี้

1. อัตราส่วนของสารแกนต่อสารเคลือบ (core: wall) ถ้าอัตราส่วนนี้สูง จะได้ไมโครแคปซูลผนังบาง มีการปลดปล่อยสารเร็ว
2. ขนาดของสารแกน (core size) สารแกนขนาดเล็กจะทำให้เวลาในการปลดปล่อยออกมาสั้นกว่าไมโครแคปซูลที่มีขนาดสารแกนใหญ่

3. พิเศษของการเกิดโคอะเซอร์เวท การปรับพีเอชที่เหมาะสมจะทำให้ได้ค่าร้อยละการผลิตสูงสุด

4. อัตราเร็วในการคนและระยะเวลาที่ผสมในขณะที่เกิดโคอะเซอร์เวท พบว่าการเกิดโคอะเซอร์เวทที่สมบูรณ์ ต้องอาศัยเวลาและอัตราเร็วในการผสมที่เหมาะสมสอดคล้องกัน

5. ความเข้มข้นของสารที่ทำให้ผนังแข็งตัว พบว่าการใช้สารที่ทำให้แข็งตัวในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ผนังแข็งแรงขึ้น อัตราการปลดปล่อยสารแกนช้าลง ระยะเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวก็มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยสารแกนเช่นกัน

6. อุณหภูมิ ขณะเตรียมควรมีอุณหภูมิสูงกว่า gel point ของเจลาติน แต่ขณะทำให้ผนังแข็งตัวควรลดอุณหภูมิต่ำ เพื่อช่วยในการทำให้ผนังแข็งตัวได้

รายงานการศึกษาของ กฤษณา และวิวรรณ (2542) ซึ่งได้ศึกษาการทำไมโครแคปซูลจากน้ำมันจิง โดยใช้เทคนิคการเก็บกักด้วยวิธีโคอะเซอร์เวชันธรรมดา และโคอะเซอร์เวชันเชิงซ้อน พบว่าการทำไมโครแคปซูลด้วยวิธีโคอะเซอร์เวชันธรรมดาด้วยเจลาติน ไมโครแคปซูลที่ได้มีผนังบาง และแตกง่าย ไม่สามารถทำให้อยู่ในรูปไมโครแคปซูลผงแห้งได้ ส่วนการทำไมโครแคปซูลด้วยวิธีโคอะเซอร์เวชันเชิงซ้อน ด้วยเจลาติน และกัมอะราบิก ได้ไมโครแคปซูลที่มีผนังหนาและแข็งแรง นอกจากนี้ Junyaprasert *et al.* (2001) ยังได้ทำการศึกษากระบวนการเก็บกักวิตามินเอปาล์มมิเตทด้วยวิธีโคอะเซอร์เวชันชนิดเชิงซ้อน โดยใช้เจลาตินและกัมอะราบิก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บกักวิตามินเอปาล์มมิเตท ได้แก่ การใช้เจลาตินต่อกัมอะราบิกในอัตราส่วน 1:1 อัตราส่วนของสารละลายต่อวัสดุเก็บกัก เท่ากับ 1:2 และทำการศึกษากระบวนการทำแห้ง โดยเปรียบเทียบการทำแห้งแบบลมร้อน การทำแห้งโดยใช้ลม และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำให้ได้ไมโครแคปซูลที่มีลักษณะทางกายภาพดีกว่าวิธีอื่นๆ