

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปและความสำคัญของใบเตย

เตยหอม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Pandanus amaryllifolius* Roxb. มีชื่อที่เรียกตามภาษาท้องถิ่นว่า ปาเมื่ออริง หวานข้าวใหม่ พั้งลั้ง (น้อยนุชและคณะ, 2545) เตยหอมเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียอาคเนย์ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ขึ้นเป็นกอ ลำต้นสูงประมาณ 2-3 เมตร ชอบขึ้นในที่ชื้นแฉะใกล้น้ำ (วันดี, 2538) ลำต้นเป็นข้อๆ ข้อที่อยู่ใกล้โคนลำต้นจะมีรากงอกออกมา เพื่อค้ำลำต้น ใบจะออกจากลำต้นเรียงเวียนแน่นรอบลำต้น ใบมีสีเขียว ลักษณะใบยาวเรียวยาวคล้ายหอก ปลายใบแหลม ขอบใบเรียบ ผิวใบเป็นมัน เส้นกลางใบเว้าลึกเป็นแอ่ง ถ้าดูด้านท้องใบจะเห็นเป็นรูปคล้ายกระดูกงูเรือ ใบมีกลิ่นหอม ไม่มีดอก ขยายพันธุ์โดยใช้หน่อเล็กๆ (ประวิทย์, 2542)



รูปที่ 2.1 ลักษณะต้นใบเตย (a) ใบเตยอ่อน (b) และใบเตยแก่ (c)

ที่มา: อติสร (2548) และ Katzer (2001)

ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ของเตยหอม ได้แก่ ใบ ต้นและราก ซึ่งใบเตยมีกลิ่นหอมอ่อนๆ คล้ายดอกขจรและดอกชมนาด (น้องนุชและคณะ, 2545)

ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีความนิยมนำเตยหอมมาใช้ในประกอบอาหาร ทำขนมหวาน และใช้ในการแต่งกลิ่น นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ทำยารักษาโรค ซึ่งตามตำรายาแผนโบราณกล่าวว่า ใบเตยหอมมีสรรพคุณในการเป็นยาบำรุงหัวใจช่วยลดการกระหายน้ำ ส่วนรากใช้เป็นยาขับปัสสาวะ และรักษาโรคเบาหวาน (BangkokHealth.com เว็บไซต์ภาพครบวงจร, 2551)

เพ็ญโฉมและคณะ (2530, 2533) พบว่าเตยหอมมีสมบัติในการลดน้ำตาลในเลือดของหนูทดลอง ทั้งในส่วนของ ราก ลำต้นใต้ดิน และใบ ในขณะที่ รัชวรธรรมและวีระนุช (2542, 2543) พบว่าสารสกัดจากใบเตยมีผลในการเพิ่มความแรงและอัตราการเดินของหัวใจ ซึ่งส่งผลต่อความดันเลือดด้วย นอกจากนี้ใบเตยยังมีคุณสมบัติในการทำให้ร่างกายสดชื่น ลดอาการไข้และยังช่วยบรรเทาอาการอาหารไม่ย่อย ท้องอืดท้องเฟ้อ (Cheeptham and Towers, 2002)

นอกจากสรรพคุณทางยาของเตยหอมแล้ว การที่เตยหอมมีลักษณะของกลิ่นหอมเฉพาะตัว จึงทำให้เตยหอมได้รับความนิยมนำกลิ่นที่สกัดได้จากใบเตยไปใช้ประโยชน์ในหลายๆด้าน

วิมลมาศและสุนทรี (2524) ได้ทำการศึกษาวิธีการสกัดสารจากใบเตยเพื่อนำไปใช้เป็นสารปรุงแต่งบุหรี โดยการสกัดใบเตยด้วยตัวทำละลายหลายชนิด ได้แก่ ether, petroleum ether, chloroformpentane และ benzene และวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย thin layer chromatography (TLC) และ gas chromatography (GC) พบว่าตัวทำละลายทุกชนิดมีการตรวจพบสารคล้ายกัน ได้แก่ สาร linalyl acetate, benzyl acetate, linalool และ geraneol ส่วน cumarin และ ethylvanillin ซึ่งเป็นสารที่มีความสำคัญในการปรุงกลิ่นของยาสูบ พบ chromatogram ไม่ชัดเจน แต่เมื่อนำใบเตยมาสกัดด้วย ethyl alcohol และสกัดซ้ำด้วย chloroform และวิเคราะห์ด้วย GC และ TLC พบว่ามีปริมาณน้อยและมองเห็นไม่ชัดเจน

น้องนุชและคณะ (2545) ได้ศึกษาการนำสารที่สกัดจากใบเตยด้วยวิธีการสกัดด้วยไอน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์พร้อมกัน (simultaneous steam distillation and extraction) มาใช้ในการผลิตเจลปรับอากาศ โดยจะพิจารณาที่ปริมาณสาร 2AP ร่วมกับผลทางประสาทสัมผัส ซึ่งส่วนผสมที่เหมาะสมมี 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 คือ 1.5:2:20 (% carrageenan: % propylene glycol: % น้ำหอม) สูตรที่ 2 คือ 2:3:20 (% carrageenan: % propylene glycol: % น้ำหอม) และสูตรที่ 3 คือ 2.5:3:20 (% carrageenan: % propylene glycol: % น้ำหอม) จากนั้นนำเจลปรับอากาศทั้ง 3 สูตร มาเปิดทิ้งไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 22 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 69 % พบว่าหลังจากผ่านไป 4 ชั่วโมง ปริมาณสาร 2AP ลดลงไป 77.90, 56.43 และ 12.29 ตามลำดับ แต่เมื่อทิ้งไว้ 2 วัน พบว่าไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณ 2AP ได้ และเมื่อใช้การทดสอบด้วยการดม

พบว่ายังมีกลิ่นหอมอ่อนๆของใบเตย ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ พบว่าสีของเจล ทั้ง 3 สูตร เพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งาน และในช่วงวันที่ 10 ของการใช้งาน เจลทั้ง 3 สูตรจะมีการสูญเสียรูปทรงและสูญเสียน้ำหนัก 90 % และ 50 % ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าเจลปรับ อากาศที่ผลิตขึ้นยังมีคุณภาพไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้จริง เนื่องจากกลิ่นของเจลลดลงอย่าง รวดเร็วในเวลา 2 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเจลปรับอากาศทางการค้าที่ใช้น้ำหอมสังเคราะห์ซึ่งมีอายุ การใช้งาน 15-20 วัน

Laohakunjit and Kerdchoechuen (2007) ได้ศึกษาการสกัดสารจากใบเตยด้วย supercritical carbon dioxide และนำสารที่สกัดได้มาทำการเคลือบข้าวพันธุ์ที่ไม่มีกลิ่น 3 ชนิด คือ กข 23 สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 90 โดยสารผสมที่นำมาเคลือบข้าวประกอบด้วย แป้งข้าว 5 %, sorbitol 30 % และ สารสกัดใบเตย 25 % ทำการเคลือบโดยใช้ modified spouted bed จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการเคลือบแล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติกที่มีโครงสร้าง 3 ชั้น ประกอบด้วย nylon15, PE20 และLLDPE75 ทำการเก็บที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 6 เดือน ทำการวัดหาปริมาณ สาร 2AP ที่เปลี่ยนแปลง เปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์มีกลิ่นหอม ซึ่งได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ผลการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์ที่ไม่มีกลิ่นและผ่านการเคลือบด้วยสารหอมจะมี ปริมาณสาร 2AP น้อยกว่าข้าวพันธุ์ที่มีกลิ่น และปริมาณสาร 2AP ลดลงตามระยะเวลาในการเก็บ และปริมาณสาร 2AP ที่เหลืออยู่ของข้าวพันธุ์ไม่หอมและผ่านการเคลือบมีปริมาณเหลืออยู่มากกว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

นัยวิท (2543) การศึกษาการสกัดสารสีเขียวจากเตยหอม โดยการศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ตัวทำละลาย อุณหภูมิ และ pH ที่ใช้ในการสกัด พบว่า การสกัดสารสีเขียวจากเตยหอมด้วย เอทานอล 95 % ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) ที่ช่วง pH 7 ถึง 8 สามารถสกัดสารสีเขียวที่มีปริมาณของ คลอโรฟิลล์สูงสุด คือ 3,141.73 mg/L และจากการผลิตผงสีเขียวโดยการทำแห้ง ด้วยเครื่องทำแห้ง แบบพ่นฝอย โดยศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ สารตัวกลาง อุณหภูมิลมร้อนเข้า และค่าแรงดันหัวฉีด พบว่า สภาวะที่ใช้กัมอาราบิกเป็นสารเจือปน อุณหภูมิลมร้อนเข้า 200 °C และ ค่าแรงดันหัวฉีด 1.0 bar สามารถผลิตผงสีเขียวที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด 101.10 mg/L ปริมาณของแข็งที่ละลายใน น้ำทั้งหมด 1.0 % ค่า pH 4.47 ค่าการละลาย 0.064 ค่าการดูดความชื้น 1.047 % การเปลี่ยนแปลง ค่า pH 0.64 และปริมาณความชื้น 4.36 % และเมื่อนำสีเขียวที่ได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับ การใช้สารละลายสีเขียว เข้มข้น ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ผงสีเขียวที่เติมกัมอาราบิกสูง ที่สุด

Nor *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบเตยสามารถนำมาใช้ในการเป็น สารต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidative properties) ป้องกันการเหม็นหืนของน้ำมันปาล์ม คือ นำ

ใบเตยมาสกัดด้วย ethanol ด้วยอัตราส่วน 1:10 ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเติมในน้ำมันปาล์ม (ที่ 0.1 %, 0.2 %, 0.3 % และ 0.4 %) ทำการให้ความร้อนน้ำมันที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 0, 8, 16, 24 และ 32 ชั่วโมง จากนั้นนำมาตรวจหา antioxidant activity ในรูปของ DPPH radicals ผลการทดลองพบว่า การเติมสารสกัดจากใบเตยที่ 0.2 % สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเหม็นหืนได้ดีที่สุด และการที่สารสกัดใบเตยสามารถยับยั้งการเกิดการเหม็นหืนก็เนื่องจากในสารสกัดใบเตยมีสาร polyphenol อยู่ประมาณ 102 mg/g ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระได้

2.2 การตรวจพบสารประกอบในใบเตยและสารหอมที่ให้กลิ่นหลัก

ใบเตยจะประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย และมีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งในน้ำมันหอมระเหยประกอบไปด้วยสารหลายชนิด เช่น ไลนาลิลอะซิเตท (linalyl acetate) เบนซิลอะซิเตท (benzyl acetate) ไลนาโลอล (linalool) และเจอราเนียมอล (geraniol) และสารที่ทำให้มีกลิ่นหอม คือ คูมาริน (coumarin) และเอทิลวานิลลิน (ethyl vanillin) (BangkokHealth.com เว็บไซต์สุขภาพครบวงจร, 2551)

สารหอมที่ให้กลิ่นในใบเตยมีหลายชนิด สำหรับสารหอมที่พบเป็นปริมาณหลักในใบเตยสดคือสาร 3-methyl-2(5H)-furanone ซึ่งจะเป็นสารที่ให้กลิ่นในลักษณะกลิ่นจุน หวาน และกลิ่นคล้ายยา และยังพบสารที่ให้กลิ่นเหม็นเขียว เช่น 3-hexanol, 4-methylpentanol, 3-hexanone และ 2-hexanone ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ส่วนสาร 2-acetyl-1-pyrroline จะพบมากขึ้นในใบเตยที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนพร้อมกับมีกลิ่นใบพีช ต้มหรือกลิ่นใบชาสุบ สำหรับสารที่มีกลิ่นคล้ายใบชาสุบ คือ β -damascenone, 4-hydroxy-3-pentanoic acid lactone และ trimethylcyclohexanedione (แวนดา, 2547)

Lee *et al.* (2004) พบว่าในใบเตยจะประกอบไปด้วยน้ำมัน essential oil, carotenoids, tocopherols และ tocotrienols และยังพบว่าใบเตยมีสารประกอบพวก quercetin (Miean and Mohamed, 2004) สารประกอบพวก alkaloids (Busquercetin *et al.*, 2002) ซึ่ง Salim *et al.* (2004) ได้ตรวจพบสารประกอบ alkaloids ชนิดใหม่ในใบเตย ถึง 2 ชนิด ในขณะที่อีก 5 ชนิดเป็นสารประกอบ alkaloids ที่เป็นที่ยูจกอยู่แล้ว ซึ่งสารประกอบ alkaloid ชนิดใหม่ที่พบ มีหมู่ alpha-methyl alpha,beta-unsaturated gamma-lactone moieties 2 หมู่ โดยที่สารประกอบ alkaloids บางองค์ประกอบจะพบว่ามี seven-membered ring

Zainuddin (2001) พบว่าในใบเตยมีสารประกอบพวก fatty acids และ ester ในขณะที่ Ooi *et al.* (2006) ตรวจพบสาร non-specific lipid transfer proteins ในใบเตย นอกจากนั้นยัง

มีการตรวจพบสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมหลักในใบเตย และยังเป็นสารชนิดเดียวกับที่ให้กลิ่นหอมในข้าวขาวดอกมะลิ 105 (น้องนุชและคณะ, 2545) จึงทำให้มีหลายงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าหาสารประกอบที่ให้กลิ่นในใบเตย

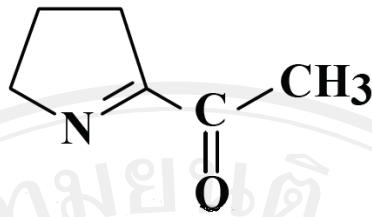
Jiang (1999) ได้ศึกษาสารประกอบที่ให้กลิ่นในใบเตย พบว่าในใบเตยมีสารประกอบให้กลิ่นหลายชนิดโดยเฉพาะสาร 3-methyl-2(5H)-furanone ซึ่งให้กลิ่นในลักษณะฉุน, หวาน และคล้ายยา ซึ่งเป็นสารหอมที่พบเป็นปริมาณหลักโดยคิดเป็น 73% ของสารระเหยที่วิเคราะห์ได้ และยังพบสารให้กลิ่นเหม็นเขียวซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 6 อะตอมได้แก่ 3-hexanol, 4-methylpentanol, 3-hexanone และ 2-hexanone นอกจากนี้ยังพบสารพวก alcohol, carboxylic acid, ester, hydrocarbon และ furanone

Byrne *et al.* (1992) ได้ศึกษาสารที่ได้จากการสกัดใบเตย ศึกษาโดยใช้เทคนิค X-ray diffraction ซึ่งตรวจพบสารประกอบประเภทอัลคาลอยด์ คือ (+/-)-Pandamarine นอกจากนี้ Nonato *et al.* (1993) ยังศึกษาสารจากใบเตยที่แยกด้วยวิธีการโครมาโตกราฟี ตรวจพบสาร piperidine alkaloids 3 ชนิด ซึ่งก็คือ pandamarilactone-1, pandamarilactone-31 และ pandamarilactone-32 และเมื่อนำสารเหล่านี้ไปศึกษาลักษณะทางด้านโครงสร้าง ด้วยเทคนิค Inverse-detected 2D NMR พบว่าลักษณะโครงสร้างจะประกอบด้วย α,β -unsaturated five-membered ring และ enol ester

แววตา (2547) ทำการศึกษา พบว่าใบเตยมีสารระเหยหลายชนิดเช่น 2-pentyn-1-ol, methional, 2AP, 3-methyl-2(5H)-furanone, N-methylpyrrole, 1,5-pentanediol, 4-ethylbenzaldehyde, 3-ethyl-4-methyl-(1H)-pyrrole-2,5-dione, beta-damascenone, 2-ethyl-5-methylfuran, 4,5,6,7,8,9-hexahydrocyclooctafuran-1-(3H)-one และ 2-pentyl-2-cyclohexen-1-one

2.3 สมบัติทั่วไปและการตรวจพบสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)

สาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) มีโครงสร้างและลักษณะเป็นสารประกอบในกลุ่ม pyrrole ซึ่งจะมีความยาว 5 เหลี่ยมที่มีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในวง มีพันธะระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนเป็นพันธะคู่ (C=N) และมีหมู่ acetyl เกาะกับคาร์บอนที่เกิดพันธะคู่ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2. 2 โครงสร้างสาร 2-acetyl-1-pyrroline

ที่มา: ทินกร (2548)

สาร 2AP มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี และมีสมบัติเป็นด่างเล็กน้อย เนื่องจากเป็นสารประกอบไนโตรเจน และเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือน้ำตาลเข้ม นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ระเหยง่าย และไม่ค่อยเสถียรเมื่ออยู่ในรูปของสารบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงต้องเก็บในรูปของสารละลายเจือจางหรือในรูปของเกลือ สาร 2AP มีสูตรโมเลกุล คือ C_6H_9NO มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 111.143 (ทินกร, 2548) ซึ่งสารดังกล่าวจะปรากฏอยู่ในพันธุ์ข้าวหอมและไม่หอม โดยพบในข้าวไม่หอมในปริมาณที่น้อยกว่าข้าวหอม ต่อมามีการตรวจพบที่สาร 2AP เป็นสารหอมที่ให้กลิ่นหลักของใบเตยที่สกัดได้จากใบเตยที่ทำแห้งแบบ freeze-dried ด้วยชุดสกัดไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์แบบต่อเนื่อง (simultaneous steam distillation/ solvent extraction apparatus) (Buttery *et al.*, 1983) โดยสารดังกล่าวในใบเตยมีความเข้มข้นมากกว่าในข้าวหอมถึง 10 เท่าและมีความเข้มข้นมากกว่าในข้าวไม่หอมถึง 100 เท่า นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยที่มีการตรวจพบสาร 2AP ในผลิตภัณฑ์อื่นๆด้วย

Buttery *et al.* (1994) ได้ศึกษาสารระเหยจากผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวาน เช่น ข้าวโพดหวานสด ข้าวโพดหวานแช่แข็ง และข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง พบว่าสารประกอบที่ให้กลิ่นที่สำคัญในผลิตภัณฑ์เหล่านี้ คือ สาร 2AP ซึ่งเป็นสารประกอบหลัก นอกจากนี้ยังตรวจพบสาร 2-acetyl-2-thiazoline อีกด้วย โดยในข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องพบว่าจะมีปริมาณสาร 2AP ในปริมาณสูงกว่าผลิตภัณฑ์ตัวอื่น ซึ่งคาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากการให้ความร้อนในกระบวนการ sterilize ซึ่งอาจทำให้เกิดสาร 2AP เพิ่มขึ้น ซึ่งก็ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Schieberle (1991) ที่ตรวจพบสาร 2AP ในข้าวโพดที่ผ่านการคั่วด้วยความร้อน

Schieberle and Grosch (1985, 1987) ได้ตรวจพบว่า สาร 2AP เป็นสารประกอบหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมหวานในผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีและขนมปังจากแป้งข้าวไรน์ ซึ่งกลิ่นดังกล่าวจะหอมมากหลังจากการอบขนมปังใหม่ๆ ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rychlik and Grosch (1996) ที่ตรวจพบสาร 2AP ในผลิตภัณฑ์ขนมปังอบซึ่งทำมาจากแป้งข้าวสาลี

Gasser and Grosch (1988) ได้ศึกษาสารระเหยในเนื้อวุ้นที่ผ่านกระบวนการหุงต้ม ซึ่งตรวจพบว่ามีสารประกอบ 2AP ด้วย

และยังพบว่าสาร 2AP เป็นสารประกอบที่ให้กลิ่นหลักในกระบวนการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะในกระบวนการทำอาหารให้สุกด้วยความร้อน เช่น ใน Baguette crusts (Zehentbauer and Grosch, 1998) กุ้งนางสายพันธุ์ *Procambarus clarkii* (Cadwallader and Baek, 1998) มันฝรั่งต้ม (Mutti and Grosch, 1999) เมล็ดมะม่วงหิมพานต์อบ สายพันธุ์ *Irvingia gabonensis* (Tairu *et al.*, 2000) ไข่กรอกกระเทียมสไลด์อิตาลีและแฮมที่ผ่านความร้อน (Blank *et al.*, 2001) และกุ้งก้ามกราม (*Homarus americanus*) (Lee *et al.*, 2001) เป็นต้น

สุกัญญา (2540) ได้รายงานการสกัดดอกชมนาด 50 g โดยใช้วิธีการสกัดด้วยไอน้ำ นำสารสกัดที่ได้มาสกัดต่อด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ 1-ไดคลอโรมีเทน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่ามีสาร 2AP เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดที่ได้

กรรณานุชและคณะ (2541) ได้ศึกษาสาร 2AP ในมะพร้าว พบว่ามีการตรวจพบสาร 2AP ทั้งในส่วนของเนื้อมะพร้าวและน้ำมะพร้าวด้วย

นอกจากนั้นยังพบว่า สาร 2AP สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ โดยเวเวตา (2547) ได้สรุปว่า สาร 2AP สามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ คือ สามารถเกิดขึ้นในอาหารที่ได้รับความร้อน โดยเกิดจากปฏิกิริยา Maillard reaction ผ่านทางปฏิกิริยา Strecker degradation โดยมีโพรสลินหรือออร์นิตินเป็นสารตั้งต้น เกิดจากการสังเคราะห์ โดยใช้สารละลาย 2-acetylpyrrole ในเมธานอลเป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยา hydrogenation โดยมี rhodium on alumina เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเกิดจากสังเคราะห์ตามธรรมชาติโดยการทำงานของจุลินทรีย์

การเกิดสาร 2AP โดยผ่านทางปฏิกิริยา Strecker degradation ซึ่งมีโพรสลินหรือออร์นิตินเป็นสารตั้งต้นนั้น เริ่มจากหมู่เอมิโนของโพรสลินทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของ 2-oxopropanal เกิดการสูญเสียน้ำจากโมเลกุล ตามด้วยการเกิด decarboxylation และการเติมน้ำเข้าตามลำดับ การเติมน้ำเข้าสามารถเกิดได้ 2 แนวทางคือ แนวทางแรกได้ 2-acetyltetrahydropyridine และอีกแนวทางจะได้ 1-pyrroline และ hydroxy-2-propanone ซึ่งสาร 1-pyrroline จะทำปฏิกิริยากับ 2-oxopropanal เกิดการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลได้เป็น 2-(1,2-dioxo-1-propyl)-pyrroline ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดส์เป็นอนุพันธ์ pyrroline แล้วจัดเรียงตัวใหม่ไปเป็น 2-acetyl-2-pyrrolidinic acid จากนั้นเกิด decarboxylation ได้ 2-acetylpyrrolidine ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดส์กับออกซิเจนในอากาศได้เป็นสาร 2AP

นอกจากนั้นยังพบว่า สาร 2AP สามารถเกิดจากการสังเคราะห์ตามธรรมชาติโดยการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก โดยพบในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์โคโก้

เนื่องจากการทำงานของ *Bacillus cereus* และในไวน์จากการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่ม lactic acid bacteria เช่น *Lactobacillus hilgardii*, *Lactobacillus brevis* และ *Lactobacillus plantarum*

2.4 การสกัดสารหอมระเหย

สำหรับวิธีการสกัดสารให้กลิ่นนั้น จะเห็นได้ว่าแหล่งของสารให้กลิ่นไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ พบว่ามีองค์ประกอบค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นจึงไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่ใช้ในการสกัดได้ดีที่สุด เนื่องจากในแต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน แต่ข้อสำคัญวิธีที่จะใช้จะต้องสามารถแสดงกลิ่นที่มีอยู่จริงในวัตถุของสารที่ให้กลิ่นนั้นๆ วิธีการในการแยกสารให้กลิ่นมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การบีบอัด (pressing) การกลั่น (distillation) การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction) การกลั่นและสกัดด้วยตัวทำละลายต่อเนื่อง (simultaneous steam distillation and extraction, SDE) การสกัดโดยใช้ไขมันสัตว์ (extraction by animal fat) และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต (supercritical carbondioxide fluid extraction) (น้องนุช และคณะ, 2545; จุไรรัตน์, 2545; ศิริพันธ์, 2544; สถาพร, 2547)

2.4.1 การบีบอัด (Pressing)

การบีบอัด เป็นวิธีการที่สามารถแยกสารหอมจากพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยอยู่บริเวณเปลือก เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม ได้แก่ ส้ม มะนาว และมะกรูด ซึ่งวิธีที่จะบีบคั้นเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาจากเปลือกพืชตระกูลส้มทำได้ 3 วิธี คือ Sponge process, Ecuelle method และ Machine process (น้องนุชและคณะ, 2545)

Sponge process เป็นวิธีการง่าย ๆ จะใช้เครื่องมือที่ประกอบด้วยไม้ 2 แผ่น มีบานพับติดอยู่ด้านหนึ่ง ด้านตรงข้ามมีด้านสำหรับกดยกขึ้นลง บริเวณตรงกลางของไม้จะบุด้วยฟองน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่จะนำผลไม้ที่ต้องการบีบอัดมาวางจากนั้นใช้แรงกด น้ำมันจะถูกบีบออกจากเปลือกและฟองน้ำจะดูดซับไว้ เมื่อได้น้ำมันมากพอน้ำมันจะไหลออกมาสู่ภาชนะรองรับ น้ำมันที่ได้จะต้องตั้งทิ้งไว้เพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำของผลไม้ จากนั้นต้องไปผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ต่อไป

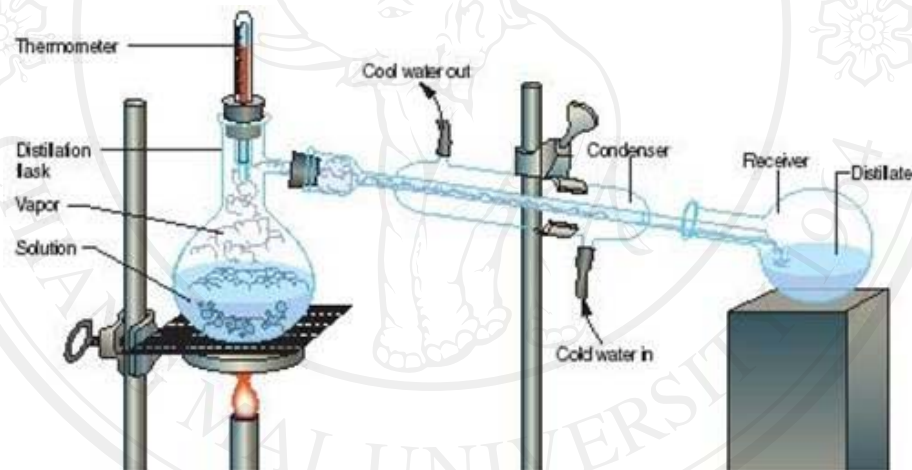
Ecuelle method ใช้ถังกลมที่มีเข็มเล็กๆอยู่บริเวณด้านในของถัง วิธีนี้จะนำผลไม้มาใส่ในถังแล้วหมุนให้รอบ เพื่อให้เข็มที่แทงเซลล์ค่อมน้ำมันของผลไม้ที่กลิ้งอยู่ในถัง น้ำมันจะซึมออกมาทางช่องที่จัดไว้ วิธีการนี้จะได้ปริมาณน้ำมันน้อยกว่าวิธีการบีบอัด

Machine process คือจะใช้เครื่องมือที่มีกำลังสูงเพื่อคั้นทิ้งลูก จะได้ทั้งน้ำผลไม้และน้ำมันออกมา จากนั้นกรองน้ำมันที่ได้แล้วนำไปกลั่นภายใต้สุญญากาศ จะได้น้ำมันที่บริสุทธิ์

2.4.2 การกลั่น (Distillation)

การกลั่น เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการสกัดน้ำมันหอมระเหย หลักการของการกลั่น คือ ใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำเข้าไปแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากพืช โดยการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช ความร้อนจะทำให้สารละลายออกมากลายเป็นไอปนมากับน้ำร้อนหรือไอน้ำ อย่างไรก็ตาม การกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดีนั้น ต้องอาศัยเทคนิคและขบวนการทางเคมีและกายภาพหลายอย่างประกอบกัน โดยทั่วไปเทคนิคการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้กันอยู่มี 3 วิธี ได้แก่

การกลั่นด้วยน้ำ (Water distillation or Hydro-distillation) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย การกลั่นโดยวิธีนี้ ตัวอย่างจะจุ่มในน้ำเดือดทั้งหมด อาจพบใช้กับพืชชนิดบางเบา การกลั่นน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีนี้ใช้กับของที่คิดกันง่ายๆ เช่น ใบไม้บางๆ กลีบดอกไม้ อ่อนๆ สำหรับการเลือกใช้วิธีการกลั่นนี้ต้องดูชนิดของพืชที่จะนำมากลั่นด้วย (จุไรรัตน์, 2545)



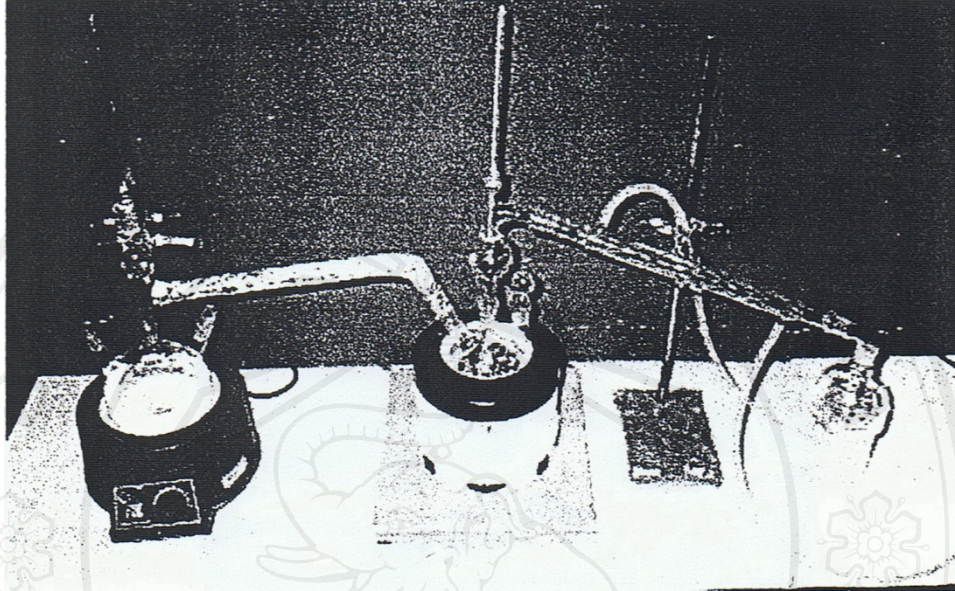
รูปที่ 2. 3 การกลั่นด้วยน้ำ

ที่มา: ชฎาภรณ์และคณะ (2550)

การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation) การกลั่นโดยวิธีนี้ตัวอย่างจะจุ่มในน้ำเดือดและมีการเพิ่มการผลิตไอน้ำเพื่อให้ไอน้ำผ่านตัวอย่าง เป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุด ให้คุณภาพของน้ำมันออกมาดีกว่าการกลั่นด้วยน้ำ การกลั่นแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยทางการค้า (จุไรรัตน์, 2545)

การกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) วิธีนี้ วางตัวอย่างที่จะกลั่นบนตะแกรงในหม้อกลั่น ซึ่งไม่มีน้ำอยู่ ไอน้ำจะถูกผลิตจากภายนอกและถูกส่งไปตามท่อให้สัมผัสกับตัวอย่างบนตะแกรง ไอน้ำต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะช่วยให้น้ำมันแพร่ระเหยออกจากตัวอย่าง ข้อดีของการ

กลั่นวิธีนี้ คือ สามารถทำการกลั่นได้อย่างรวดเร็ว และได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าด้วย (จุไรรัตน์, 2545)



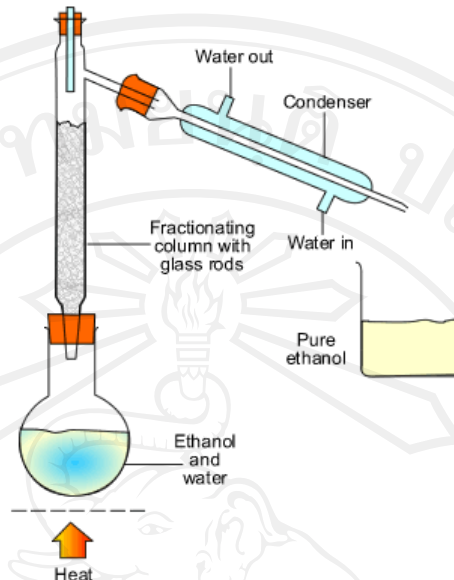
รูปที่ 2. 4 การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ
ที่มา: นื่องนุชและคณะ (2545)



รูปที่ 2. 5 การกลั่นด้วยไอน้ำ
ที่มา: Stadler (2009)

การกลั่นลำดับส่วนเป็นการแยกตัวถูกละลายและตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่างกันเล็กน้อย (น้อยกว่า 80 °C) ในหอกกลั่น ซึ่งหอกกลั่นนี้จะทำหน้าที่ให้สารระเหยออกมาได้ช้าลง โดยหอกกลั่นยิ่ง

มีความสูงเพิ่มขึ้น สารที่ออกมาจะมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นด้วย แต่ก็ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นด้วย (เอกคณัย, 2550)



รูปที่ 2.6 การกลั่นลำดับส่วน

ที่มา: ชฎาภรณ์และคณะ (2550)

วิธีการกลั่นเป็นวิธีที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชชนิดต่างๆ เช่น การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ พ니다และคณะ (2545) ได้รายงานการสกัดน้ำมันหอมระเหยจาก ใบผลและราก ของตะไคร้ต้น (*Litsea cubeba* Pers.) ด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ พบว่าเป็นวิธีการที่มีความเหมาะสมในการสกัดน้ำมันหอมระเหย และสามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผลคิดเป็น 9.3 % ของน้ำหนักผลสด จากใบ และราก คิดเป็น 2.8 และ 0.5 % ของน้ำหนักสด ตามลำดับ

Szarka *et al.* (2006) ได้ศึกษาสกัดสารจากส่วนของดอก ใบ และราก ของ *Tagetes patula* L. ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่า ส่วนของดอกสกัดได้สาร β -caryophyllene (53.5 %) ส่วนของใบสกัดได้สาร terpinolene (21.1 %) ส่วนของรากพบว่ามีสาร 5-(3-buten-1-ynyl)-2,2'-bithienyl (BBT) 28.5 % และ 44.0 % ในส่วนของรากฝอย (hairy roots) และรากแก้ว (intact roots) ตามลำดับ

Wang *et al.* (2009) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากใบจีนนามอล ทั้งหมด 5 สายพันธุ์ ด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำ (hydrodistillation) พบว่ามีการตรวจพบสารหอมระเหย 20 กว่าชนิด พบว่า มีสาร trans-cinnamaldehyde, 3-methoxy-1,2-propanediol เป็นสารหอมหลักที่พบในสายพันธุ์ *Cinnamomum cassia* ในขณะที่ในสายพันธุ์ *Cinnamomum zeylanicum* and, *Cinnamomum pauciflorum* และ *Cinnamomum burmannii* มีสาร eugenol เป็นสารหอม

หลัก ส่วนสาร 5-(-2-propenyl)-1,3-benzodioxole เป็นสารหอมหลักที่พบในสายพันธุ์ *Cinnamomum tamala*

Khajeh *et al.* (2009) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจาก *Nepeta persica* ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่า มีการตรวจพบสารหอม กว่า 20 ชนิด ซึ่งสารหอมที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ 4 α , β ,7 α ,7 α -nepetalactone (26.5 %), cis- β -farnesene (4.4 %) และ 3,4 α -dihydro4 α ,7 α , 7 α -nepetalactone (3.5 %)

2.4.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย จะใช้หลักความสามารถของการละลายในตัวทำละลายของสารระเหย ถ้าต้องการศึกษาสารระเหยทั้งหมดก็ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายที่จำเพาะ แต่ถ้าต้องการศึกษาสารระเหยประเภทใดประเภทหนึ่ง จะต้องเลือกตัวทำละลายที่สามารถแยกสารดังกล่าวได้ดีและไม่ละลายสารอื่นออกมา ตัวทำละลายที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ diethyl ether, diethyl ether/pentane mixture, hydrocarbons, freons และ methylene chloride ซึ่ง freons และ methylene chloride จะมีข้อดี คือ ไม่ติดไฟ สำหรับการสกัดสามารถแบ่งออกตามชนิดวัตถุได้เป็น 2 แบบ คือการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (liquid-liquid extraction) และการสกัดของแข็งด้วยของเหลว (solid-liquid extraction)

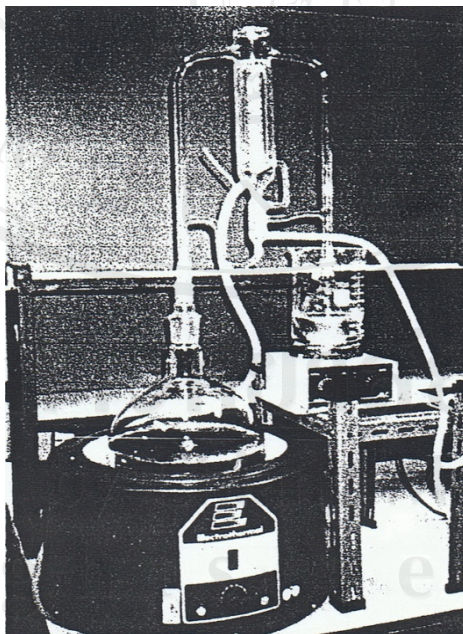
การสกัดของเหลวด้วยของเหลว อาศัยหลักการใช้ตัวทำละลายของเหลวชนิดหนึ่งสกัดตัวถูกละลายออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่ง มีด้วยกัน 2 วิธีคือ การสกัดแบบกะ และการสกัดอย่างต่อเนื่อง ส่วนการสกัดของแข็งด้วยของเหลว อาศัยหลักการใช้ตัวทำละลายสกัดตัวถูกละลายออกจากของแข็ง การสกัดวิธีนี้นั้นขึ้นอยู่กับการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายและเวลาที่ใช้ในการสกัด เวลาที่ใช้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวถูกละลายที่อยู่ในตัวอย่างของแข็ง ถ้าตัวถูกละลายเพียงดูดซับที่ผิวของแข็งการสกัดก็จะใช้เวลาสั้น แต่ถ้าตัวถูกละลายอยู่ในโครงร่างผลึกของแข็งก็ต้องใช้เวลามากกว่า (น้องนุชและคณะ, 2545)

Jiang (1999) รายงานการสกัดใบเตยด้วยวิธีการสกัดของเหลวด้วยของเหลว โดยใช้ dichlorometane เป็นตัวทำละลาย พบว่าสามารถสกัดสารประกอบได้ถึง 22 ชนิด ประกอบไปด้วย alcohol 9 ชนิด, carboxylic acid 4 ชนิด, ester 2 ชนิด, hydrocarbon 3 ชนิด และ furanone 1 ชนิด ซึ่งสารองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุด คือสาร 2-methyl-2(5H)-furanone พบว่ามีมากถึง 73 % ของสารองค์ประกอบทั้งหมด สำหรับสาร 2-methyl-2(5H)-furanone พบว่าเป็นสารที่ให้กลิ่น caramel sweet, honey และ bit medicinal notes แม้สารนี้จะไม่ให้กลิ่นเหมือนใบเตย แต่เป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมองค์ประกอบกลิ่นในใบเตย

Tungsakul *et al.* (2007) ได้ศึกษาการสกัดสารให้กลิ่นรส (oleoresin) จากหอมหัวใหญ่ โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลและเฮกเซนที่อัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 พบว่าสามารถสกัดสารหอมระเหยมากกว่า 15 ชนิด แต่สารประกอบหลักที่พบคือ 2,4-dimethylthiophene (10.45 %), dimethyl sulfide (17.17 %), dipropyl disulfide (4.03 %) และ dimethyl trisulfide (7.33 %) การสกัดที่อัตราส่วน 75:25, 50:50 และ 25:75 ให้ปริมาณสารที่สกัดได้ 30.6, 23.0 และ 14.0 ตามลำดับ การสกัดด้วยเฮกเซน (0:100) ให้ปริมาณสารที่สกัดได้น้อยที่สุด คือ 3.0 % ส่วนการสกัดด้วยเอทานอล (100:0) ให้ปริมาณสารที่สกัดได้มากที่สุด

2.4.4 การสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ในเวลาเดียวกัน (Simultaneous steam distillation and extraction, SDE)

การสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ในเวลาเดียวกันได้ค้นพบจาก Likens-Nickerson (1964) ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ในการสกัดกลิ่นรส และต้องใช้เครื่องแก้วชุดสกัดที่ออกแบบพิเศษ ซึ่งใช้หลักการของการกลั่นด้วยไอน้ำของตัวอย่างพร้อมกับการสกัดด้วยไอของตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น methylene chloride หรือ diethyl ether และระบบการสกัดสามารถทำภายใต้การลดความดันเพื่อป้องกันการสูญเสียกลิ่นจากความร้อน สำหรับข้อดีของวิธีการนี้คือได้สารประกอบที่ให้กลิ่นในระดับสูงและใช้ตัวทำละลายปริมาณน้อย แต่มีข้อเสียคือต้องการเครื่องแก้วชุดสกัดที่เฉพาะซึ่งราคาค่อนข้างแพง (น้องนุชและคณะ, 2545)



รูปที่ 2. 7 การสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ในเวลาเดียวกัน

ที่มา: น้องนุชและคณะ (2545)

Laksanalamai and Ilangantileke (1993) ทำการเปรียบเทียบการสกัดสารหอมระเหยจากใบเตย ข้าวพันธุ์หอม (Khao Dawk Mali-105) ที่เก็บไว้ไม่นานและเก็บไว้นาน และข้าวพันธุ์ไม่หอม ด้วยวิธีการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ในเวลาเดียวกัน พบว่าองค์ประกอบสารหอมระเหยที่พบในใบเตยมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับสาร 2AP และเป็นองค์ประกอบที่พบในข้าวพันธุ์หอมทั้งที่เก็บไว้ไม่นานและที่เก็บไว้นาน แต่ในข้าวที่เก็บไว้นานจะพบในปริมาณที่น้อยกว่า ส่วนในข้าวพันธุ์ไม่หอมตรวจไม่พบสารองค์ประกอบที่คล้ายสาร 2AP

Ferhat *et al.* (2007) ได้ทำการสกัดสารหอมจาก *Zygophyllum album* L. ด้วยวิธีการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ในเวลาเดียวกัน พบว่าสารหอมที่สกัดได้ประกอบด้วย monoterpenes hydrocarbons (0.2 %, 2 องค์ประกอบ), oxygenated monoterpenes (10.3 %, 22 องค์ประกอบ), sesquiterpenes hydrocarbons (2.8 %, 6 องค์ประกอบ), oxygenated sesquiterpenes (2.1 %, 12 องค์ประกอบ), alkanes and alkynes (3.2 %, 13 องค์ประกอบ), และสารประกอบอื่นๆ (74.2 %, 56 องค์ประกอบ) และยังพบอีกว่าหากมีการนำเอาไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ร่วมด้วยจะทำให้ใช้เวลาและปริมาณสารที่ใช้เป็นตัวทำละลายลดลง ในขณะที่ปริมาณสารหอมที่สกัดได้ไม่แตกต่างกัน

Singhornart *et al.* (2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืช 5 ชนิด คือ กะเพราแดง ขมิ้นชัน แมงลัก มะกรูด และโหระพา โดยใช้วิธีการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ในเวลาเดียวกัน พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชทั้ง 5 ชนิด มีค่า refractive index เท่ากับ 1.52, 1.51, 1.48, 1.51 และ 1.47 ตามลำดับ สำหรับมะกรูดจะให้ปริมาณสารสกัดมากที่สุด (0.45 %) รองลงมาคือ ขมิ้นชัน กะเพราแดง โหระพา และแมงลัก (0.36, 0.09, 0.05 และ 0.04 % ตามลำดับ)

2.4.5 การสกัดโดยใช้ไขมันสัตว์ (Extraction by animal fat)

การสกัดโดยใช้ไขมันสัตว์ การสกัดโดยวิธีนี้เป็นวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม มักใช้กับดอกไม้กลีบบาง เช่น มะลิ ซ่อนกลิ่น โดยใช้ไขมันประเภทน้ำมันหมูเกลี่ยลงบนถาดไม้ แล้วนำดอกไม้มาเกลี่ยทับเป็นชั้นบาง ๑จนเต็มถาด ตั้งทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วเปลี่ยนดอกไม้ชุดใหม่ ทำซ้ำประมาณ 7-10 ครั้ง ไขมันก็จะดูดซับสารหอมไว้ หลังจากนั้น ละลายสารหอมออกจากไขมันโดยใช้เอทานอล แล้วนำไปประเหยเอทานอลออก ก็จะได้น้ำมันหอมระเหยออกมา วิธีนี้จะใช้เวลานานเพราะต้องแช่พืชไว้ในน้ำมันหลายวัน ซึ่งน้ำมันจะช่วยดูดเอากลิ่นหอมของน้ำมันหอมระเหยออกมา (จุไรรัตน์, 2545; สถาพร, 2547)

2.4.6 การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต (Supercritical carbon dioxide fluid extraction, SFE)

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต โดยปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกทำให้เป็นของเหลวที่ความดันสูงเป็นวิธีที่ปัจจุบันนิยมใช้มากเพราะจะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นดี มีความบริสุทธิ์สูง แต่วิธีนี้จะมีต้นทุนการผลิตที่สูง (จุไรรัตน์, 2545)



รูปที่ 2.8 การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต

ที่มา: Eshtiaghi (2009)

Khajeh *et al.* (2009) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหย ด้วยวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต ใน *Nepeta persica* พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ที่สภาวะความดัน 20.3 MPa อุณหภูมิ 45 °C ที่เวลา 50 นาที สามารถสกัดสาร 4 α , β , 7 α , 7 α -nepetalactone ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักออกมาได้มากที่สุด ปริมาณสารที่ได้จากการสกัดคือ 0.22-8.90 % ซึ่งสกัดได้มากกว่าการสกัดวิธีทั่วไปคือการกลั่นด้วยไอน้ำ (ปริมาณสารที่สกัดได้ คือ 0.08 %)

Bhattacharjee *et al.* (2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสกัดใบเตยด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (3:1, chloroform:methanol) การสกัดโดยใช้ Likens-Nickerson apparatus และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤต พบว่าการสกัดด้วยวิธี SFE ที่สภาวะความดัน 450 bar อุณหภูมิ 60 °C อัตราการไหลของ CO₂ ที่ 0.1 L/min เป็นเวลา 30 นาที จะสามารถสกัดสาร 2AP

ออกมาได้มากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายและการสกัดโดยใช้ Likens-Nickerson apparatus ซึ่งสามารถสกัดได้ 7.163 mg of 2AP/ kg of pandan leaves

Laohakunjit and Noomhorm (2004) ศึกษาเปรียบเทียบการสกัดใบเตยด้วยวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว SDE และ ethanol extraction พบว่าวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว มีปริมาณสาร 2AP และ 3-methyl-2(5H)-furanone ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงกว่าวิธีการอื่น และการใช้สภาวะในการสกัดที่แตกต่างกันปริมาณสารที่ได้ก็แตกต่างกันด้วย และยังพบสารองค์ประกอบอื่นๆ อีก 14 ชนิด สำหรับสภาวะในการสกัดที่ดีที่สุดคือ ที่ความดัน 200 bar อุณหภูมิ 50 °C เวลาในการสกัด 20 นาที

สุวิมล (2526) ได้ทำการศึกษาการสกัดสารหอมจากใบเตยโดยศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารที่ได้จากการสกัดใบเตยสดและใบเตยที่ทำแห้งด้วยวิธีการตากในที่ร่มและตากแดด พบว่าใบเตยสดให้ปริมาณสารที่สกัดได้มากกว่าใบเตยแห้ง คือนำสารสกัดที่ได้มาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV spectrophotometre ที่ความยาวคลื่น 220 nm พบว่าสารสกัดจากใบเตยสดมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.61-0.74 ซึ่งมากกว่าค่าการดูดกลืนแสงของใบเตยที่ทำแห้งด้วยวิธีการตากในที่ร่มและตากแดด ซึ่งอยู่ในช่วง 0.49-0.55 และ 0.55-0.68 ตามลำดับ จากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการในการสกัด โดยเลือกใบเตยสดมาใช้ในการศึกษา ซึ่งวิธีการสกัดที่ทำการศึกษาคือ การสกัดโดยการต้มกลั่น, สกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ, สกัดโดยตัวทำละลายต่างๆ, สกัดโดยใช้สารละลาย surfactant, สกัดโดยใช้ไขมันสัตว์, สกัดโดยใช้ไนโตรเจนเหลว, สกัดโดยใช้ activated carbon และสกัดโดยใช้ porapak Q พบว่าการสกัดด้วยการต้มกลั่น และสกัดด้วยการกลั่นด้วยไอน้ำซึ่งมีการใช้ความร้อน สารสกัดที่ได้มีกลิ่นหอมแรง แต่กลิ่นไม่เหมือนใบเตยธรรมชาติ การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายซึ่งไม่มีการใช้ความร้อนจะให้กลิ่นที่เหมือนธรรมชาติมากกว่า การสกัดโดยใช้สารละลาย surfactant จะให้กลิ่นที่ไม่หอมและไม่เหมือนธรรมชาติ การสกัดโดยใช้ไขมันสัตว์กลิ่นที่ได้มีลักษณะเหมือนกลิ่นใบเตยแต่มีกลิ่นไม่คงทน การสกัดโดยใช้ไนโตรเจนเหลว สารที่ได้ออกมามีเพียงกลิ่นอ่อนๆ ส่วนการสกัดโดยใช้ activate carbon และสกัดโดยใช้ porapak Q พบว่าการสกัดไม่ได้ผล ได้สารออกมาน้อยและระเหยเร็วมาก

จากวิธีการสกัดสารหอมในวิธีการต่างๆดังกล่าวข้างต้น ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้การสกัดโดยวิธีการกลั่น เนื่องจากสารที่สกัดได้จะมีการนำไปใช้กับอาหารคือนำไปใช้ในการเคลือบข้าว ซึ่งจะต้องคำนึงถึงสารที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษ โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดโดยการกลั่นทั้งหมด 4 วิธี คือ การกลั่นด้วยน้ำ กลั่นด้วยไอน้ำ กลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ และกลั่นลำดับส่วน

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (*Family Graminae*) เจริญได้ดีทั้งในเขตร้อนและอบอุ่น สามารถปลูกได้ทั่วไปทั้งในที่ราบและที่มีความสูง 2,500 เมตรจากระดับน้ำทะเล เจริญเติบโตได้ดีทั้งในดินที่มีความเค็มและเป็นกรด ข้าวมีทั้งหมดมากกว่า 20 ชนิด แต่ที่นิยมปลูกเป็นอาหาร มี 2 ชนิด คือ *Oryza sativa* L. ซึ่งปลูกในทวีปเอเชีย และ *Oryza glaberrima* ซึ่งปลูกในทวีปแอฟริกา (จรรยาพร, 2544) ประเทศไทยมีการปลูกข้าวในทุกภูมิภาค ซึ่งสายพันธุ์ข้าวในไทยมีมากกว่า 70 สายพันธุ์

2.5.1 การจำแนกชนิดของข้าว

การจำแนกชนิดของข้าวมีมีปัจจัยในการจำแนกได้หลายประการ (สุกัญญา, 2543) เช่น

2.5.1.1 จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด ได้แก่

1. ข้าวเจ้า ประกอบด้วยแป้ง 90 % ซึ่งแป้งจะมีส่วนประกอบใหญ่ 2 ส่วนคือ อะไมโลเพกติน 60-90 % และ อะไมโลส 10-30 %
2. ข้าวเหนียว ประกอบด้วย อะไมโลเพกติน 95 % และ อะไมโลส น้อยมาก และบางครั้งพบว่าไม่มีเลย

2.5.1.2 จำแนกตามสภาพพื้นที่ปลูก ได้แก่

1. ข้าวไร่ คือ ข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบและลาดชัน ไม่ชอบน้ำขัง นิยมปลูกในบริเวณที่ราบสูง ตามไหล่เขาทั้งทางภาคเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย
2. ข้าวนาสวนหรือนาคำ คือ ข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มต่างๆ ทั่วประเทศระดับน้ำต้องไม่สูงเกิน 1 เมตร นิยมปลูกกันมากแทบทุกภาคของประเทศไทย
3. ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง คือ ข้าวที่สามารถเกิดในบริเวณที่ไม่สามารถรักษา ระดับน้ำได้ เพราะข้าวสามารถยึดตัวหนีน้ำได้ นิยมปลูกในแถบจังหวัดอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี พิษณุโลก อ่างทอง ชัยนาท และสิงห์บุรี

2.5.1.3 จำแนกตามอายุการเก็บเกี่ยว ได้แก่

1. ข้าวเบา คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 90-100 วัน นับตั้งแต่เพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว
2. ข้าวกลาง คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 100-120 วัน นับตั้งแต่เพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว
3. ข้าวหนัก คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 120 วันขึ้นไป นับตั้งแต่เพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว

2.5.1.4 จำแนกข้าวตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง ได้แก่

1. ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวไม่แน่นอน เพราะจะออกดอกในช่วงเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้นกว่ากลางคืน สำหรับประเทศไทย ช่วงดังกล่าวเริ่มเดือนตุลาคม ดังนั้นข้าวพวกนี้ต้องปลูกในฤดูนาปีหรือฤดูฝนเท่านั้น ถ้านำไปปลูกฤดูแล้งก็จะมาออกดอกในเดือนตุลาคมหรือพฤศจิกายนเช่นกัน

2. ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่แน่นอน จะออกดอกและเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุการเจริญเติบโตครบ โดยที่ช่วงแสงจะไม่มีอิทธิพลไปยังคับให้ออกดอกจึงสามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล

2.5.1.5 จำแนกตามฤดูกาล ได้แก่

1. ข้าวนาปีหรือข้าวหน้าน้ำฝน คือ ข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนา สำหรับในประเทศไทยจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และจะเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์

2. ข้าวนาปรัง คือ ข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ จะเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมในบางท้องที่หรือช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน

2.5.1.6 จำแนกตามความหอม ได้แก่

1. ข้าวชนิดมีกลิ่นหอม คือ ข้าวที่มีกลิ่นหอม เมื่อหุงสุก จะนุ่ม เหนียวขึ้นหมี้อ ในประเทศไทยมีข้าวหอมที่สำคัญมากมาย ไม่ต่ำกว่า 50 พันธุ์ เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของประเทศไทยเป็นที่นิยมของประชากรในประเทศแถบเอเชีย ตะวันออกกลาง และสหรัฐอเมริกา

2. ข้าวชนิดไม่มีกลิ่นหอมหรือข้าวขาวทั่วไป คือ ข้าวที่ไม่มีกลิ่นหอม มีการปลูกทั่วไปในแถบทุกภาคของประเทศไทย มีหลายสายพันธุ์ เช่น ข้าวชัยนาท 1

2.5.2 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และความสำคัญ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวต้นสูงนาปี หรือที่เรียกว่า ไวต่อแสงปลูกมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ต้นมีความสูง 140-150 เซนติเมตร ลำต้นและใบค่อนข้างเล็ก ใบยาวสีเขียวอ่อน เมล็ดข้าวมีรูปร่างเรียวยาว มีความเลื่อมมัน จัดเป็นพวกอะไมโลสต่ำ (อะไมโลสต่ำกว่า 20 %) ข้าวจะออกดอกและเก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 ตุลาคม – 20 พฤศจิกายน ในปีเดียวกัน เป็นข้าวที่มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ และเมื่อหุงสุกจะได้ข้าวสีขาวนุ่มนวล (อนลลักษณะ, 2546; พรเทพ, 2548) จึงทำให้เป็นที่ชื่นชอบของทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ ทำให้ปริมาณการส่งออกข้าวขาวดอกมะลิมิแนวโน้มเพิ่มขึ้น และขายได้ในราคาที่สูงขึ้น แต่ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 คิดเป็นร้อยละ 23 ของพื้นที่ปลูกข้าว

ทั้งหมด คำนวณปริมาณของข้าวส่วนใหญ่ที่ผลิตได้จึงเป็นข้าวขาวชนิดอื่นและมีปริมาณมาก (ศักดิ์ดา และคณะ, 2548)

2.5.3 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของข้าว

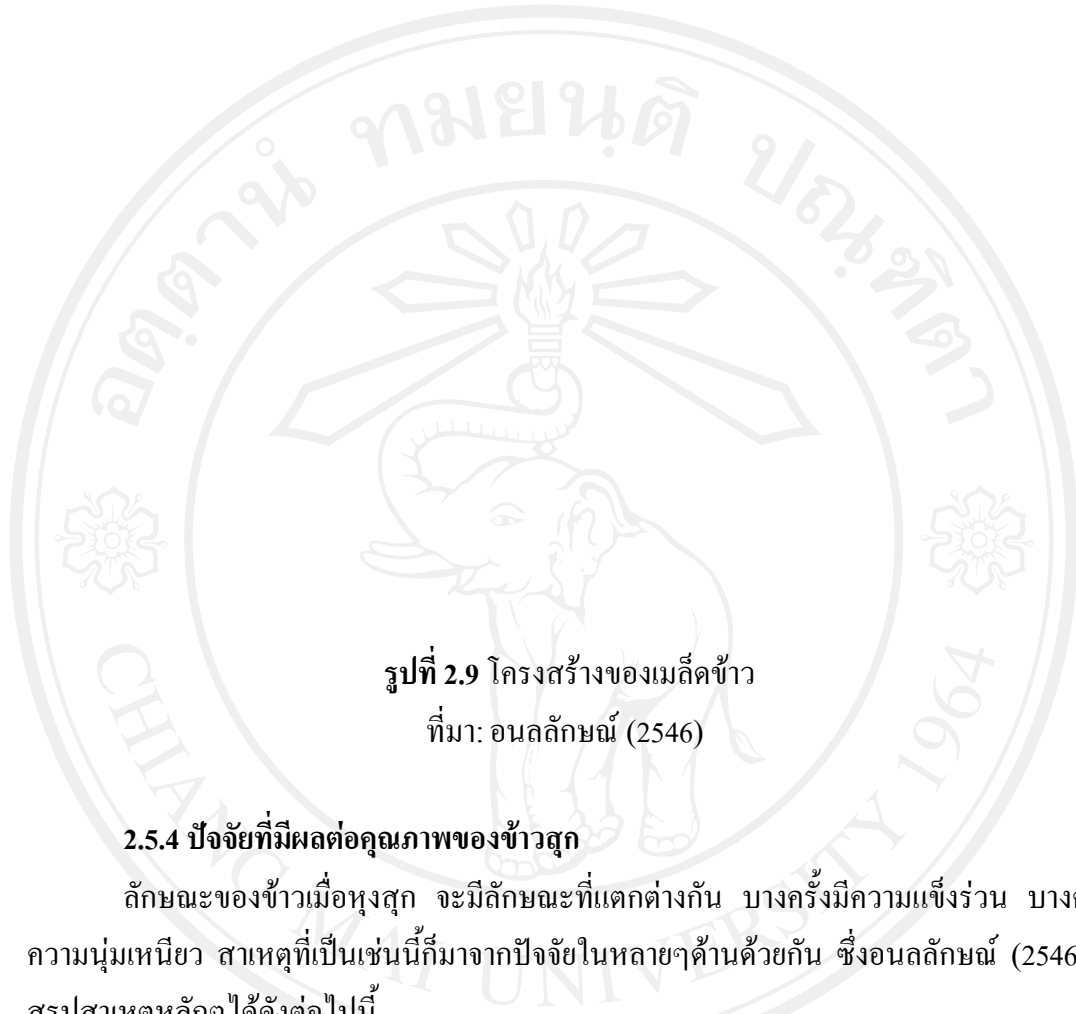
โครงสร้างของเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ (อนลลักษณ์, 2546) คือ

2.5.3.1. เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด (husk) พัฒนามาจากส่วนของกลีบดอก มีน้ำหนักประมาณ 18-28 % ของน้ำหนักข้าวเปลือก ประกอบไปด้วย เซลลูโลส 25 % ลิกนิน 30 % เพนโตแซน 15 % และเถ้า 21 %

2.5.3.2. เปลือกหุ้มผล (pericarp) มีสัดส่วนประมาณ 4.8 % ของเมล็ด ประกอบด้วยชั้นต่างๆหลายชั้น องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุต่างๆ

2.5.3.3. เมล็ด ประกอบด้วย เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่มีผนังอ่อนนุ่ม มีรูปร่างยาวรี เรียงต่อกันเป็นแถวตามแนวขวาง ชั้นนี้มีความหนา 5-8 ไมโครเมตร ชั้นเนื้อเยื่อโปร่งแสง (hyaline layer) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใส ชั้นเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) เป็นชั้นที่ห่อหุ้มเนื้อเมล็ดไว้ประกอบด้วยเซลล์ที่มีความหนา 1 ถึง 7 ชั้น เซลล์มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ชั้นคัพภะ (germ หรือ embryo) เป็นส่วนของเมล็ดข้าวที่จะเจริญไปเป็นต้นอ่อน และชั้นเนื้อเมล็ด (seed) คิดเป็นน้ำหนักประมาณ 90 % ของน้ำหนักข้าวเปลือก

องค์ประกอบทางเคมีของข้าว จะประกอบไปด้วย คาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบหลัก 70-80 % โดยน้ำหนัก แบ่งออกเป็นพวกที่เป็นเส้นใย เช่น เซลลูโลส และลิกนิน และพวกที่เป็นแป้ง (อะไมโลส และอะไมโลเพคติน) โปรตีน มีประมาณ 6.5-12 % โดยน้ำหนักขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ตัวอย่างเช่น albumin, globulin, prolamin และ glutelin ไขมัน จะพบในบริเวณรำและจมูกข้าว ในข้าวเปลือกมีไขมันอยู่ 3 % ในข้าวกล้องมีไขมัน 1.6-2.8 % และในข้าวที่ผ่านการขัดสีมีไขมัน 1 % และแร่ธาตุกับวิตามิน พบมากในบริเวณแกลบและรำ (อนลลักษณ์, 2546)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา: อนุลลักษณ์ (2546)

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวสุก

ลักษณะของข้าวเมื่อหุงสุก จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน บางครั้งมีความแข็งร่วน บางครั้งมีความนุ่มเหนียว สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็มาจากปัจจัยในหลายๆด้านด้วยกัน ซึ่งอนุลลักษณ์ (2546) ได้สรุปสาเหตุหลักๆได้ดังต่อไปนี้

2.5.4.1 การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

ได้แก่ สภาพการทำแห้ง ปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวสารหรือข้าวเปลือก และระดับการขัดสี ซึ่งพบว่าสภาพการทำแห้งและความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก มีผลต่อค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ของข้าวสุก ข้าวที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน น้อยกว่าข้าวที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เป็นเพราะการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ผิวของเมล็ดข้าวแตกเป็นรอยมีลักษณะเป็นเส้นเล็กๆ เกิดขึ้นมากกว่า และในขณะที่หุงน้ำจะซึมเข้าไปในส่วนที่เป็นรอยและสารต่างๆในข้าวจะซึมออกมาได้มากกว่า จึงทำให้มีค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกันที่มากกว่า ส่วนข้าวที่ผ่านการขัดสีเมล็ดแบบลึก เมื่อนำมาหุงสุกจะทำให้ค่าความแข็งน้อยกว่าข้าวที่มีการขัดสีแบบธรรมดา เนื่องจากข้าวที่

ผ่านการขัดสีแบบลึกจะเสียดังค์ประกอบโปรตีนหรืออะไมโลสไปมากกว่า ซึ่งมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทำให้ได้ข้าวสุกที่นุ่มกว่า

2.5.4.2 อายุข้าวสาร

ผนังเซลล์ของข้าวสารเก่าหรือมีอายุมาก มีความแข็งแรงมากกว่าข้าวสารใหม่หรือข้าวสารที่มีอายุน้อยกว่า เมื่อเก็บข้าวเป็นระยะเวลานานขึ้นอะไมโลสและกรดไขมันในข้าวจะจับตัวกันเป็นสารประกอบขึ้น ทำให้เม็ดแป้งพองตัวในน้ำลดลง และกรดไขมันไม่อิ่มตัวในแป้งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดสารประกอบคาร์บอนิล ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนลดลง ส่งผลให้ข้าวสารเก่าใช้ระยะเวลาในการหุงนานขึ้น

2.5.4.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวหุงสุก ทั้งคุณภาพการหุง และคุณภาพการบริโภค ได้แก่ โปรตีน และอะไมโลส ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีอัตราการดูดน้ำต่ำจึงต้องใช้เวลาในการหุงที่มากกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า เนื่องจากโปรตีนโดยเฉพาะโปรตีนที่อยู่ติดกับเม็ดแป้งจะจัดเรียงตัวกับเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรง หากโปรตีนชนิดนี้มีน้อยหรือถูกทำลายลง จะทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำและเกิดเจลลาติในเซชันได้ง่ายขึ้น ข้าวที่มีโปรตีนมากจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและหยาบ ส่วนข้าวที่มีโปรตีนต่ำจะนุ่มและเหนียวเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณอะไมโลสจะมีผลต่อความแข็งของข้าว ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะต้องการน้ำในการหุงมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสเพื่อให้ได้ข้าวสุกที่มีความนุ่มเท่าๆกัน และข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเมื่อนำมาหุงจะได้ข้าวสุกที่เนื้อแข็งร่วน ส่วนข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะได้ข้าวที่นุ่มและเหนียวติดกัน

2.5.4.4 การใช้สารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

มีการนำสารเคมีหลายชนิดมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้าวหุงสุก และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น propylene oxide, epichlorohydrin, ไขมัน และสารประกอบฟอสเฟต เพื่อใช้ในการลดหรือชะลอการเกิดการคืนตัวของแป้งสุก

2.6 ไมโครเอนแคปซูลชัน (Microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) หมายถึง กระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน ชั้นพอลิเมอร์จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในให้ออกมาเมื่อเราต้องการ ขั้นตอนสำคัญของไมโครเอนแคปซูลชัน คือ ชั้นแรกทำให้เกิดฟิล์มบางๆ รอบอนุภาค หรือทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน ชั้นที่สองทำฟิล์มให้แข็งแรง และชั้นที่สามแยกแคปซูลและทำให้แห้ง (ฉันทรา, 2549)

ไมโครแคปซูลจะมีลักษณะเป็นทรงกลม อยู่ในรูปผงแห้งที่สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดี สารสำคัญที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลจะถูกเรียกว่าวัสดุแกน (core material) และผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญจะถูกเรียกว่าวัสดุห่อหุ้ม (wall material) ซึ่งสารที่เป็นวัสดุแกน ยกตัวอย่างเช่น สารประกอบในการให้กลิ่น ส่วนสารที่เป็นวัสดุห่อหุ้ม ยกตัวอย่างเช่น polysaccharide หรือ protein (Madene *et al.*, 2006) การทำไมโครแคปซูลเช่น สิ่งที่เป็นตัวการสำคัญ คือ สารที่ทำหน้าที่เป็นผนังบางๆ ในการห่อหุ้มสารสำคัญไว้ภายในหรือวัสดุห่อหุ้ม ซึ่งสารที่มีคุณสมบัติในการเป็นวัสดุห่อหุ้มที่ดีควรมีความสามารถแผ่เป็นฟิล์มบางๆ ได้ มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงเพียงพอ มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชัน มีคุณสมบัติในการยึดติดกับวัสดุแกนได้ดี โดยไม่ทำปฏิกิริยากัน มีความหนืดต่ำเมื่ออยู่ในสถานะของแข็งต้องไม่ขึ้นง่าย นอกจากนี้ ยังต้องมีความคงตัวสูง เพื่อจะป้องกันวัสดุแกนจากสภาพแวดล้อมต่างๆ และปลดปล่อยวัสดุแกนได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน (ฉันทรา, 2549) ดังนั้นการเลือกใช้สารที่จะนำมาทำเป็นวัสดุห่อหุ้มจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมทั้งต่อสารสำคัญและต่อสภาวะที่ต้องการใช้

2.6.1 สารที่ใช้เป็นวัสดุห่อหุ้ม

สารที่นำมาทำเป็นวัสดุห่อหุ้มได้มีมากมายหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ซึ่งฉันทรา (2549) ได้รายงานถึงสารที่นิยมนำมาทำเป็นวัสดุห่อหุ้มในวงการอุตสาหกรรมอาหารและยา ดังต่อไปนี้คือ

2.6.1.1 OSAN หรือมีชื่อเรียกทางเคมีว่า n-octenylsuccinic anhydride-substituted starches เป็น modified starch ชนิดหนึ่งที่ใช้กับกระบวนการ spray drying ละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติการเป็นสาร emulsifier ที่ดี ไม่มีกลิ่นรส ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย และราคาไม่แพง แต่มีข้อเสียคือ จะทำให้สารละลายที่ได้มีความเป็นกรด (pH 3.0) เนื่องจากผลของ n-octenylsuccinic acid ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้กับวัสดุแกนที่มีความไวต่อกรด

2.6.1.2 Gum arabic หรือ acacia gum เป็น hydrocolloid gum เป็นสารที่มีคุณสมบัติของการเป็น emulsifier ที่ดีมาก มีความหนืดต่ำ จะไม่จับตัวเป็นก้อนได้ง่าย เหมาะสำหรับวัสดุแกนที่ขึ้นได้ง่าย

2.6.1.3 Maltodextrin ไม่มีกลิ่นรส ละลายน้ำได้ดี มีความหนืดต่ำ แต่ไม่มีคุณสมบัติในการเป็น emulsifier จึงมักใช้ร่วมกับ OSAN หรือ gum arabic เพื่อลดต้นทุนการผลิต

2.6.1.4 Sodium alginate ละลายน้ำได้ดี ให้ความหนืดต่ำ ใช้ปริมาณน้อยราคาไม่แพง แต่ฟิล์มที่ได้จะไม่ค่อยแข็งแรง ต้องเสริมด้วยเกลือแคลเซียม มักใช้กับกระบวนการ coacervation

2.6.2 กระบวนการที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูล

นอกจากชนิดของวัสดุห่อหุ้มที่ใช้แล้ว วิธีการเตรียมฟิล์ม สภาวะในการเตรียมรวมทั้ง กระบวนการที่ใช้ ก็มีส่วนร่วมในการทำให้ไมโครเอนแคปซูลชั้นสมบูรณ์ขึ้นได้ กระบวนการที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลนั้น มีทั้งวิธีกายภาพ และวิธีทางเคมี (Madene *et al.*, 2006; ฉันทรา, 2549) ได้แก่

2.6.2.1 การเคลือบแบบพ่นฝอย (Spray coating)

แยกออกได้เป็น pan coating ซึ่งใช้เคลือบอนุภาคที่เป็นของแข็งและมีขนาดค่อนข้างใหญ่ มักใช้ในอุตสาหกรรมยา เตรียมได้โดยเคลือบด้วยยานอนุภาคทรงกลม แล้วนำไปเคลือบซ้ำอีกชั้นด้วยพอลิเมอร์พร้อมทั้งเป่าลมร้อนตลอดเวลา ส่วน fluidized bed coating ใช้หลักการเดียวกับ pan coating แต่จะอาศัยหัว spray พ่นสารเคลือบลงไปบนอนุภาคที่มีการเคลื่อนที่ด้วยแรงลมเป่าจากด้านล่างเป็นวงจรต่อเนื่องจนกระทั่งได้ชั้นความหนาของสารเคลือบตามต้องการ

2.6.2.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะวงการอุตสาหกรรมอาหาร ใช้ผลิต flavor encapsulation flavor ที่ละลายในไขมันจะถูก emulsify ด้วยสารละลายน้ำกับสารเคลือบ แล้วทำให้แห้งโดยพ่นผ่านหัวสเปรย์ของเครื่อง spray dryer กระทั่งกับลมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 °C ซึ่งจะทำให้ ได้ขนาดอนุภาคประมาณ 10-150 ไมครอน

2.6.2.3 การทำให้เย็นแบบพ่นฝอย (Spray cooling)

หรือ spray congealing ใช้หลักการคล้ายกับ spray drying คือ จะนำอนุภาคไปกระจายตัวในสารเคลือบที่อยู่ในสภาวะหลอมเหลว แล้วนำไปพ่นผ่านหัวสเปรย์กระแทกกับลมเย็น สารเคลือบที่ใช้ต้องเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น wax, fatty acid และพอลิเมอร์

2.6.2.4 Milt extrusion

วิธีการนี้จะต้องใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูดแบบสกรู (screw extruder) เข้ามาช่วยโดยใช้สารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นสารตัวพา (carrier) สารตัวพาจะถูกทำให้หลอมเหลวด้วยน้ำ แล้ว feed กลับเข้าไปใน extruder ซึ่งจะมีการเติมสารกลีนิรลงไป ของผสมจะถูกแรงดันอัดผสมเข้าด้วยกันแล้วถูกดันผ่านพิมพ์ ให้ได้รูปร่างออกมาเป็นแผ่นหรือเส้นตามความต้องการ ใช้ในอุตสาหกรรมกลีนิรที่ต้องการให้ได้อนุภาคใหญ่ๆ ปรากฏอยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ประเภทลูกกวาด

2.6.2.5 Complex coacervation

หรือ coacervation-phase separation เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการทางเคมี มีประโยชน์สำหรับเก็บกักสารที่เป็นของเหลวหรืออนุภาคขนาดเล็กมีลักษณะเป็น oil-in-

water ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนคือ นำอนุภาคที่จะเคลือบไปกระจายตัวในสารละลายพอลิเมอร์ แยกวัฏภาค (phase) ของพอลิเมอร์ออกจากตัวทำละลายเพื่อไปดูดซับอยู่บนผิวของอนุภาค และขั้นตอนสุดท้าย คือ การทำให้ชั้นของสารเคลือบแข็งแรงขึ้นโดยอาศัยอุณหภูมิ หรือสารที่เสริมความแข็งแรงให้แก่ฟิล์มเช่น สารประกอบแคลเซียม

2.6.3 ประโยชน์ของไมโครเอนแคปซูล

เทคนิคไมโครเอนแคปซูล มีความนิยมนำไปใช้ประโยชน์อย่างมากไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมเกษตรซึ่งประโยชน์หลักๆ ของเทคนิคไมโครเอนแคปซูล ได้แก่

- 2.6.3.1. ลดการทำปฏิกิริยาของสารสำคัญซึ่งเป็นวัสดุแกต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น อากาศ น้ำ หรือสารเคมี
- 2.6.3.2. ลดอัตราการระเหยหรือการปลดปล่อยวัสดุแกต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก
- 2.6.3.3. ช่วยทำให้ง่ายต่อการนำวัสดุแกไปใช้ เช่น ช่วยทำให้ของเหลวอยู่ในรูปของแข็งง่ายต่อการนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นโดยไม่เกิดการทำปฏิกิริยาต่อกัน
- 2.6.3.4. สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาหรือสารสำคัญตามวัตถุประสงค์
- 2.6.3.5. ช่วยกลบกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์
- 2.6.3.6. ช่วยเพิ่มปริมาณของวัสดุแกในกรณีที่ใช้วัสดุแกปริมาณเล็กน้อยในส่วนผสมจำนวนมาก เพื่อให้เกิดการผสมที่ทั่วถึงกัน

ในปัจจุบันมีการทำให้แคปซูลลดระดับไปถึงระดับนาโนคือ จะมีขนาดอนุภาคที่ได้ต่ำกว่าระดับไมครอน ซึ่งมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกลิ่นรส อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมสิ่งทอ และที่ก้าวหน้ากว่านั้น คือ จะมีการผลิตอนุภาครูพรุนขนาดเล็กระดับนาโนสามารถดูดซับไอของสารระเหยไว้ โดยใช้พอลิเมอร์ของสารพวกคาร์โบไฮเดรต รูพรุนเล็กๆรอบพอลิเมอร์นี้จะช่วยกักเก็บกลิ่นรสที่ระเหยง่ายไว้ได้ เช่น พวก dimethyl sulfide และ acetaldehyde อย่างไรก็ตามการนำไมโครเอนแคปซูลมาใช้ในอุตสาหกรรมยายังมีข้อกำหนดที่ควบคุม เช่น ปริมาณของตัวทำละลายที่ยังคงเหลือในผลิตภัณฑ์ ขนาดของแคปซูลที่จะนำมาใช้ ข้อมูลการทดสอบฤทธิ์ของยากรณีที่เป็น controlled release และความคงตัวของผลิตภัณฑ์

เทคนิคไมโครเอนแคปซูล มีความนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการเก็บกักสารสำคัญหลากหลายชนิด ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยหลายๆงานในปัจจุบันที่มีผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูล ยกตัวอย่างเช่น

Chattopadhyaya *et al.* (1998) ได้ศึกษาการทำเอนแคปซูลสาร vanillin โดยการใช้สาร gum arabic, aminogum 688 (gum arabic substitute), oxidised corn starch และ

oxidised amaranth starch เป็นวัสดุห่อหุ้ม พบว่าสามารถเก็บกักสาร vanillin ได้ 57.84 %, 58.61 %, 60.89 % และ 58.61 % ตามลำดับ

Fuchs *et al.* (2005) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันในการเก็บกักพวกผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหย ซึ่งวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของน้ำมัน โดยการใช้ maltodextrin (MD) และ acacia gum (AG) เป็นวัสดุห่อหุ้มซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มเวลาในการเก็บรักษาสภาพของน้ำมันได้นานมากขึ้น

Shaikh (2006) ได้ศึกษาการเก็บกักสาร oleoresin ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากพริกไทยดำ (black pepper) ทำการเก็บกักโดยใช้ gum arabic และ modified starch ด้วยวิธีการ spray-drying ผลการทดลองพบว่า gum arabic มีประสิทธิภาพในการเก็บกักสาร oleoresin มากกว่า modified starch และสามารถเก็บกักได้ถึง 50 %

Laos *et al.* (2007) ใช้เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันในการเก็บกักสาร β -carotene จากน้ำของผลซีบัคธอร์น (Seabuckthorn juice) โดยการใช้ Furcellaran gel beads มาช่วยในการเก็บกัก พบว่ามีประสิทธิภาพในการเก็บกัก ได้มากถึง 97 %

Loksuwan (2007) ศึกษาการเก็บกักสาร β -carotene โดยการใช้ Acid-modified tapioca starch, native tapioca starch และ maltodextrin ทำหน้าที่เป็นวัสดุห่อหุ้ม ผลการทดลองพบว่า การทำเอนแคปซูเลชันสาร β -carotene โดยการใช้ modified tapioca starch จะทำให้ได้ไมโครแคปซูลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่เล็กกว่า และมีการกระจายตัวของอนุภาคที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ native tapioca starch และ maltodextrin ในส่วนของค่าปริมาณความชื้นและค่า water activity ของไมโครแคปซูล จะขึ้นอยู่กับชนิดของวอลล์ ส่วนปริมาณของ β -carotene พบว่าการใช้ modified tapioca starch จะช่วยเก็บกักสารได้มากกว่าวอลล์ชนิดอื่น และการใช้ maltodextrin ช่วยเก็บกักสาร β -carotene ได้ต่ำสุด ดังนั้น modified tapioca starch จะมีประสิทธิภาพในการเก็บกักสาร β -carotene มากที่สุด

Somchue *et al.* (2009) ได้ศึกษาการนำโปรตีน 2 ชนิด คือ β -lactoglobulin (BLG) และ hen egg white protein (HEW) มาใช้ในการเก็บกักสาร α -tocopherol (α -TOC) ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บกักสาร α -TOC ด้วย BLG คือ ใช้ BLG 0.5 % (w/v), ใช้ α -TOC 100 mM และใช้ CaCl_2 25 mM และสำหรับ HEW สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บกักสาร α -TOC คือ ใช้ HEW 4.00 % (w/v), ใช้ α -TOC 50 mM และใช้ ZaCl_2 25 mM พบว่ามีประสิทธิภาพในการเก็บกักสาร α -TOC ได้ 20 และ 32 % สำหรับ BLG และ HEW ตามลำดับ

ในงานวิจัยนี้มีความสนใจในการนำเอาเทคนิคเอนแคปซูเลชันมาใช้ในการเก็บกักสารหอม 2AP ซึ่ง Apintanapong and Noomhorm (2003) ได้ทำการศึกษาเทคนิคการทำเอนแคปซูเลชัน

สารประกอบ 2AP ที่สกัดจากใบเตยด้วยวิธีการกลั่น โดยใช้สารผสมของ gum acacia และ maltodextrin ที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน และทำให้แห้งด้วยวิธีการ spray drying พบว่าอัตราส่วนของ gum acacia ต่อ maltodextrin ที่ 70:30 มีการสูญเสียปริมาณสาร 2AP ก่อนการทำแห้ง (33.13 $\mu\text{g/g dry weight}$) และหลังการทำแห้ง (31.64 $\mu\text{g/g dry weight}$) น้อยที่สุด

2.7 ฟลูอิดเซชัน (Fluidization)

ฟลูอิดเซชันเป็นวิธีการหนึ่ง ซึ่งมีความน่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในการทำแห้ง โดยจะมีลักษณะเป็นการพ่นลมร้อนผ่านหอ ซึ่งภายในบรรจุด้วยอนุภาคหรือเม็ดของแข็ง ที่พื้นของหอจะมีแผ่นรองรับ ซึ่งเจาะรูไว้เพื่อให้ลมร้อนสามารถเป่าผ่านชั้นของเม็ดของแข็งที่บรรจุอยู่ข้างบนได้ จะทำให้เม็ดหรือของแข็งเกิดการเคลื่อนไหวโดยมีลักษณะเหมือนกำลังแขวนลอยอยู่ในอากาศที่ไหลผ่าน (ประเสริฐศักดิ์, 2545) เมื่อเริ่มปล่อยของไหลให้ไหลเข้าทางด้านล่างของหอ ขณะที่ของไหลความเร็วยังมีค่าต่ำ จะทำให้เม็ดของแข็งไม่ขยับตัวเลย ลักษณะของเบดเช่นนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (fixed bed) ถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้นทีละน้อยจนถึงความเร็วระดับหนึ่ง เม็ดของแข็งจะเริ่มขยับตัว และจัดตัวอย่างเป็นระเบียบเรียกว่าฟลูอิดเซชันต่ำสุด (minimum fluidization) ฟลูอิดเบดที่ของไหลเป็นของเหลว เมื่อเพิ่มความเร็วจนกระทั่งการขยายตัวของเบดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลอยตัวและหมุนรอบตัวเองของแข็งเป็นไปอย่างช้าๆ เรียกว่า เบดสม่ำเสมอ (smooth fluidized bed) หลังจากนั้นไปแล้วความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นจะไปทำให้เบดขยายตัวขึ้นตามความเร็วของของไหล เม็ดของแข็งยังอยู่ชิดกันมาก ดูเหมือนว่าเม็ดของแข็งยังจับกันเป็นกลุ่มก้อน เบดลักษณะนี้เกือบจะพาเอาเม็ดของแข็งออกไปจากหอทดลองอยู่แล้ว จะเรียกว่า เบดเจือจาง (diluted phase fluidized bed) หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วของไหลอีกเล็กน้อย เม็ดของแข็งก็หลุดลอยออกจากหอทดลองไป ซึ่งในลักษณะนี้เราใช้เป็นการขนส่งของแข็งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้เรียกว่าขนส่งด้วยของเหลว (hydraulic transport) ปรัชญาการฟลูอิดเซชันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ตัวแปรที่สำคัญได้แก่ความเร็วของของไหลขณะที่เบดเริ่มเกิดเป็นฟลูอิดเบด เม็ดของแข็งก็เริ่มขยับตัวจัดระเบียบของตัวเองให้อยู่ในแนวเดียวกัน หรือจัดเรียงเม็ด ต่อเม็ดอย่างสวยงาม จากนั้นแต่ละเม็ดก็ค่อยๆ แยกห่างกันออกไปเป็นอิสระตามความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้น ความเร็วของของไหลที่ทำให้เบดเริ่มขยับตัวหรือเริ่มจัดตัวเองนี้ (ในขณะเดียวกันความดันตกเริ่มคงที่) ความเร็วจำนวนนี้เราเรียกว่า ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดเซชัน เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลจนกระทั่งอนุภาคของแข็งกระจายมากขึ้นความพรุนมากขึ้น จนถึงก่อนที่อนุภาคจะหลุดจากคอลัมน์ ช่วงนี้ความดันตกคร่อมไม่เปลี่ยนแปลง เรียกว่า ช่วง smooth

fluidization และหลังจากที่อนุภาคของแข็งเริ่มหลุดออกจากคอลัมน์ จะทำให้ความดันตกคร่อมลดลง

ในงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะนำเอาเทคนิคการทำฟลูอิดเซชันมาประยุกต์ใช้ เพื่อช่วยในการทำการเก็บกักสารหอม 2AP ด้วยเทคนิคเอนแคปซูลชัน และทำแห้งข้าวไปพร้อมกัน ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานที่นำเทคนิคฟลูอิดเซชันมาใช้ในการทำเอนแคปซูลชัน ยกตัวอย่างเช่น

Turchiuli *et al.* (2005) ได้นำเอาเทคนิคฟลูอิดเซชันมาประยุกต์ใช้ในการทำเอนแคปซูลชันน้ำมันหอมระเหย โดยใช้ maltodextrin และ gum acacia เป็นวัสดุห่อหุ้ม ร่วมกับการใช้ spray drying พบว่าไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า $2 \mu\text{m}$ และทำให้การเกิดปฏิกิริยา oxidation ของน้ำมันลดลง

Wormsbecker and Pugsley (2008) ได้นำเอาเทคนิคฟลูอิดเซชันมาใช้ในการทำแคปซูลยา โดยใช้ฟลูอิดเบดคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 cm พบว่าแคปซูลที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ที่ $207 \pm 9 \mu\text{m}$ ซึ่งถือได้ว่าเทคนิคดังกล่าวทำให้ได้แคปซูลที่มีคุณภาพที่ดี

2.8 รีทอร์ทแพช

รีทอร์ทแพช (retort pouch) หรือที่เรียกว่าถุงต้มฆ่าเชื้อ เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น พลาสติก อลูมิเนียม เชื่อมประสานกันตั้งแต่ 4 ชั้นเป็นต้นไป เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ กำลังได้รับความนิยม เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ มีความยืดหยุ่นและทนต่ออุณหภูมิสูงๆ ได้ดี สามารถใช้บรรจุอาหารได้หลายชนิด เช่น สตูเนื้อ ซุป ข้าว ข้าวต้ม อาหารทะเลสุก และซอสต่างๆ มีความสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงที่ใช้ฆ่าเชื้อได้ และยังสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอาหารด้าน สี กลิ่น รส จากความชื้น ก๊าซออกซิเจนและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ เมื่อนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้อง (Bindu *et al.*, 2007; Gopal *et al.*, 2001; ธัญลักษณ์และคณะ, 2547) นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา ไม่ยุบหรือบวม ไม่เกิดสนิม และที่สำคัญคือสามารถใช้กับเตาไมโครเวฟได้ พลาสติกที่นำมาใช้ในการทำรีทอร์ทแพชมีหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น

พอลิสไตรีน (polystyrene) มีความทนต่อแรงกระแทกแตกได้ดี แต่ไม่ทนความร้อน และไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) มีความคงรูปมากกว่า สามารถปิดผนึกด้วยความร้อน ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและอากาศได้ดี

พอลิโพรไพลีน (polypropylene) มีอุณหภูมิจุดอ่อนตัวสูงถึง $140-150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่ป้องกันการซึมของอากาศได้ไม่ดีนัก

พอลิเอทรีลีนเทอร์เฟทาเรท (polyethylene terephthalate, PET) นิยมใช้กับอาหารและเครื่องดื่ม สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซที่ดี และเมื่อถูกเคลือบจะมีคุณสมบัติในด้านนี้ดียิ่งขึ้น สามารถบรรจุอาหารที่ร้อนและนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C ได้โดยไม่เสียรูป

เนื่องจากพลาสติกชนิดเดียวไม่สามารถมีคุณสมบัติครบถ้วน ที่จะใช้เป็นวัสดุในการทำรีทอร์ทแพคเกจ ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้พลาสติกหลายชนิดร่วมกัน โดยการรวมจะต้องให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถทนความร้อน ป้องกันการซึมผ่านของอากาศและความชื้น ซึ่งจะนำพลาสติกเหล่านี้มาเชื่อมประสานหรือรีดร่วมกัน (lamination หรือ coextrusion) จนได้เป็นฟิล์มพลาสติกลามิเนตที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตรีทอร์ทแพคเกจได้

2.9 การผลิตข้าวนึ่งสุกภายในบรรจุภัณฑ์

การผลิตข้าวนึ่งสุกภายในบรรจุภัณฑ์หรือข้าวสำเร็จรูป ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือการแช่ข้าว (soaking), การทำให้ข้าวสุกบางส่วน (precooking), และการฆ่าเชื้อ (retorting)

2.9.1 การแช่ข้าว

เป็นการเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดข้าว น้ำจะแพร่เข้าสู่เมล็ดข้าว เม็ดแป้งในข้าวจะดูดน้ำจนกระทั่งอิ่มตัว ที่ความชื้นประมาณ 30-35 % (อนลักษ์ณ, 2546) ข้าวที่ผ่านการแช่จะทำให้ระยะเวลาในการหุงลดลง เนื่องจากเม็ดแป้งอิ่มตัวไปด้วยน้ำจึงพร้อมที่จะเกิดเจลลิตินในเซชันได้ทันทีเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้ข้อดีของการแช่จะทำให้ข้าวมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าและทำให้ข้าวมีเนื้อสัมผัสดีขึ้น

2.9.2 การทำให้ข้าวสุกบางส่วน

เป็นการทำให้แป้งในเมล็ดข้าวเกิดเจลลิตินในเซชันไปบางส่วน จะทำให้ค่าความชื้นของข้าวเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 45-60 % และที่ค่าความชื้น ที่ระดับนี้จะยังไม่ทำให้ข้าวสุกได้ เนื่องจากข้าวจะสุกได้เมื่อมีค่าความชื้น อยู่ที่ 65-70 % (Robert and Richmond, 1959) ซึ่งวิธีการอาจจะใช้วิธีการต้มในน้ำเดือด (boiling water) หรือนึ่งด้วยไอน้ำ (steam)

2.9.3 การฆ่าเชื้อ

เป็นขั้นตอนการฆ่าเชื้อและทำให้ข้าวสุก สำหรับข้าวจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อจะต้องมีความเหมาะสมเพื่อกำจัดเชื้อ *Clostridium botulinum* รวมทั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย (อนลักษ์ณ, 2546)

Robert *et al.* (1953) ได้พัฒนาการแปรรูปข้าวหุงบรรจุกระป๋อง โดยการนำข้าวมาล้าง ทำการแช่น้ำเย็น จากนั้นนำไปต้มเป็นเวลา 2-4 นาที จนข้าวมีความชื้น 55 % ทำการบรรจุข้าวลงกระป๋องปิดฝาภายใต้สภาวะสุญญากาศ นำเข้าเครื่องรีทอร์ท พบว่าข้าวที่ได้มีลักษณะและกว่าปกติ

ส่วน Gerdes and Burns (1982) ได้ใช้ข่าวสารนี้สำเร็จรูป พรหมด้วยน้ำเย็น ให้ความร้อนด้วยการ ลวก บรรจุลงกระป๋อง ปิดฝาและฆ่าเชื้อในเครื่องรีทอร์ต พบว่าได้ฆ่าหนึ่งหุงสุกเหมือนปกติ และไม่ และ ไม่เกาะติดกัน

2.10 การฆ่าเชื้อหรือกรรมวิธีในการให้ความร้อน (Retorting หรือ Thermal processing)

วิธีการในการฆ่าเชื้อสามารถจำแนกได้หลายวิธีการ ดังต่อไปนี้ (วิไล, 2543)

2.10.1 การฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำ (Steam retorting)

จะเป็นการฆ่าเชื้อที่ใช้ไอน้ำเพียงอย่างเดียว หลักการทำงาน คือ เมื่อไอน้ำอิ่มตัวเกิดการ กลั่นตัวจะถ่ายความร้อนแฝงให้กับอาหาร ถ้ามีอากาศอยู่ในเครื่องฆ่าเชื้อ อากาศนี้จะรวมตัวเป็น ฉนวนฟิล์มอยู่รอบๆกระป๋อง และจะไปขัดขวางการควบแน่นของไอน้ำ ทำให้อาหารได้รับความ ร้อนไม่เพียงพอ อุณหภูมิที่ได้ก็จะต่ำกว่าอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัว ดังนั้นจึงต้องทำการกำจัดอากาศ ภายในเครื่องฆ่าเชื้อทั้งหมดออกไปโดยการแทนที่ด้วยไอน้ำ หลังการสเตอริไลซ์จะเป็นการหล่อเย็น อาหารในบรรจุภัณฑ์ด้วยน้ำเย็น ไอน้ำจะควบแน่นอย่างรวดเร็ว อาหารจะเย็นลงช้าๆ แต่ความดัน ภายในบรรจุภัณฑ์จะยังสูงอยู่ ซึ่งที่ความดันอากาศที่สูงจะช่วยป้องกันแรงดันที่รอยปิดผนึก และ เมื่ออาหารเย็นลงต่ำกว่า 100 °C ความดันอากาศจะลดลงและเย็นลงจนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 40 °C ที่อุณหภูมินี้บรรจุภัณฑ์จะแห้งเองเพื่อป้องกันการเกิดสนิม

2.10.2 การฆ่าเชื้อแบบใช้น้ำร้อน (Hot water retorting)

หลักการทำงาน คือ อาหารซึ่งบรรจุในบรรจุภัณฑ์จะผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยน้ำร้อน ภายใต้อากาศที่มีความดันสูง วิธีการฆ่าเชื้อแบบนี้เหมาะกับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นแก้วหรือของรีทอร์ต เพาซ์ เพราะแก้วจะมีความหนาที่มากกว่ากระป๋องโลหะจึงมีความแข็งแรงกว่า แต่แก้วก็มีข้อเสียคือมีค่า การนำไฟฟ้าต่ำกว่าโลหะ การแทรกผ่านความร้อนของแก้วจะช้ากว่าของโลหะ ทำให้ต้องใช้เวลานาน ในการให้ความร้อนนานกว่า และเสี่ยงต่อการแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว สำหรับของรีทอร์ตเพาซ์เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีหน้าตัดบางกว่าจึงได้รับความร้อนที่เร็วกว่า ทำให้ สามารถประหยัดพลังงานและยังป้องกันผิวหน้าของอาหารไม่ให้ได้รับความร้อนมากเกินไป นิยม ให้ความร้อนแก่อาหารเหลวหรืออาหารกึ่งเหลวในแนวนอน เพื่อให้อาหารมีความหนาพอกันใน เพาซ์

2.10.3 การฆ่าเชื้อโดยใช้เปลวไฟ

หลักการทำงาน คือ จะเป็นการให้ความร้อนโดยตรงด้วยเปลวไฟที่ความดันปกติ อัตราการแทรกผ่านความร้อนจะสูงที่เปลวไฟอุณหภูมิ 1,770 °C อาหารที่ได้มีคุณภาพสูงเนื่องจากใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้นและสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 20 % เมื่อเปรียบเทียบกับ การฆ่าเชื้อแบบทั่วไป เนื่องจากไม่ต้องมีการบรรจุน้ำเกลือหรือน้ำเชื่อมในกระป๋อง จึงทำให้บรรจุอาหารได้มากขึ้นหรือลดขนาดของกระป๋องได้ จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้ 20-30 % นอกจากนี้ยังสามารถเติมเกลือหรือน้ำตาลลงในอาหารได้โดยตรง จึงช่วยลดปริมาณเกลือหรือน้ำตาลที่ต้องใช้ลงได้ อาหารที่นิยมใช้การฆ่าเชื้อวิธีนี้ได้แก่ เห็ด เมล็ดถั่วลันเตา มะเขือเทศ ลูกแพร์ และเนื้อวัวชิ้น

2.11 รีทอร์ตหรือหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Retort)

รีทอร์ตหรือหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ หลักการทำงาน คือ จะฆ่าเชื้ออาหารภายใต้ความดัน มีการพ่นน้ำหมุนวนทั้งจากด้านบนและด้านข้างผสมกับไอน้ำและลม ทำให้เกิดกระจายความร้อนภายในเครื่องอย่างทั่วถึง อาหารก็จะได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงด้วย ขั้นตอนการทำงานจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ การให้ความร้อน (heating) การสเตอริไลซ์ (sterilizing) และการทำความเย็น (cooling) ซึ่งการทำงานจะควบคุมโดยระบบควบคุมอัตโนมัติเหมาะสำหรับการฆ่าเชื้ออาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิททุกประเภท ไม่ว่าจะเป็น ถู้อลูมิเนียม ขวดแก้ว พลาสติก กระป๋องอลูมิเนียม หรืออื่นๆ รีทอร์ตที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายประเภทด้วยกัน (บริษัทแอกเมก้า จำกัด, 2552; อนาคตศึกษา, 2546) ดังต่อไปนี้

2.11.1 แบบให้ความร้อนจากไอน้ำโดยตรง

เป็นวิธีดั้งเดิมเก่าแก่ที่สุด มีระบบดูดอากาศออกจากหม้อก่อนแล้วใช้แรงดันไอน้ำร้อนในการให้ความร้อน แต่จะไม่มีสภาวะแรงดันส่วนเกินเกิดขึ้น (overpressure) รีทอร์ตระบบนี้จะมีหม้อต้มให้เกิดไอน้ำ (steam boiler) แยกต่างหากไม่รวมอยู่ภายในหม้อ โดยจะฉีดไอน้ำทำให้หม้อมีสภาวะความร้อนและแรงดันไอน้ำตามที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ระบบนี้ เมื่อการฆ่าเชื้อสิ้นสุดลงภายในหม้อจะมีสภาพเป็นสุญญากาศ ดังนั้น จึงต้องปล่อยให้อากาศภายนอกเข้าสู่หม้อโดยผ่านแผ่นกรองก่อน จึงจะเปิดประตูได้ รีทอร์ตประเภทนี้เหมาะกับ อาหารที่บรรจุในภาชนะกึ่งแข็ง อาหารแห้งที่ไม่มีน้ำหรือน้ำมันหรือเกลือ

2.11.2 แบบให้ความร้อนผ่านตัวกลางโดยการจุ่มน้ำ

เป็นที่ยอมรับในการฆ่าเชื้อเรื่องไม่มีสภาวะแรงดันส่วนเกิน (overpressure) เหมือนกับการใช้ไอน้ำโดยตรง และไม่มีอิทธิพลจากอากาศที่ใช้ในการทำเย็น ผลิตภัณฑ์จะจมอยู่ในน้ำทั้งหมด ให้ความร้อนโดยตรงเฉพาะตัวถัง มีการใช้ปั๊มน้ำหมุนวนในการฆ่าเชื้อและการทำความ

เย็น โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (plate heat exchanger) รีทอร์ตชนิดนี้มีความยืดหยุ่นสูง สามารถใช้ได้กับภาชนะทุกประเภทเช่น กระจก ขวดแก้ว รวมถึงภาชนะอ่อนเช่น ซองพลาสติก

2.11.3 แบบอัดแรงดันพ่นน้ำ

มีการให้ความร้อนทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านบน และข้าง 2 ด้าน โดยการพ่นน้ำร้อน (water spray) ผ่านหัวฉีดน้ำ (nozzle) ส่วนด้านล่างให้ความร้อนโดยการพ่นไอน้ำเข้าภายในหม้อโดยตรง และ มีการควบคุมอุณหภูมิภายในหม้อขณะฆ่าเชื้ออย่างแม่นยำและสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการใช้วาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำเปิดปิดให้ไอน้ำเข้าในหม้อโดยตรง เหมาะสำหรับภาชนะทุกประเภททั้งแบบตั้งและนอนเช่น ขวด กระจก รีทอร์ตเพาซ์ และอื่นๆ เนื่องจากมีการพ่นน้ำทั้งด้านบนและข้าง แทรกในแนวตั้งและระหว่างชั้นในขณะฆ่าเชื้อ สามารถประยุกต์ไปใช้แบบ Indirect steam ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นได้

2.11.4 แบบให้ความร้อนจากไอน้ำและอากาศโดยตรง

เป็นรีทอร์ตที่มีการออกแบบเฉพาะให้ใช้ไอน้ำในการฆ่าเชื้อ และขณะเดียวกันก็มีการอัดอากาศเข้าในเครื่องพร้อมกันเพื่อต่อต้านความดันที่เกิดภายในบรรจุภัณฑ์ ทำให้สามารถใช้ฆ่าเชื้ออาหารได้หลากหลายมากกว่าเครื่องที่ใช้ไอน้ำเพียงอย่างเดียว การควบคุมอัตราส่วนของไอน้ำกับอากาศ เป็นจุดควบคุมที่สำคัญเพื่อให้ทั้งอุณหภูมิและความดันในการฆ่าเชื้อเป็นไปตามที่กำหนด