

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บัวบก

บัวบกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Centella asiatica* (Linn.) Urban มีชื่อสามัญว่า Asiatic pennywort, Indian pennywort, Tiger herbal, Gotu Kola, Antanal, Pegaga, Kula kud, Tia Kum Chao, Magic herbal และ Bua Bok (บัวบก) บัวบกเป็นพืชในสกุล *Centella* จัดอยู่ในวงศ์ Apiaceae สามารถพบได้ในทุกภาคของไทย โดยมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไป เช่น ผักหนอก (เหนือ) ผักแว่น (ใต้) บัวบก (ภาคกลาง) จำปาเครือกะบังนอก (ลำปาง) ปะหนะ เอชาเต๊ะ (กะเหรี่ยง แม่ฮ่องสอน) (Sapkoet, 2007) บัวบกเป็นไม้ล้มลุกทอดเลื้อยไปตามพื้นดิน ชอบที่ชื้นแฉะบริเวณ โลงแจ้งหรือมีร่มเงาเล็กน้อย ออกรากตามข้อ ต้นจะเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ด้วยการแตกไหล ใบมีลักษณะเป็นใบเดี่ยวคล้ายรูปไต ใบกลม ขอบใบหยัก ก้านใบยาว ดังรูป 2.1 ออกดอกเป็นช่อ คล้ายร่ม ก้านดอกแตกออกจากโคนใบ แต่ละช่อมีดอกย่อย 3 ถึง 6 ดอก กลีบดอกมี 5 กลีบ มีสีม่วง แดงเข้ม ผลมีสีเขียวหรือขาว ค่อนข้างกลม ขนาดเล็ก ยาวประมาณ 2.5 มิลลิเมตร เมื่อแก่สามารถ แตกได้ (วรวิมล, 2551)



รูป 2.1 ลักษณะของบัวบก

ที่มา: Hengsawas (2004)

บัวบกมีสรรพคุณทางยาต่างๆ มากมาย โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งเกิดจากส่วนประกอบสำคัญในบัวบก ได้แก่ สารประกอบฟีนอล สารกลุ่มไตรเทอร์ปีน ในรูปไกลโคไซด์ เช่น อะเซยีติโคไซด์ กรดแอสติลิก กรดอะเซยีติก และแอสติลิกแอซไซด์ (Apichartsrangkoon *et al.*, 2009) โดยปริมาณสารสำคัญดังกล่าวในบัวบกจะมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ แหล่งที่ปลูก และช่วงฤดูในการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้บัวบกยังมีสรรพคุณช่วยบำรุงสมอง กระตุ้นการเจริญของเคนโดรท์ มีฤทธิ์ป้องกันเซลล์ประสาท ความจำเสื่อม และป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระจากความเครียด มีฤทธิ์ในการเร่งการสร้างเซลล์ประสาท และคลายกังวล (กลุ่มงานเภสัชกรรม, 2550)

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในบัวบก

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่พบในบัวบก และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ได้ มีดังนี้

1. ฟลาโวนอยด์ ไกลโคไซด์

ประกอบด้วย Kaempferol-3-glucoside และ Quercetin-3-glucoside ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของฟลาโวน (flavone derivatives) แยกได้จากส่วนของใบบัวบก (Prum *et al.*, 1983)

2. กรดอะมิโนอิสระ

กรดอะมิโนอิสระที่พบในบัวบก มีประมาณ 20 ชนิด โดยกรดอะมิโนชนิด glutamate, serine และ alanine จะพบในปริมาณสูงกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ในส่วนของใบ ก้าน และราก (Geroge and Gnanarethinan, 1975)

3. สารประกอบโพลีอะเซทีลีน

สารประกอบโพลีอะเซทีลีน 5 ชนิดที่แยกได้จากบัวบก ได้แก่ pentadeca-2-9-diene-4,6-diyne-1-ol acetate, 3,8-diacetoxypentadeca-1,9-diene-4,6-diyne, 3-hydroxy-8-acetoxy-pentadeca-1,9-diene-4,6-diyne, 3-hydroxy-10-acetoxy-pentadeca-1,8-diene-4,6-diyne และ Pentadeca-1,8-diene-4,6-diyne-3,10-diol (Tang and Eisenbrand, 1992)

4. สารประกอบเทอร์ปีนอยด์

แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

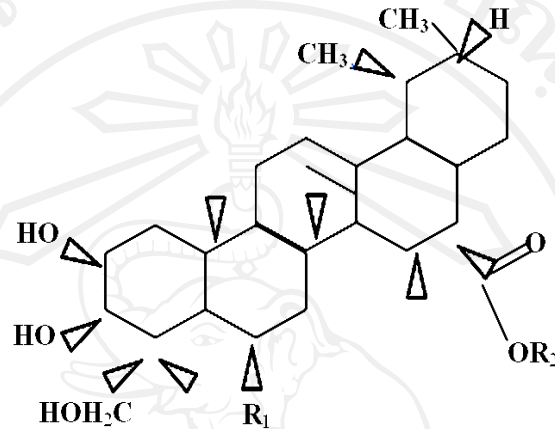
4.1 Mono-sesquiterpene compounds

ประกอบด้วย α -pinene, β -pinene, myrcene, γ -terpinene, bornyl acetate, α -copaene, β -elemene, β -caryophyllene, *trans*- β -farnesene, germacrene-D และ bicycloelemene

4.2 Triterpene compounds

Triterpene compounds เป็นสารประกอบที่สำคัญที่แยกได้จากทุกส่วนของบัวบก ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ ไกลโคไซด์ และกรดไตรเทอร์ปีน โดยสารประกอบไตรเทอร์ปีน ที่พบมากในบัวบก ได้แก่ อะเซยีติโคไซด์ (0.5-3.5 mg/mL) กรดอะเซยีติก (0.5-4.0 mg/mL)

แมคดิแคสโซไซด์ (0.5-3.5 mg/mL) และกรดแมคดิแคสติก (0.5-2.5 mg/mL) (Inamdar *et al.*, 1996) สูตรโครงสร้างของไตรเทอร์ปีน ไกลโคไซด์ จะประกอบด้วย อะเซียติโคไซด์ ($R_1:H, R_2:-\beta$ -D-glc-(6-1)- β -D-glc-(4-1)-L-rha) กรดอะเซียติก ($R_1:H, R_2:H$) แมคดิแคสโซไซด์ ($R_1:OH, R_2:-\beta$ -D-glc-(6-1)- β -D-glc-(4-1)-L-rha) และกรดแมคดิแคสติก ($R_1:OH, R_2:H$) ดังรูป 2.2



รูป 2.2 โครงสร้างของไตรเทอร์ปีน ไกลโคไซด์

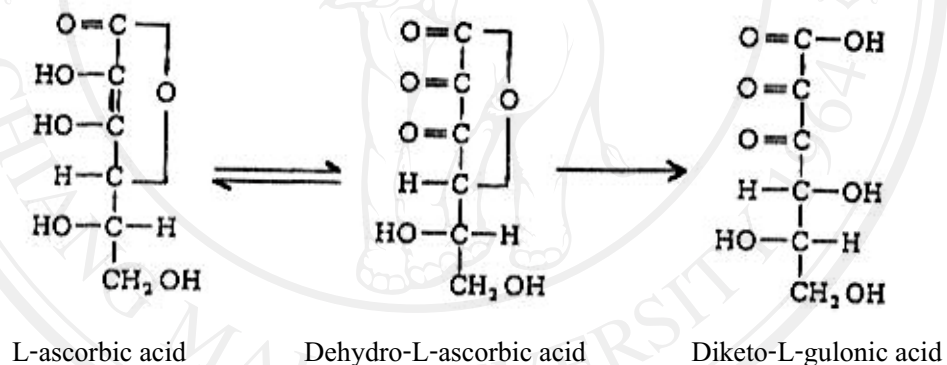
ที่มา: Brinkhaus *et al.* (2000)

5. วิตามินซี

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายได้ดีในน้ำ จึงถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย และกระจายตัวไปตามเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย พบมากที่ต่อมอะดรีนาล และต่อมพิทูอิทารี โดยปกติร่างกายต้องการวิตามินซีวันละประมาณ 50 มิลลิกรัม ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน และเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างโปรตีนคอลลาเจน ดังนั้นถ้าร่างกายได้รับวิตามินซีไม่เพียงพอ จะทำให้การสังเคราะห์โปรตีนคอลลาเจน ผิดปกติมีผลต่อความแข็งแรงของหลอดเลือดต่างๆ ทั่วร่างกาย โดยเฉพาะเส้นเลือดฝอย จะเปราะและแตกได้ง่าย ดังนั้นคนที่ขาดวิตามินซีจึงเป็นโรคเลือดออกตามไรฟัน วิตามินซีพบมากในผักและผลไม้สด เช่น สตรอเบอร์รี่ เชอร์รี่ มะขามป้อม ฝรั่ง ส้ม มะนาว มันฝรั่ง และผักชนิดต่างๆ ผลไม้ส่วนใหญ่จะพบวิตามินซีที่เปลือกมากกว่าในเนื้อ เช่น เปลือกแอปเปิ้ลมีวิตามินซีมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ 2-3 เท่า

วิตามินซีเป็นสารรีดิวซิงอย่างแรง (strong reducing agent) ที่มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง อากาศ และความร้อน ส่วนโลหะหนัก เช่น ทองแดงไอออน และเหล็กไอออน จะเร่งการสลายตัวของวิตามินซีให้เกิดเร็วขึ้น วิตามินซีที่อยู่ในรูป L-ascorbic acid จะมีคุณค่าทาง

ชีวภาพ แต่ถ้าอยู่ในรูป D-ascorbic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพหรือไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย L-ascorbic acid เมื่อถูกออกซิไดส์จะเปลี่ยนเป็น dehydro-L-ascorbic acid ปฏิกิริยานี้เปลี่ยนกลับไปได้ แต่ถ้า dehydro-L-ascorbic acid ถูกออกซิไดส์ต่อเป็น diketo-L-gulonic acid จะไม่มีคุณค่าทางชีวภาพ ดังรูป 2.3 นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์อีกหลายชนิดที่เร่งการสลายตัวของวิตามินซีได้ เช่น เอนไซม์กรดแอสคอร์บิกออกซิเดส (ascorbic acid oxidase) ฟีนอลเลส ไฮโทโครมออกซิเดส และเพอร์ออกซิเดส เอนไซม์กรดแอสคอร์บิกออกซิเดสเร่งการสลายตัวของวิตามินซีโดยตรงแต่เอนไซม์ 3 ชนิดหลังเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของวิตามินซีทางอ้อม เช่น เอนไซม์ไฮโทโครมออกซิเดสจะออกซิไดส์ไฮโทโครมรูปรีดิวซ์ (reduce form) เป็นไฮโทโครมรูปออกซิไดส์ (oxidized form) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับวิตามินซีได้ หรือเอนไซม์ฟีนอลเลสจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมโนและไดไฮดรอกซีฟีนอลเป็นควิโนน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับวิตามินซี ส่งผลให้วิตามินซีลดน้อยลงได้ (นิธิยา, 2549)



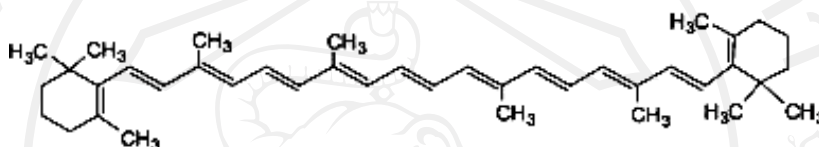
รูป 2.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก

ที่มา: นธิยา (2549)

6. แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง หรือสีส้มในพืช นอกจากนั้นยังพบสาหร่ายทะเลเป็นจำนวนมากที่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้ แคโรทีนอยด์ในเซลล์พืชส่วนใหญ่จะอยู่ในคลอโรพลาสต์ และถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์ปิดบังไว้ จนกระทั่งคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวสีเหลือง หรือสีส้มของแคโรทีนอยด์ก็จะปรากฏออกมา เช่น ผลไม้จะเปลี่ยนสีเมื่อสุก แคโรทีนอยด์จะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ ที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ในปัจจุบันยังพบว่าการบริโภคผักผลไม้ที่มีแคโรทีนอยด์มากขึ้นจะช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งได้

แคโรทีนอยด์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แคโรทีนอยด์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และแซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่ฟังก์ชันประกอบด้วยออกซิเจนในโมเลกุล เช่น หมูไฮดรอกซิล หมูอีพอกซี หมูแอลดีไฮด์ และหมูคีโตน โครงสร้างพื้นฐานของแคโรทีนอยด์จะประกอบด้วย ไอโซพรีน (isoprene) มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ เกิดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะสมมาตร อนุพันธ์ของไอโซพรีนอาจมีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนเบตาที่ปลายสุดทั้งสองข้างของโมเลกุล เช่น เบตาแคโรทีน (β -carotene) ดังรูป 2.4 หรือไม่มีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนในโมเลกุล เช่น ไลโคปีน (lycopene) เป็นต้น



รูป 2.4 โครงสร้างของเบตาแคโรทีน

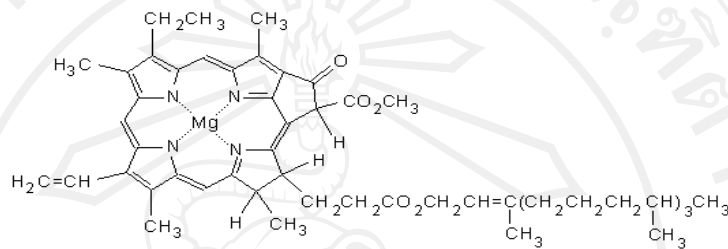
ที่มา: นิธิยา (2549)

แคโรทีนอยด์จะให้สีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง ขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุล แคโรทีนอยด์ที่มีพันธะคู่ที่น้อยที่สุด 7 พันธะจะให้สีเหลือง และจะมีความเข้มของสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น พันธะคู่ในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจอยู่ทั้งในลักษณะซิส (cis) หรือทรานส์ (trans) ก็ได้ แต่ในธรรมชาติมักจะพบแคโรทีนที่อยู่ในลักษณะทรานส์ทั้งหมด และอาจพบอยู่ในลักษณะซิสได้ 1-2 ตำแหน่งบ้างเล็กน้อย แคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างอยู่ในลักษณะทรานส์จะมีความเข้มของสีมากกว่าที่อยู่ในลักษณะซิส แคโรทีนอยด์ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี มีความคงตัวต่อความร้อนปานกลาง แต่จะสลายตัวเนื่องจากเกิดออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ในโมเลกุลได้ง่ายและเกิดการเปลี่ยนรูปของไอโซเมอร์จากทรานส์ไปเป็นซิสได้เนื่องจาก ความร้อน กรด และแสง นอกจากนี้เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ซัลไฟด์ และไอออนของโลหะจะเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ได้เร็วขึ้น และมีผลทำให้สีของแคโรทีนอยด์ซีดจางลง และเนื่องจากแคโรทีนอยด์มีความไวต่อการเกิดออกซิเดชัน ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันของสารอื่นได้ (อรุณี, 2552)

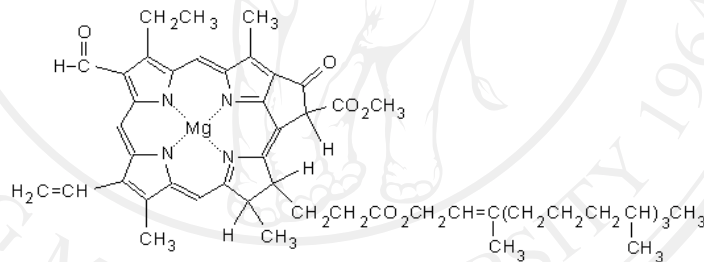
7. คลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียวในผักและผลไม้ สาหร่ายและแบคทีเรียกลุ่มที่สังเคราะห์แสงได้ คลอโรฟิลล์ในผักเกิดการสลายตัวได้ โดยคลอโรฟิลล์จะสลายตัวและปรากฏเป็น

สีเหลืองหรือสีแดงของแคโรทีนอยด์ โดยโครงสร้างของคลอโรฟิลล์จะมีลักษณะเป็นเตตราไพโรล ประกอบด้วยพอร์ไฟริน (prophyrin) ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (pyrrole ring) 4 วง และมีโลหะแมกนีเซียมเป็นตัวเชื่อมตรงกลาง ในธรรมชาติจะพบคลอโรฟิลล์อยู่ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยคลอโรฟิลล์ บี จะแตกต่างจากคลอโรฟิลล์ เอ ที่หมู่เมทิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 3 โดยจะถูกแทนที่ด้วยหมู่เอิลคิไซด์ ดังรูป 2.5



คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a)



คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b)

รูป 2.5 โครงสร้างคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี

ที่มา: Wageningen University (2010)

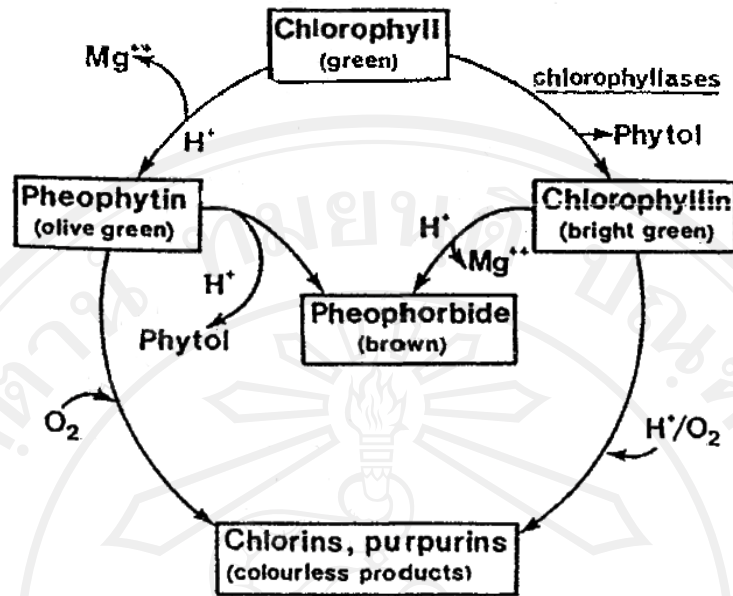
คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นไดเอสเตอร์ (diester) คือ ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิกแอซิด (-COOH) สองหมู่ ซึ่งสามารถเกิดเอสเทอร์กับเมทานอลหนึ่งหมู่ และฟิทิลแอลกอฮอล์ (phytyl alcohol) อีกหนึ่งหมู่ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 7 และ 10 ตามลำดับ คลอโรฟิลล์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อของพืชจะพบอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplasts) โดยจับกับแคโรทีนอยด์ไขมัน และลิโปโปรตีน (lipoprotein) ซึ่งจะช่วยให้คลอโรฟิลล์เอในเนื้อเยื่อพืชคงตัวมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของคลอโรฟิลล์มีผลต่อสีของคลอโรฟิลล์และสีของอาหาร โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ เช่น ความเป็นกรด ความ

ร้อน โลหะ และเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (chlorophyllase) โดยเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส เป็นเอนไซม์ที่พบตามธรรมชาติในเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งการแยกหมู่ไฟทอล (phytol) ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ จะทำให้คลอโรฟิลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นคลอโรฟิลล์ไลด์ (chlorophyllide) ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี โดยจะเกิดขึ้นได้ง่ายที่อุณหภูมิระหว่าง 60-82.2°C ความสามารถในการทำงานของคลอโรฟิลล์เลสจะลดต่ำลง และถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 100°C

ความร้อนและกรด มีผลต่อโครงสร้างของคลอโรฟิลล์โดยเฉพาะแมกนีเซียมที่อยู่ตรงกลางของโครงสร้างเตตราไพโรล โดยคลอโรฟิลล์ที่แมกนีเซียมยังคงอยู่จะมีสีเขียวแต่ถ้าเกิดการสูญเสียแมกนีเซียมออกจากโครงสร้างคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟติน (pheophytin) ซึ่งมีสีเขียวเข้มปนน้ำตาล โลหะบางชนิด เช่น สังกะสี และทองแดง สามารถเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ได้ นอกจากนั้นยังพบว่าคลอโรฟิลล์ เอ จะเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟตินได้เร็วกว่าคลอโรฟิลล์ บี

พีเอช (pH) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เนื่องจากความร้อน โดยการให้ความร้อนภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง (pH 9.0) คลอโรฟิลล์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่การให้ความร้อนภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (pH 3.0) คลอโรฟิลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้แสดงดังรูป 2.6

การให้ความร้อนแก่ผัก และผลไม้จะมีผลทำให้ไฮโดรเจนซึมผ่านผนังเซลล์เมมเบรนเข้าไปภายในคลอโรพลาสต์มากขึ้น โดยไฮโดรเจนจะซึมผ่านผนังเซลล์เมมเบรนและเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมอะตอมในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ซึ่งจะทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟตินได้ง่าย ดังนั้นการเติมเกลือของโซเดียม แมกกาเนต หรือแคลเซียมในน้ำที่ใช้ลวกผักจะสามารถลดการเกิดฟีโอไฟตินได้ โดยไอออนประจุบวกของเกลือดังกล่าวจะช่วยให้ประจุที่ผิวของผนังเซลล์เมมเบรนเป็นกลาง และลดการซึมผ่านของไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่เซลล์ได้ (อรุณี, 2552)



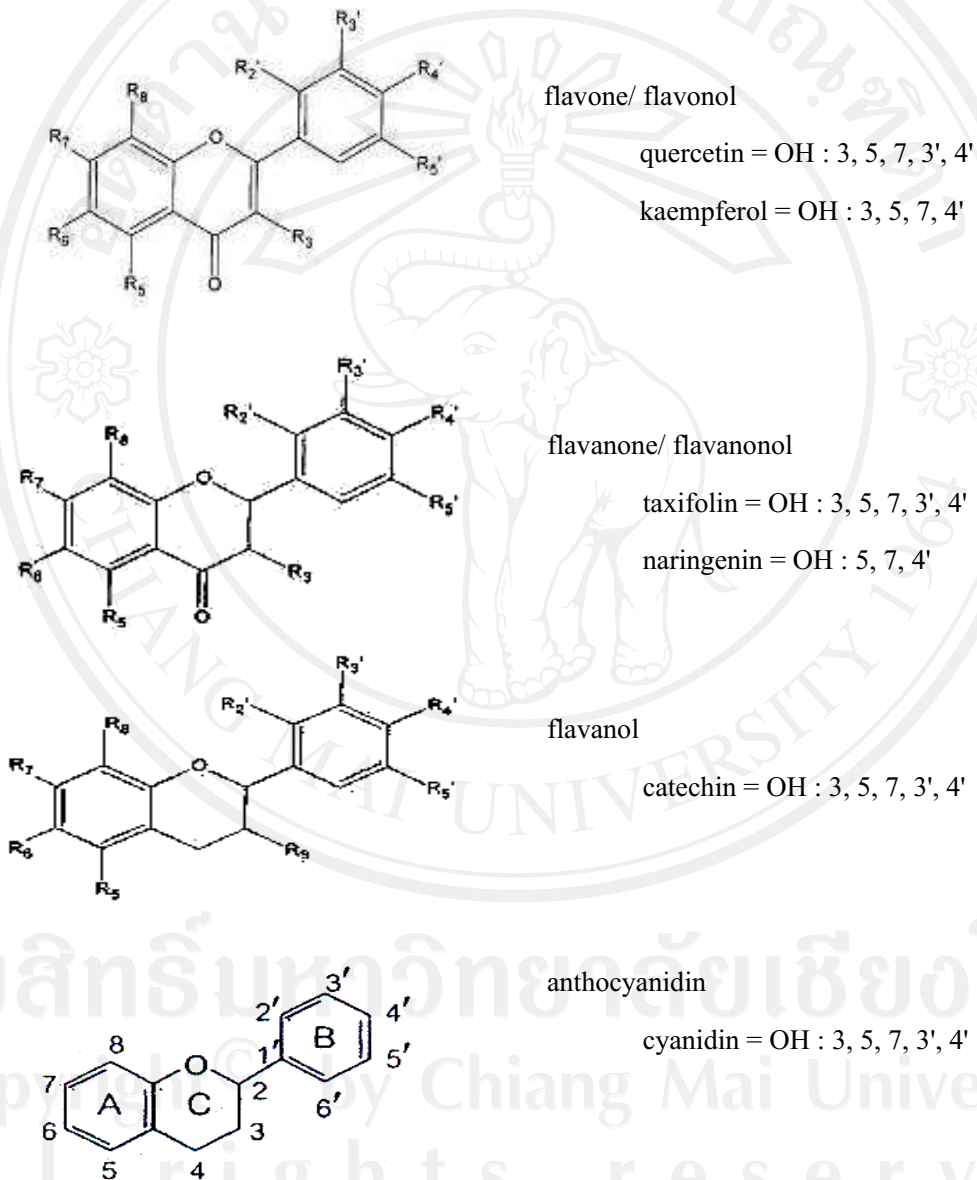
รูป 2.6 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์

ที่มา: Wills *et al.* (1998)

8. สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลหรือโพลีฟีนอลเป็นสารประกอบหลักที่มีโครงสร้างมากกว่า 8,000 โครงสร้าง สามารถพบได้ในพืชหลากหลายชนิด เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ พืชที่มีฝัก รวมไปถึงเครื่องดื่ม เช่น ชา กาแฟ และโกโก้ สารประกอบฟีนอลในธรรมชาตินั้นสามารถจำแนกได้ไม่น้อยกว่า 10 ประเภท ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบในอาหาร ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ลิกแนน (lignans) สติลเบน (stilbenes) คูมาริน (coumarins) และแทนนิน (tannins) โดยกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบฟีนอลที่สำคัญที่สุด โครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลจะมีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีหมู่อื่นๆ เข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงดังรูป 2.7 มีสมบัติเป็นสารอินทรีย์ สามารถละลายได้ในน้ำ ที่พบในพืชมักจะรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล เช่น น้ำตาลกลูโคส กาแลคโตส แรมโนส และไซโลส ในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Sapkoet, 2007) สารประกอบฟีนอลนอกจากมีสมบัติให้สีและรสชาติในผักผลไม้แล้ว ยังมีสมบัติในการเป็นสารต้านทานโรคด้วย โดยสารประกอบฟีนอลบางชนิดสามารถป้องกันและยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ สารประกอบฟีนอลชนิดต่างๆ อาจทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นเมื่อเซลล์ของผักและผลไม้ถูกกระทบกระเทือนหรือมีบาดแผล เช่น เมื่อปอกเปลือกผลไม้แล้วปล่อยให้สัมผัสกับอากาศ เนื้อของผลไม้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol

oxidase; PPO) ซึ่งเปลี่ยนโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลเป็นควิโนน (quinone) แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น (polymerization) และมีสีน้ำตาล (จริงแท้, 2542) ทั้งนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลของพืชยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน เช่น สกุน ชนิด และพันธุ์ และปัจจัยภายนอก เช่น สภาพแวดล้อม วิธีการเก็บเกี่ยว และระยะเวลาการเก็บรักษา (Duthie *et al.*, 2000)



รูป 2.7 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลบางชนิด

ที่มา: Dzyubak (2007)

2.1.2 สรรพคุณของบัวบก

บัวบกจัดเป็นสมุนไพรที่มีการใช้เป็นยารักษาโรคต่างๆ อย่างกว้างขวางในเอเชียใต้ ในตำราอายุรเวทของประเทศอินเดียและจีนมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ โดยมีสรรพคุณในการรักษาโรคตับ โรคเรื้อน หืดหอบ วัณโรค ไชข้ออักเสบ (rheumatism) โรคเท้าช้าง โรคแผลในกระเพาะอาหาร โรคไต โรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบ และโรคบวมน้ำใต้ (Jaganath and Ng, 1999) อีกทั้งยังช่วยบำรุงโลหิต บำรุงสมอง บำรุงประสาท สร้างภูมิคุ้มกัน (Anonymous, 2004) สร้างกล้ามเนื้อให้แข็งแรง บำรุงผิวพรรณ แก้อาการอ่อนเพลีย ป้องกันโรคมะเร็ง รักษาอาการฟกช้ำ กระตุ้นการเรียนรู้และความจำ เป็นต้น (Brinkhaus *et al.*, 2000) นอกจากนี้สารสกัดที่ได้จากใบบัวบกยังช่วยบรรเทาอาการแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก แผลฝีหนอง หรือแผลสด เนื่องจากมีสารกลุ่มไตรเทอร์ปีน คือ อะเซตีลโคโคไซด์และกรดแมคดิแคสติก ที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และสาร triterpenoid ที่มีฤทธิ์กล่อมประสาท และบางตัวมีฤทธิ์กดประสาทอย่างอ่อนทำให้ช่วยแก้ปวดได้ โดยสาร triterpenoid ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างคอลลาเจน ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเซลล์ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย ทั้งนี้ อุษณีย์ (2547) ได้ศึกษาหาสารต้านมะเร็งลำไส้ใหญ่จากน้ำคั้นใบบัวบก โดยทดลองในหนูขาวที่ถูกกระตุ้นจนเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ พบว่าเซลล์ที่ผิดปกติมีขนาดลดลงหลังจากเติมสารสกัดจากใบบัวบกลงในเซลล์มะเร็งในหลอดทดลอง นอกจากนั้นยังพบว่า การให้สารสกัดจากใบบัวบกแก่หนูขาว 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน สามารถเหนี่ยวนำให้หนูขาวสร้างเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ คือมี superoxide dismutase (SOD) และ catalase เพิ่มขึ้น ขณะที่เอนไซม์ glutathione peroxidase (GSHPx) ลดลง (Jayashree *et al.*, 2003) นอกจากนั้น Cheng and Koo (2000) พบว่าสารสกัดจากบัวบกสามารถยับยั้งแผลในกระเพาะอาหารของหนูได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสารในบัวบกช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังเยื่อในกระเพาะอาหาร ลดการบาดเจ็บเนื่องมาจากอนุมูลอิสระ และ Chang *et al.* (1977) พบว่า ethanol เป็น solvent ที่สามารถสกัดสารต้านออกซิเดชันได้มากที่สุดเพราะ ethanol มีสภาพความเป็นขั้วที่เหมาะสมกับ สารต้านออกซิเดชันในบัวบก และแม้ว่า ethanol จะสกัดได้ดีที่สุด แต่น้ำก็สามารถสกัดสารต้านออกซิเดชันได้มากเช่นกัน หมายความว่าสารต้านอนุมูลอิสระของบัวบกสามารถละลายน้ำได้

ในด้านเครื่องสำอางบัวบกมักถูกนำมาผลิตเป็นสารสำคัญเพื่อช่วยลดอาการนูนและแดงของแผลที่แข็งเป็นไต ช่วยให้แผลที่แข็งนุ่มลง ช่วยในการลดริ้วรอยเนื่องจากสามารถกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนของผิว อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการใช้รักษาโรคที่เกิดจากการเสื่อมประสิทธิภาพของหลอดเลือดดำ (venous insufficiency) และหน้าท้องลาย (striae gravidarum) นอกจากนั้นยังพบว่าบัวบกมีประสิทธิภาพในการสมานแผล (wound healing) (Barbosa *et al.*, 2008) ปัจจุบันมีข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง และในหลอดทดลองสนับสนุนว่าบัวบกมี

ฤทธิ์ในการสมานแผล กระตุ้นการสร้างไขมัน และโปรตีนที่จำเป็นต่อผิวหนัง ป้องกันการเกิดแผลเปื่อย (ulcer-protective) หม่าแบคทีเรีย และไวรัส กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (immunomodulatory effect) ต้านออกซิเดชัน มีฤทธิ์ต่อจิตประสาท (psychoneuropharmacological effect) และปกป้องเซลล์ประสาท (neuroprotective effect) ได้ (จูร์รัตน์, 2549) สารสกัดที่ได้จากบัวบก เช่น อะเซตีลโคลีนมีคุณสมบัติในการรักษาโรคเรื้อนกวาง (Boiteau *et al.*, 1949) กรดอะเซตีลติกใช้รักษาบาดแผลในหนู (Vogel *et al.*, 1990) และยังช่วยให้แผลจากไฟไหม้มีขนาดเล็กลง (Manuel and Eduardo, 1976) แมคดิแคสโซไซค์มีฤทธิ์เป็นสารต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) และกรดแมคดิแคสติกมีฤทธิ์ช่วยรักษาบาดแผล และกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนได้ (Si-Qi and Hwei-Fang, 1981)

ด้วยสรรพคุณที่มากมายของบัวบกนี้เอง ทำให้มีการนำบัวบกมาแปรรูปเพื่ออุปโภคบริโภคกันอย่างกว้างขวางทั้งในรูปของยาสมุนไพร เครื่องสำอาง และอาหาร อาทิเช่น ชัญญรัตน์ (2550) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ และเคมีในระหว่างการเก็บรักษาเครื่องดื่มบัวบกผงชนิดเติมน้ำตาล และชนิดไม่เติมน้ำตาลที่ผ่านการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งเตรียมจากน้ำบัวบกสด พบว่าน้ำบัวบกคั้นรูปมีค่ากรด-ด่างเท่ากับน้ำบัวบกสด การเติมน้ำตาลช่วยรักษาคุณภาพสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและคลอโรฟิลล์ในระหว่างกระบวนการทำให้แห้งได้ โดยบัวบกผงชนิดเติมน้ำตาลและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 40°C มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกคลอโรฟิลล์ และค่าสี น้อยกว่าบัวบกผงชนิดไม่เติมน้ำตาล ซึ่งบัวบกผงที่ผ่านการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งและเก็บที่อุณหภูมิ 40°C มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมากกว่าที่ 25°C ตลอดระยะเวลา 5 สัปดาห์ ปิยะมาศ (2550) ได้ศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำใบบัวบกพร้อมดื่มด้วยเทคนิคความดันสูงยิ่ง ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าน้ำใบบัวบกที่ผ่านความดันที่ 400 500 และ 600 MPa อุณหภูมิ 30 40 และ 50°C เวลา 20 และ 40 นาที ในทุกสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำใบบัวบก (มพช. 163/2552) อีกทั้งยังพบว่าน้ำใบบัวบกที่ผ่านการให้ความดันที่ 600 MPa อุณหภูมิ 50°C เวลา 40 นาที มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราน้อยที่สุด โดยน้ำใบบัวบกที่ผ่านความดันสูงยิ่งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพและเคมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำใบบัวบกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 90°C เป็นเวลา 15 นาที นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงส่วนประกอบทางเคมี และสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำใบบัวบกสด ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าน้ำใบบัวบกมีปริมาณของแมคดิแคสโซไซค์ อะเซตีลโคลีน กรดแมคดิแคสติก กรดอะเซตีลติก วิตามินซี และเบตาแคโรทีน เท่ากับ 3.80 4.49 1.66 2.69 4.77 และ 2.50 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อย มิลลิลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำน้ำใบบัวบกไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันสูงยิ่ง การ

พาสเจอไรซ์ และการสเตอริไรซ์ พบว่าปริมาณสารสำคัญดังกล่าวมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำใบบัวบกสด (Wongfhum *et al.*, 2009) อีกทั้งงานวิจัยในปัจจุบันยังมีการศึกษาถึงคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของตัวอย่างโดยได้ทำการศึกษาในบวบกอบแห้ง น้ำชาบวบก น้ำบวบกพาสเจอไรซ์ และบวบกผงชงดื่ม พบว่าเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Total phenol assay, 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity assay และ 2, 2-azino-bis (3-ethylbenzo-6-thiazoline-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging activity assay พบว่าบวบกอบแห้งมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันสูงที่สุด รองลงมา คือ บวบกทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง บวบกทำแห้งแบบพ่นฝอย น้ำชาบวบก และน้ำบวบกพาสเจอไรซ์ ตามลำดับ และเมื่อวัดคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay พบว่าน้ำชาบวบกมีสารต้านออกซิเดชันทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ บวบกทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง บวบกทำแห้งแบบพ่นฝอย และน้ำบวบกพาสเจอไรซ์ ตามลำดับ (นฤมล และ ศศิธร, 2550)

2.2 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

2.2.1 การเน่าเสียของอาหารเกิดจากจุลินทรีย์

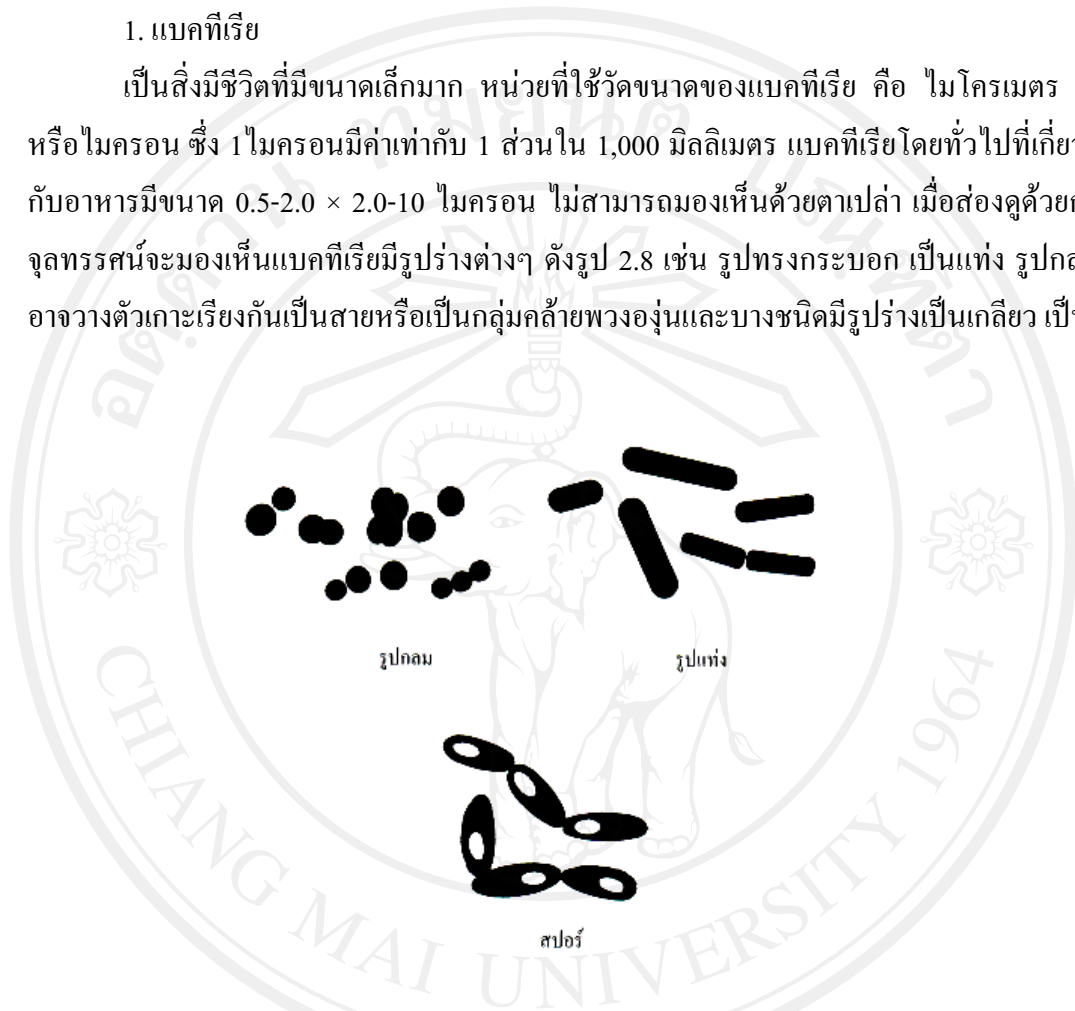
จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก พบกระจายอยู่ทั่วไปในอากาศ ดิน น้ำ อาหารและอุปกรณ์สำหรับใช้ประกอบอาหาร รวมทั้งตามมือและทางเดินอาหารของคนและสัตว์ จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญมากในวงการอุตสาหกรรมอาหาร เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและเน่าเสีย หรือเกิดโรคอาหารเป็นพิษระบาด อาหารส่วนใหญ่ในแต่ละฤดูกาลมีมากเกินกว่าจะบริโภคให้หมดได้ มีการเน่าเสียเกิดขึ้นจนกระทั่งต้องทิ้งไป ก่อให้เกิดการสูญเสียด้านเศรษฐกิจมากมาย อาหารสดที่ได้จากพืชจะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสัตว์ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากถูกฆ่า จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารต้องการพลังงาน เริ่มด้วยการใช้เอนไซม์ต่างๆ ที่มีอยู่ในเซลล์ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอาหารจากนั้นจึงนำสารต่าง ๆ ที่ย่อยสลายแล้วไปใช้เพื่อการอยู่รอด การเจริญ และการขยายพันธุ์ต่อไป อาหารที่จุลินทรีย์ย่อยสลายจะมีการเสื่อมคุณภาพ มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น อาหารประเภทโปรตีน ได้แก่ กุ้ง ปลา และเนื้อสัตว์ จะมีกลิ่นเหม็น

2.2.2 จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย

จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเน่าเสียมี 3 ประเภท ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์และรา

1. แบคทีเรีย

เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก หน่วยที่ใช้วัดขนาดของแบคทีเรีย คือ ไมโครเมตร (μm) หรือไมครอน ซึ่ง 1 ไมครอนมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนใน 1,000 มิลลิเมตร แบคทีเรียโดยทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับอาหารมีขนาด $0.5-2.0 \times 2.0-10$ ไมครอน ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมองเห็นแบคทีเรียมีรูปร่างต่างๆ ดังรูป 2.8 เช่น รูปทรงกระบอก เป็นแท่ง รูปกลมซึ่งอาจวางตัวเกาะเรียงกันเป็นสายหรือเป็นกลุ่มคล้ายพวงอุ้งนและบางชนิดมีรูปร่างเป็นเกลียว เป็นต้น



รูป 2.8 แบคทีเรียรูปกลม รูปแท่ง และสปอร์

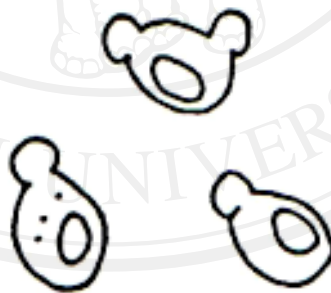
ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

แบคทีเรียโดยทั่วไปในสภาพที่กำลังเจริญซึ่งสามารถย่อยอาหารได้ดีในสภาพพักตัวหรือเรียกว่า ระยะสปอร์ซึ่งเป็นสภาพที่ยากแก่การทำลาย เซลล์แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกทำลายโดยการพาสเจอร์ไรซ์หรือที่อุณหภูมิน้ำเดือด แต่ในสภาพสปอร์สามารถทนต่อการต้มที่ 100°C ได้เป็นเวลานานถึง 6 ชั่วโมง แบคทีเรียมีทั้งชนิดที่สร้างสปอร์และไม่สร้างสปอร์ ชนิดที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต แบคทีเรียเพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวตามขวางอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม แบคทีเรียเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่าทุกๆ 30 นาที คือแบคทีเรียเพิ่มจำนวนจาก 1 เซลล์เป็น 2 เซลล์ ดังนั้นอาหารที่มีแบคทีเรียปนเปื้อนเพียง 1 เซลล์ภายใน

ระยะเวลา 10 ชั่วโมงเท่านั้นจะมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่าหนึ่งล้านเซลล์ ตัวอย่างแบคทีเรียที่ทำให้
อาหารเน่าเสียได้แก่ *Pseudomonas Acinetobacter Moraxella Alcaligenes* และ *Flavobacterium*
เอนไซม์บางชนิดของแบคทีเรีย เช่น เอนไซม์โปรตีเอส (protease) จะย่อยโมเลกุลของโปรตีนให้
สลายตัวเป็นสารประกอบต่างๆ ซึ่งมีกลิ่นเหม็น เช่น แอมโมเนีย แอมีน (amine) ฟีนอล (phenol) อิน
โดล (indole) เมอแคพเทน (mercaptan) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ส่วนรสเปรี้ยวของอาหารและก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่มักเกิดจากการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตของแบคทีเรียและ
สลายให้กรดต่างๆ

2. ยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ส่วนใหญ่ขยายพันธุ์โดยการแตก
หน่อที่ปลายของเซลล์ เมื่อโตเต็มที่ จะหลุดออกจากเซลล์แม่ทันทีหรืออาจแตกหน่อต่อไปได้อีก
ยีสต์ที่พบมาก ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* ดังรูป 2.9 ยีสต์เจริญได้ดีในอาหารที่มีปริมาณ
น้ำตาลมาก เช่น น้ำผลไม้ และชอบอาหารที่มีรสเปรี้ยวจึงทนต่ออาหารที่มีกรดได้ดีกว่าแบคทีเรีย
สปอร์ของยีสต์ไม่ทนต่อความร้อน อุณหภูมิเพียง 77°C เท่านั้นก็สามารถทำลายสปอร์ของยีสต์ได้
เป็นคุณสมบัติที่ตรงกันข้ามกับสปอร์ของแบคทีเรียซึ่งทนความร้อนได้ดีมาก



รูป 2.9 เซลล์แม่ และหน่อของ *Saccharomyces cerevisiae*

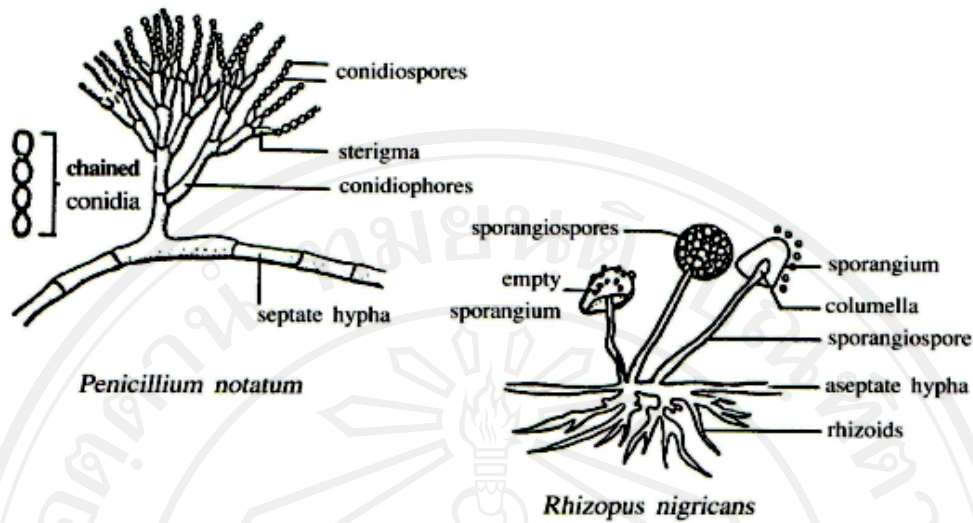
ที่มา: และคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

อาหารที่เกิดการเน่าเสียจากยีสต์มักมีกลิ่นหมัก มีเมือกและฝ้าเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้า สำหรับ
เครื่องดื่มจะขุ่นและมีฟองก๊าซเกิดขึ้น ยีสต์มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถใช้เอนไซม์ย่อยกรดอินทรีย์
ต่างๆ ที่ใช้ในการถนอมอาหารเช่น กรดแล็กติก กรดซิตริก และกรดแอสซิติคได้ เมื่อยีสต์ใช้กรด
ต่างๆ ดังกล่าว กรดจะมีความเข้มข้นลดลงเป็นผลให้อาหารมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของ

แบคทีเรียชนิดที่เป็นสาเหตุของอาหารเน่าเสียได้ อาหารที่เกิดการเสื่อมคุณภาพและเน่าเสียจากยีสต์ส่วนใหญ่ได้แก่ อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลมาก เช่น แยม น้ำเชื่อม และผลไม้แห้ง ซึ่งเกิดจาก *Saccharomyces rouxii* และ *Shizosaccharomyces octosporus* นอกจากนี้อาหารที่มีปริมาณเกลือมาก เช่น ผักดอง แสม เบคอน และเนื้อเค็ม มักเกิดการเสื่อมคุณภาพจากยีสต์ได้เช่นกัน ส่วนมากเกิดจาก *Hansenula*, *Saccharomyces* และ *Torelopsis*

3. รา

ราเป็นจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งที่อยู่รอบการอาหารและผู้บริโภค รู้จักดี พบอยู่ทั่วไปมีรูปร่างลักษณะและสีต่างกัน มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เซลล์ของรามีรูปร่างติดต่อกันเป็นเส้นใยและสร้างสปอร์ที่ปลายของเส้นใยทำหน้าที่สำหรับขยายพันธุ์ สปอร์มีหลายสี เช่น เหลือง เขียว น้ำตาล และดำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของรา ตัวอย่างราที่เป็นสาเหตุของอาหารเน่าเสีย ได้แก่ เพนนิซิลเลียม (*Penicillium*) แอสเพอร์จิลลัส (*Aspergillus*) และไรโซพัส (*Rhizopus*) ดังรูป 2.10 โดยทั่วไปราเจริญได้ช้ากว่ายีสต์ และแบคทีเรีย ดังนั้นอาหารที่เหมาะสมต่อการเน่าเสียในระยะแรกจะเจริญได้ช้า แต่หลังจากที่ผ่านช่วงแรกไปแล้วราก็จะเจริญต่อไปได้อย่างรวดเร็ว ดังที่เห็นได้จากอาหารที่มีราปนเปื้อนอยู่เพียงเล็กน้อย หลังจากทิ้งไว้เพียงหนึ่งหรือสองวันจะเห็นราขึ้นเต็มไปหมด ราเป็นปัญหาในอุตสาหกรรมอาหารมาก เนื่องจากสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี เช่น ในอาหารที่มีความชื้นเพียงเล็กน้อยหรือในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกรด ราคีสามารถเจริญและทำให้อาหารเน่าเสียได้ การเน่าเสียของผักและผลไม้ส่วนใหญ่มักเริ่มจากราเข้าไปย่อยแป้งและน้ำตาล เอนไซม์ต่างๆ จากรา เช่น ทรานเซลิมิเนส (transeliminase) และเอสเทอเรส (esterase) ไปทำลายเนื้อเยื่อของพืช เซลลูเลส (cellulase) มีหน้าที่ย่อยผนังเซลล์ของผักและผลไม้ ส่วนโปรตีเอส (protease) แอมิเลส (amylase) และเอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งย่อยคาร์โบไฮเดรตจะทำหน้าที่ทำลายโปรโทพลาสซึมได้ภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่วัน ราคีสามารถทำลายโครงสร้างของผักและผลไม้ได้เกือบหมด การเจริญของราในผักและผลไม้โดยทั่วไปจะทำให้เนื้อเยื่อของพืชแตกสลายและเกิดการเน่าเสีย นอกจากราเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ผักและผลไม้เน่าเสียแล้ว ราคียังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ขนมปังและผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เสื่อมคุณภาพ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีกลิ่นอับ มีกลิ่นราและสามารถมองเห็นโคโลนีของราได้ชัดเจน ราชนิดที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารต่างๆ เกิดการเน่าเสียได้แก่ *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Furasium* และ *Mucor* ส่วนการเน่าเสียของอาหารทุกชนิดมักเกิดจากเชื้อราชนิดที่ทนต่อสภาพความแห้งได้ดี คือ *Xeromyces biosporus* ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในวงการอุตสาหกรรมอาหารมากมาย (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546)



รูป 2.10 ราชนิดต่างๆ ที่พบในอาหาร

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

2.3 น้ำตาลซูโครส

น้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทรายที่ผลิตเป็นอุตสาหกรรมนั้นจะผลิตจากอ้อย (sugar cane) ซึ่งเป็นพืชที่ปลูกในเขตร้อน ประมาณ 60% และผลิตจากหัวบีท (beet root) ซึ่งปลูกในเขตอบอุ่น ประมาณ 40% (Yudkin, 1971) กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยและหัวบีท มีหลักการคล้ายกัน คือสกัดเอาสารละลายน้ำตาลออกมา (ในกรณีที่เป็นอ้อย ใช้วิธีบีบคั้นเอาน้ำอ้อย ส่วนหัวบีทจะต้องใช้น้ำสกัด) นำมากรองให้สะอาด แล้วต้มระเหยเอาน้ำออกจนถึงระดับที่น้ำตาลสามารถตกผลึกแยกตัวออกมาได้

2.3.1 สมบัติของน้ำตาลซูโครส

1. ใ้รสหวาน เป็นลักษณะที่เด่นมากของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่มีน้ำตาลเป็นส่วนผสมหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลละลายในน้ำได้ง่าย ทำให้ขณะที่บริโภคผลิตภัณฑ์อยู่ในปาก จะรู้สึกหวานเร็วกว่าการบริโภคผลิตภัณฑ์กลุ่มที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลักในเฟสต่อเนื่องที่มีปริมาณน้ำตาลเท่ากัน
2. ให้น้ำหนักและน้ำหนักแก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ถูกกวาดโดยทั่วไป จะมีการใช้น้ำตาลถึง 70% ของน้ำหนักทั้งหมด แต่คิดเป็นราคาต้นทุนเพียง 30% เท่านั้น จึงถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก (สุวรรณ, 2543)
3. การเกิดอินเวอร์ชัน น้ำตาลซูโครสสามารถถูกแยกให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคือ น้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสในปริมาณที่เท่าๆ กัน ซึ่งเรียกรวมว่า น้ำตาลอินเวิร์ต ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลอินเวิร์ต คือ อัตราการให้ความร้อน ระยะเวลาการให้ความร้อน ปริมาณกรดหรือค่าพีเอช

ของสารละลาย และเอนไซม์อินเวอร์เทส โดยในระบบที่มีค่าพีเอชต่ำและอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดน้ำตาลอินเวิร์ตในปริมาณที่สูง (ศิริลักษณ์, 2525) น้ำตาลอินเวิร์ตมีผลต่อการยับยั้งการตกผลึกของน้ำตาลซูโครส โดยเฉพาะในอาหารที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง อย่างไรก็ตาม หากมีน้ำตาลอินเวิร์ตมากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลเดกซ์โทรสได้ และเนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้นได้ง่าย ซึ่งอาจทำให้ลูกกวาดเยิ้มและเหนียวติดวัสดุที่ห่อ (ไพบูลย์, 2532)

4. การละลาย น้ำตาลจะละลายได้ดีที่อุณหภูมิห้อง โดยละลายได้จนมีความเข้มข้นสูงสุดถึง 66.4% ที่อุณหภูมิ 20°C และ 76.4% ที่อุณหภูมิ 70°C หากเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 100°C จะละลายได้ถึง 82% (สายสนมและสิริ, 2543)

5. จุดเดือดของสารละลายน้ำตาล ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารละลายน้ำตาลที่อิ่มตัว น้ำตาลจะละลายได้เพิ่มขึ้น และจุดเดือดของสารละลายจะสูงขึ้นจากเดิม (ศิริลักษณ์, 2525) กล่าวได้ว่าสารละลายน้ำตาลซึ่งมีความเข้มข้นคงที่ จะมีจุดเดือดคงที่ที่จุดหนึ่งเสมอ ซึ่งกฎข้อนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิตลูกกวาดให้ได้ลักษณะตามต้องการ

6. ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ หรือ โบเม่ การวัดค่าจะวัดที่อุณหภูมิมาตรฐาน คือ 20°C (สุวรรณ, 2543)

องศาบริกซ์ (°Brix หรือ °Bx) หมายถึง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของน้ำตาลซูโครสในสารละลายน้ำตาล ที่วัดด้วยเครื่องแฮนดรีแฟรกโตมิเตอร์ (hand refractometer)

โบเม่ (Baume, °Be') มีค่าเท่ากับ M-M/S

เมื่อ $M = 145$ (ใช้ในสหรัฐอเมริกาและบางประเทศในยุโรป)

หรือ $M = 144.3$ (ใช้เฉพาะในสหราชอาณาจักร)

$S =$ ความถ่วงจำเพาะของสารละลายน้ำตาล

7. การเป็นสารละลายอิ่มตัวยังคง จากสมบัติการละลายของน้ำตาลที่ละลายได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้น้ำตาลสามารถอยู่ในรูปของสารละลายอิ่มตัวยังคง โดยน้ำตาลในสภาวะนี้จะอยู่ในรูปอสัณฐาน (amorphous) และเป็นสารละลายที่มีความหนืดสูง โมเลกุลของน้ำตาลเคลื่อนที่มาจับเรียงตัวกันได้ยาก ทำให้ยังไม่มีเกิดการเกิดผลึกขึ้น การเติม co-solute ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าน้ำตาลซูโครส เช่น สตาร์ช มอลโตเดกซ์ทริน และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายสตาร์ชด้วยกรดที่เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสเป็นองค์ประกอบเป็นการเพิ่มค่า Tg (glass transition temperature) ของสารละลายน้ำตาล สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงดังกล่าวจะจับล้อมรอบน้ำตาลซูโครสในรูปของอสัณฐานของสารผสม ซึ่งช่วยชะลอการเกิดผลึกของน้ำตาลซูโครส ทำให้อิ่มตัวยังคงของน้ำตาลมีความคงตัวมากขึ้น

8. การตกผลึกจากสารละลายอิมัลชันด้วยวดยิ่ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สารละลายน้ำตาลอิมัลชันด้วยวดยิ่ง ความเข้มข้นของสารละลายจะยิ่งสูงขึ้นจนมีความหนืดเท่ากับ 10^{12} Pa.s น้ำตาลซูโครสจะเปลี่ยนสถานะเป็นกลาส (glass transition) การทำให้สารละลายมีความเข้มข้นสูงกว่าจุดนี้ จะเกิดสถานะกลาสที่คงตัว นอกจากนั้นการทำให้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ เย็นลงอย่างรวดเร็วจะเกิดสถานะกลาสได้โดยไม่ผ่านขั้นตอนการเกิดผลึก (Roos and Karel, 1991)

9. การเกิดโครงสร้างแบบเจล น้ำตาลเป็นส่วนผสมสำคัญที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เพกทินที่มีหมู่เมทอกซีสูง (high methoxyl pectin) เป็นสารก่อเจลโดยทำหน้าที่เป็น dehydration agent และเป็นปัจจัยที่สนับสนุนให้เกิดโครงร่างตาข่าย ซึ่งน้ำตาลจะดึงชั้นของน้ำที่อยู่ล้อมรอบสายเพกทิน ทำให้สายเพกทินเข้ามาใกล้กัน นอกจากนั้นแล้วน้ำตาลยังมีผลต่อการเกิด hydrophobic interaction และมีผลทำให้สายเพกทินเข้ามาใกล้กันมากขึ้น

2.4 การถนอมอาหารโดยใช้ความดันสูงยิ่ง

2.4.1 หลักการของกระบวนการความดันสูงยิ่ง

เทคนิคความดันสูงยิ่งอาศัยหลักการอัดของเหลวให้มีปริมาตรเล็กลง โดยความดันสูงยิ่งจะส่งผ่านเข้าผลิตภัณฑ์ต่างๆ กัน ทุกๆ ส่วน ในเวลาเดียวกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ไม่ขึ้นกับขนาด รูปร่าง และส่วนประกอบของอาหาร (อรุณี, 2547) หลักการของ Le Chatelier กล่าวว่าเมื่อระบบอยู่ในสถานะสมดุลถ้าทำให้สถานะของระบบเปลี่ยนไป (เช่น การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การเปลี่ยนแปลงเฟส หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล) ร่วมกับการลดปริมาตรลงจะทำให้ความดันเพิ่มขึ้น (Leadley and Williams, 1997) กระบวนการความดันสูงยิ่งทำให้อาหารมีปริมาตรลดลง และยังส่งผลต่อพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ เช่น พันธะไฮโดรเจน และพันธะไอออนิก ซึ่งความดันจะไม่มีผลต่อองค์ประกอบของอาหารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น สารอาหาร และลักษณะทางเนื้อสัมผัส ในขณะที่องค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น โครงสร้างตติยภูมิ และพันธะโควาเลนต์บางชนิดจะถูกเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความดัน

กระบวนการความดันสูงสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วโดยมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมสภาพ มีผลต่อไขมันที่เป็นองค์ประกอบทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ คือ เสียความสามารถในการควบคุมการซึมผ่านของสารละลาย เป็นผลให้เซลล์ขาดอาหาร นอกจากนั้นความดันสูงยังสามารถทำลายผนังเซลล์และเอนไซม์ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ส่งผลให้เซลล์ไม่สามารถเจริญได้ (นวพร, 2549) ระดับความดันที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ส่วนใหญ่และใช้กันมากอยู่ในช่วง 300-700 MPa (Phua and Davey, 2007)

การใช้ความดันสูงจะช่วยทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ รวมทั้งโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ ในอาหารให้เสียสภาพได้ (Chapleau *et al.*, 2006) หลักการพื้นฐานของการใช้ความดันสูงกับอาหาร คือ การบีบอัดน้ำที่อยู่ล้อมรอบอาหาร การลดปริมาตรน้ำที่ความดันสูงขึ้นถือว่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ น้ำจะมีปริมาตรลดลงประมาณ 4% ที่ 100 MPa 7% ที่ 200 MPa และ 11.5% ที่ 400 MPa ที่อุณหภูมิ 22°C และน้ำจะเปลี่ยนเป็นของแข็งที่ความดันสูงกว่า 1,000 MPa ที่อุณหภูมิห้อง (วิล, 2545)

เมื่อสารละลายโปรตีนถูกบีบอัดตามที่ได้อธิบายมาแล้ว โปรตีนจะเกิดการเสียสภาพอย่างย้อนกลับได้หรือย้อนกลับไม่ได้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโปรตีนนั้นรวมทั้งค่าความดันที่ให้ ทั้งนี้เนื่องจากพันธะนอนโควาเลนต์ จะถูกทำลายลงหรือมีการสร้างพันธะใหม่จากการที่ระบบมีปริมาตรลดลง พันธะโควาเลนต์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะดังกล่าว โครงสร้างของสารประกอบขนาดใหญ่ เช่น กรดนิวคลีอิก แป้ง โพลีแซคคาไรด์ และไขมัน ซึ่งมีพันธะนอนโควาเลนต์เป็นองค์ประกอบ จะถูกทำลายและสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานที่ความดันสูง เช่น เกิดการเสียสภาพ ตกตะกอน เกิดเจล ในขณะที่สารโมเลกุลเล็กๆ ซึ่งไม่มีพันธะนอนโควาเลนต์ เช่น วิตามิน กลิ่นรส ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ

ความดันจึงมีผลคล้ายคลึงกับความร้อนต่ออาหารและวัตถุทางชีวภาพ กล่าวคือการใช้ความดันสูงให้ผลใกล้เคียงกับการใช้อุณหภูมิสูง แต่ข้อดีของความดันสูงคือน้ำซึ่งเป็นของเหลวจะถูกอัดแต่จะไม่มีผลต่อพันธะโควาเลนต์ ในการใช้ความดันสูงจะไม่พบผลอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นหากใช้ความร้อนในการแปรรูป เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดกลิ่นไหม้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้ความดันสูงในการถนอมอาหาร โดยให้คงรักษากลิ่นรสธรรมชาติไว้ได้จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจ ผลจากการทดลองบีบอัดไขในน้ำด้วยความดันสูงหลายพันเท่าของบรรยากาศ พบการตกตะกอนของโปรตีนไข่ แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ไข่ขาวและไข่แดงจะตกตะกอนโดยสมบูรณ์ที่ 620 และ 400 MPa ตามลำดับ โปรตีนไข่ที่ตกตะกอนจะย่อยง่ายขึ้น โดยมีกลิ่นรสและสีตามธรรมชาติ และปริมาณวิตามินไม่ลดลง การใช้ความดันสูงโดยทั่วไปจะทำให้โปรตีนเสียสภาพ ซึ่งนับเป็นการทำลายเอนไซม์ และทำให้แป้งก่อเจล นอกจากนี้ยังทำลายจุลินทรีย์ต่างๆ โดยไม่ทำลายสารอาหาร (วิล, 2545)

2.4.2 การแปรรูปโดยกระบวนการความดันสูงยิ่ง

กระบวนการใช้ความดันสูงยิ่งในการแปรรูปอาหาร จัดเป็นกระบวนการแปรรูปที่ไม่ใช้ความร้อน (nonthermal process) หรืออาจทำให้เกิดความร้อนขึ้นน้อยมาก ในระหว่างการให้ความดัน (pressurization) หรือที่เรียกว่า adiabatic heat ซึ่งจะให้อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้น (ประมาณ 3°C ต่อ 100 MPa) และขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร อย่างไรก็ตามความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะ

หายไปทันทีที่ลดความดันจนถึงระดับความดันบรรยากาศปกติ ข้อดีของกระบวนการนี้คือการไม่ทำให้เกิดความร้อนซึ่งเป็นผลทำให้คุณภาพอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เป็นการลดปัญหาที่เกิดเนื่องจากความร้อน โดยจะยังคงความสด กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส สี และลดการสูญเสียวิตามินซี และยังเป็นกระบวนการที่สามารถทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย และสามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ ดังนั้นกระบวนการนี้จึงได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น (อรุณี, 2551)

2.4.3 ผลของความดันสูงยิ่งต่อจุลินทรีย์

ความดันสูงยังสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ โดยทั่วไปแบคทีเรียที่อยู่ในระยะ log phase จะทนต่อความดันสูงยิ่งได้น้อยกว่าเซลล์ที่อยู่ในระยะ stationary สปอร์และจุลินทรีย์ที่อยู่ในระยะ death phase อย่างไรก็ตามความดันสูงขนาดปานกลางระหว่าง 300-600 MPa จะสามารถยับยั้งการเจริญหรือทำลายเซลล์ปกติได้ (vegetative cells) นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าการใช้ความดัน 350 MPa เป็นเวลา 30 นาทีหรือ 400 MPa เป็นเวลา 5 นาที จะสามารถลดปริมาณเซลล์ปกติของแบคทีเรีย ยีสต์ และราได้ถึง 10 เท่า การใช้ความดันที่ระดับสูงมากจะทำให้สปอร์ของแบคทีเรียออกและทำลายเซลล์ที่งอกแล้วนี้ เป็นที่รู้กันว่าความดันสูงยิ่งทำให้แวกคิวโอลภายในเซลล์แตก ทำลายผนังเซลล์ และเซลล์เมมเบรน และยังได้มีการสันนิษฐานว่าอาจเกิดจากการที่ความดันสูงยิ่งมีผลต่อเอนไซม์ภายในเซลล์เป็นผลให้เมตาบอลิซึมต่างๆ ถูกทำลาย (Knorr, 1995) ดังรายงานวิจัยของ Houska *et al.* (2006) พบว่าน้ำบรอกโคลีที่ผ่านกระบวนการความดันสูงยิ่งที่ 500 MPa เวลา 10 นาที สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้มากกว่า 1×10^5 CFU/mL ของจุลินทรีย์เริ่มต้น และไม่พบแบคทีเรีย โคลิฟอร์ม ยีสต์และรา และ *Salmonella* ในช่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน นอกจากนี้ Voldich *et al.* (2004) ยังพบว่าความดันสูงยิ่งมีผลต่อสปอร์ของราชนิด *Talaromyces avellaneus* ในน้ำผลไม้ โดยระดับความดันที่ 200 MPa อุณหภูมิ 17°C เวลา 60 นาที สามารถทำลายเซลล์เริ่มต้นจาก 10^6 CFU/mL ให้ลดลงเหลือ 10 CFU/mL ได้

2.4.4 ผลของความดันสูงยิ่งต่อปฏิกิริยาเอนไซม์

ความดันสูงยังสามารถทำลายหรือยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ มีรายงานผลของการเพิ่มความดันสูงยิ่งต่อเอนไซม์ succinate formate และ malate dehydrogenase ซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้ลดลง เมื่อให้ความดันสูงถึง 100 MPa เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้องสามารถทำลายเอนไซม์นี้ได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งได้มีการรายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความดันสูงยิ่งได้แก่ความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของสารตั้งต้น หน่วยย่อยของโครงสร้างเอนไซม์ และอุณหภูมิขณะให้ความดันสูงยิ่ง (Hoover *et al.*, 1989) จากงานวิจัยของ Krebbers *et al.* (2003) พบว่าชมพูมะเขือเทศที่ผ่านความดันสูงยิ่งที่ 700 MPa อุณหภูมิ 90°C เวลา 30 นาที สามารถ

ลดระดับการปนเปื้อนสปอร์ของ *Bacillus stearothermophilus* ได้อย่างน้อย 4.5 log CFU/mL ยับยั้งเอนไซม์ polygalacturonase และ pectin methylesterase ได้มากกว่า 99% อีกทั้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดลดลง สีของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น และปริมาณ lycopene ยังคงมีอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับการสเตอริไลซ์ ที่มีการสูญเสียสูงถึง 40%

2.4.5 ผลของความดันสูงยิ่งต่อปฏิกิริยาชีวเคมี

ได้มีการรายงานว่าผลของการใช้ความดันสูงยิ่งต่อระบบชีวภาพ ได้แก่ การทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ การทำให้ไขมันแข็งตัว และทำให้เมมเบรนแตกสลาย ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ ในส่วนของโปรตีนนั้น โดยทั่วไปมีโครงสร้างอยู่ 4 ระดับ ได้แก่ โครงสร้างระดับแรกซึ่งได้แก่เส้นสายของกรดอะมิโนที่ต่อกันเป็นสายโซ่ (Heremans, 1995) ซึ่งยังไม่มีรายงานว่าความดันสูงยิ่งมีผลต่อพันธะ โควเวเลนต์ (covalent bond) โครงสร้างระดับที่สองได้แก่การที่สายโซ่ของโพลีเปปไทด์ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ทั้งภายในเส้นสายเดียวกันและระหว่างเส้นสาย โครงสร้างระดับที่สามได้แก่เส้นสายต่างๆ ในโครงสร้างที่สองมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (globular shape) ด้วยพันธะนอนโควาเลนต์ซึ่งคาดว่าความดันสูงยิ่งมีผลในการทำลายพันธะนี้ ส่วนโครงสร้างระดับที่สี่ได้แก่การที่โปรตีนกลุ่มก้อนในโครงสร้างระดับที่สามยึดเกาะกันด้วยพันธะนอนโควาเลนต์ซึ่งไม่ทนต่อความดันสูงยิ่งเช่นเดียวกับโครงสร้างในระดับที่สาม (Silva and Weber, 1993)

2.4.6 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงยิ่งคล้ายคลึงกับการแปรรูปโดยการใช้ความร้อนซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป คือ เป็นระบบกะหรือต่อเนื่อง โดยทั่วไปเครื่องจะประกอบด้วยถังทนความดันสูงขนาด 10-50 ลิตร และเครื่องผลิตความดันสูง เมื่อวางอาหารในภาชนะบรรจุลงในถังแล้วจะปิดฝาด้านบนเครื่อง ต่อจากนั้นจะเป็นการสูบลูกกลางในการให้ความดันซึ่งนิยมใช้น้ำเข้ามาทางใต้ถัง ความดันจะถูกส่งผ่านตัวกลางและอาหารอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร อาหารจะไม่เปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากได้รับความดันเท่ากันทุกด้าน โดยเวลาที่ใช้ทั่วไปเป็นระยะเวลาสั้นๆ ไม่เกิน 15 นาที เมื่อได้ความดันตามที่ต้องการแล้วระบบปั๊มจะหยุด ปล่อยให้ความดันจะคงที่โดยที่ไม่จำเป็นต้องให้พลังงานแก่ระบบอีก การแปรรูปอาหารเหลวอาจทำได้โดยการใส่อาหารเหลวหรือน้ำผลไม้ลงในถัง และให้ความดันในระบบกึ่งต่อเนื่อง (วิล, 2545)

2.4.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูง

Lopez-Malo *et al.* (1998) ศึกษาการใช้ความดันสูงยิ่งในน้ำอะโวคาโดเข้มข้น โดยใช้ความดันที่ 345-689 MPa เวลา 10-30 นาที พบว่าค่าสี a^* ของน้ำอะโวคาโดเข้มข้นที่ผ่านความดันสูงยิ่ง

สภาวะดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับน้ำอะโวคาโดสด นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำอะโวคาโดเข้มข้นที่ใช้ ความดันสูงถึง 689 MPa ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีการ ใช้ความดันต่ำกว่า ส่วน Gow and Hsin (1996) รายงานว่าน้ำฝรั่งเข้มข้นที่ผ่านการให้ความดันที่ 600 MPa ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 88-90°C นาน 24 วินาที พบว่า สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ให้มี ปริมาณน้อยกว่า 10 CFU/mL และสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ใน น้ำฝรั่งได้อีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยของ Paris (1998) พบว่าน้ำส้มวาเลนเซียที่ผ่านความดันสูงยิ่งในช่วง 500-700 MPa จะยังคงรักษารสชาติเดิมได้ดีกว่าน้ำส้มที่ผ่านการให้ความร้อนโดยทั่วไป และพบว่า การเพิ่มความร้อนเพียงเล็กน้อย จาก 50 เป็น 60°C จะทำให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพทางประสาท สัมผัสในทุกๆ ด้านของน้ำส้มวาเลนเซียด้วย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ด้าน gas chromatography ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านความดันสูง เช่น Donsi *et al.* (1996) ศึกษาองค์ประกอบ ของกลิ่นในน้ำส้มด้วย gas chromatography พบว่า น้ำส้มที่ผ่านการให้ความดันสูงยิ่งจะมีปริมาณ ของโมโนเนนใกล้เคียงกับน้ำส้มสด แต่ไลโมนีนซึ่งเป็นองค์ประกอบของกลิ่นจะมีความคงตัวน้อย ที่สุด แต่การถนอมโดยความร้อนสารเหล่านี้จะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ความดันยังไม่ทำ ให้องค์ประกอบอื่นของกลิ่น เช่น เทอพิเนน (terpinene) ไชมีน (cymene) ไลนาลูล (linalool) และ ไมร์ซีน (myrcene) เกิดการเปลี่ยนแปลง รวมทั้ง Yen and Lin (1999) ได้ศึกษาสารระเหยด้วย gas chromatography และ mass spectrometry ในผลิตภัณฑ์น้ำฝรั่งที่ผ่านความดันสูงยิ่ง 600 MPa อุณหภูมิ 25°C นาน 15 นาที เก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 และ 25°C พบว่า สารระเหยง่าย คือกลุ่มเอส เทอร์ และแอลกอฮอล์ ในน้ำฝรั่งที่ผ่านการให้ความดันสูงยิ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($p>0.05$) กับน้ำฝรั่งสด นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาที่ 4°C นาน 30 วัน พบว่าสารระเหยกลุ่ม ดังกล่าวยังมีความใกล้เคียงกับน้ำฝรั่งสด เนื่องจากเอนไซม์ในน้ำฝรั่งที่ผ่านความดันถูกยับยั้งไป บางส่วน อีกทั้งยังมีการศึกษาถึงการให้ความดันที่ 200 MPa อุณหภูมิ 25°C เวลา 5 นาที สามารถ ยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli*, *Penicillium sp.*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Listeria plantarum* และ *Listeria mesenteroides* ได้ Tahiri *et al.* (2006) พบว่าน้ำส้ม น้ำแอปเปิล น้ำแอปปริ คอต และน้ำเชอร์รี่ ที่ผ่านกระบวนการให้ความดันสูงยิ่งที่ระดับความดัน 350 MPa เวลา 5 นาที และ อุณหภูมิที่ 40°C สามารถทำลายเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *E. coli* 0157:H7 ได้ (Bayindirli *et al.*, 2006) รวมถึงน้ำใบบวบกพร้อมดื่มน้ำที่ให้ความดันสูงยิ่ง พบว่าน้ำใบบวบกที่ผ่านความดัน 600 MPa อุณหภูมิ 50°C เวลา 40 นาที มีปริมาณแบคทีเรีย ยีสต์และราเหลืออยู่น้อยกว่า 1 CFU/mL และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำใบบวบกที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 15 นาที พบว่าน้ำใบบวบกที่ผ่านความดันสูงยิ่ง และเก็บรักษาที่ 4°C มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้าน

กายภาพ และเคมีเพียงเล็กน้อย และเป็นผลิตภัณฑ์เดียวที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแบคทีเรีย ยีสต์และราตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ (ปิยะมาศ, 2550)

2.5 เทคโนโลยีการทำน้ำผักผลไม้เข้มข้น

น้ำผักผลไม้เป็นอุตสาหกรรมเกษตรอีกประเภทหนึ่ง ที่มีความสำคัญต่อประเทศลุ่มแม่น้ำโขงในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีผักผลไม้สดออกในฤดูกาล และมีปริมาณมากเกินความต้องการของตลาด ซึ่งทำให้ราคาตกต่ำ และเกิดความสูญเสียจากการเน่าเสีย ดังนั้นการนำผักผลไม้มาสกัดเพื่อแปรรูปเป็นน้ำผักผลไม้ จะทำให้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตรให้สูงขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และลดความเสียหายที่เกิดจากข้อจำกัดของอายุการเก็บรักษาลง (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547)

2.5.1 ประเภทของน้ำผักผลไม้

น้ำผักผลไม้สามารถแบ่งออกได้ตามกรรมวิธีการผลิต และความนิยมของตลาดดังนี้

1. น้ำผักผลไม้พร้อมดื่ม เป็นชนิดที่สามารถดื่มได้ทันที ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำผักผลไม้ที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และวิธีการผลิตของโรงงาน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 ประเภทย่อย คือ น้ำผักผลไม้ 100% และน้ำผลไม้ 25-50% (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547)

2. น้ำผักผลไม้ปรุงแต่งกลิ่น ผลิตจากการนำผักและผลไม้ หรือเนื้อประมาณ 25% ขึ้นไป เจือสีสังเคราะห์ แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยน้ำตาล โดยต้องนำไปผสมน้ำตามอัตราส่วนที่ระบุเพื่อลดความเข้มข้นลงก่อนการบริโภค ทั้งนี้ น้ำผักและน้ำผลไม้ประเภทปรุงแต่งกลิ่นของแต่ละผู้ผลิต จะมีอัตราส่วนของการเจือจางที่แตกต่างกัน

3. น้ำผักผลไม้สำเร็จรูปชนิดผง ผลิตโดยการนำน้ำผักหรือน้ำผลไม้มาระเหยน้ำออก ปั่นแห้งให้เป็นผง แล้วนำไปบรรจุในถุงซอง เพื่อความสะดวกในการเก็บรักษา และบริโภค (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547)

4. น้ำผักผลไม้เข้มข้น เป็นน้ำผักผลไม้ที่ผลิตได้จากการนำผักหรือผลไม้สดไปผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยใช้วิธีต่างๆ เช่น การทำให้เข้มข้นแบบใช้อุณหภูมิสูง การทำให้เข้มข้นแบบระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ และวิธีการทำให้เข้มข้นโดยใช้เทคโนโลยีการทำเข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อกำจัดน้ำบางส่วนออกจนได้เป็นน้ำผักผลไม้ที่เข้มข้น เมื่อนำไปบริโภคต้องมีการเจือจางด้วยน้ำ เพื่อให้ได้รสชาติตามที่ต้องการ น้ำผักผลไม้ประเภทนี้นิยมผลิตเพื่อส่งออกเป็นหลัก เนื่องจากสะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ทั้งนี้ น้ำผักผลไม้เข้มข้นส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มประเภทต่างๆ

(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547) เช่นในงานวิจัยของ บุญรินทร์และรัชพล (2543) ได้ศึกษาน้ำสละ ในรูปของน้ำผลไม้เข้มข้น 25% โดยแปรผันความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 15 และ 18% โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของเกลือที่ 0.10 และ 0.13% โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ 0.13 และ 0.16% โดยน้ำหนัก ผลการประเมินคุณภาพด้านรสหวาน รสเปรี้ยว สี กลิ่น และความชอบโดยรวม พบว่าสูตรความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 15% โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่มีความชอบโดยรวมดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ และจากการแปรผันความเข้มข้นใหม่ของน้ำตาลที่ 10 13 และ 15% พบว่าสูตรน้ำสละที่มีความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดคือ 13% โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่มีคุณลักษณะที่ดีที่สุด และเป็นที่ยอมรับรวมของผู้บริโภค เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ

2.5.2 กรรมวิธีการผลิตน้ำผักผลไม้เข้มข้น

กรรมวิธีการผลิตน้ำผักและผลไม้เข้มข้น ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การทำให้เข้มข้นขึ้นแบบการระเหยโดยใช้อุณหภูมิสูง

การทำให้เข้มข้นขึ้นแบบการระเหยโดยใช้อุณหภูมิสูง เป็นวิธีการที่ทำให้น้ำผักผลไม้มีความเข้มข้นมากขึ้น โดยการใช้ความร้อนไประเหยน้ำออกจากน้ำผักผลไม้ ผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การระเหย (evaporation) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น การระเหยเป็นวิธีการทำให้น้ำในน้ำผักและผลไม้ร้อนขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ ทำให้น้ำในผักและผลไม้ระเหยกลายเป็นไอ แยกออกจากน้ำผักผลไม้ มีผลทำให้น้ำผักผลไม้ส่วนที่เหลือมีความเข้มข้นมากขึ้น แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยนั้นจะทำให้มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งด้าน สี กลิ่น รสชาติ และการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (รุ่งนภา, 2539)

2. การทำให้เข้มข้นขึ้นแบบการระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การทำให้เข้มข้นขึ้นแบบการระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นวิธีการทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำผักผลไม้เข้มข้นที่มีคุณภาพดี เช่น มีสี กลิ่น และรสชาติตามชนิดของผักและผลไม้ที่ใช้ โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อความดันต่ำลงจะทำให้จุดเดือดของน้ำผักผลไม้เกิดการระเหยลดต่ำลงตามไปด้วย ซึ่งเครื่องระเหยจะประกอบด้วย ตัวหม้อระเหยน้ำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ปัมสุญญากาศ คอนเดนเซอร์ และทางออกของผลิตภัณฑ์เข้มข้น (รุ่งนภา, 2539)

3. กรรมวิธีการผลิตน้ำผักผลไม้เข้มข้นขึ้นโดยใช้เทคนิคแบบแช่เยือกแข็ง

โดยทั่วไปการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผักผลไม้ นั้นจะใช้วิธีการระเหย (evaporation) วิธีการใช้เยื่อเลือกผ่าน (membrane process) เช่น กระบวนการออสโมซิส (osmosis) กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis) และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) (Ramteke *et al.*, 1993) นอกจากนี้วิธีการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีแบบแช่เยือกแข็ง (freeze concentration) ยัง

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีการนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับน้ำผักผลไม้ ผลิตภัณฑ์น้ำเข้มข้นที่ได้จะมีคุณภาพดี เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่มีการใช้อุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการแข็งตัวของน้ำบางส่วนในผลิตภัณฑ์ แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยการเหวี่ยงแยกเอาผลิตภัณฑ์แข็งออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้น้ำผักผลไม้ที่มีส่วนประกอบหลักที่เป็นของแข็งถูกละลายรวมกับปริมาณน้ำที่เหลือ (Fellows, 1998)

2.6 การระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ

2.6.1 หลักการของการระเหย

การกลายเป็นไอ (vaporization) หมายถึง การที่ของเหลวเปลี่ยนแปลงสถานะกลายเป็นไอ เมื่อของเหลวได้รับพลังงานความร้อนพอที่จะทำให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูงพอจนเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ โมเลกุลก็จะหลุดออกจากของเหลวกลายเป็นไอ ในทางตรงกันข้ามถ้าไอคายพลังงานความร้อนออกมา โมเลกุลก็จะมีพลังงานจลน์น้อยลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้น และในที่สุดจะสามารถทำให้โมเลกุลรวมกันเป็นสารในสถานะของเหลว การที่สารเปลี่ยนแปลงสถานะจากไอหรือแก๊สเป็นของเหลว เรียกว่า การควบแน่น หรือการกลั่นตัว (condensation)

การระเหย (evaporation) หมายถึง การที่ของเหลวเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไออย่างช้าๆ และเกิดขึ้นเฉพาะผิวหน้าของของเหลวเท่านั้น นอกจากนั้นการระเหยยังสามารถเกิดขึ้นได้ทุกๆ อุณหภูมิที่ยังมีของเหลวนั้นอยู่ เช่น น้ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิ 0-100°C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่ง จากทฤษฎีจลน์ โมเลกุลของของเหลวเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และเกิดการชนกันเองในการชน โมเลกุลของของเหลวจะมีการถ่ายเทพลังงานให้แก่กันภายหลังการชน บางโมเลกุลของของเหลวจะมีพลังงานจลน์น้อยลง และบางโมเลกุลมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ถ้าโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลวหรือสามารถเคลื่อนที่มาอยู่ที่ผิวหน้าได้ และสามารถเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลก็จะหลุดออกจากผิวหน้าของของเหลวกลายเป็นไอ ซึ่งเรียกว่า การระเหย เนื่องจากโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงกลายเป็นไอ จึงทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยของของเหลวลดลงของเหลวก็จะดูดพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาแทนที่พลังงานที่เสียไปกับโมเลกุลที่กลายเป็นไอ และการระเหยเป็นปรากฏการณ์ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ (วิล, 2545)

2.6.2 วัตถุประสงค์ของการระเหยในอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์ของการระเหยในอุตสาหกรรม คือ ต้องการทำให้สารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้น ในสารละลายจะประกอบด้วยตัวทำละลาย (solvent) และตัวถูกละลาย (solute) ตัวทำละลายส่วนใหญ่ คือ น้ำ เมื่อสารละลายมีตัวทำละลายมาก ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นต่ำ และการระเหยตัวทำละลายออกจะทำให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นก่อนนำอาหารที่ได้ เช่น

น้ำผลไม้ นม และกาแฟ ไปทำแห้ง การทำเยือกแข็ง (freezing) หรือการทำไร้เชื้อ (sterilization) โดยการลดน้ำหนัก และปริมาตรการระเหยเป็นการประหยัดพลังงานทั้งในแง่ลดการเก็บ การขนส่ง และกระจายสินค้า ทำให้ผู้บริโภคสะดวก เช่น การทำน้ำผลไม้เข้มข้นเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถนำไปเจือจาง การทำน้ำซุปลเข้มข้น เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และคุณสมบัติของสารที่ต้องการระเหย เมื่อได้รับความร้อนเรียกว่า สภาพไวต่ออุณหภูมิ เนื่องจากสารเคมีหลายชนิด ผลิตภัณฑ์ทางเภสัชกรรม และอาหาร มีสภาพไวต่ออุณหภูมิมาก ดังนั้นจึงต้องมีการใช้เทคนิคพิเศษบางประการเพื่อลดอุณหภูมิของของเหลว และลดเวลาในการให้ความร้อนแก่สารประเภทนี้ เช่น เครื่องระเหยที่กระทำภายใต้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งจะทำให้ตัวทำละลายเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ

2.6.3 ลักษณะเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ลักษณะเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. เครื่องระเหย (vacuum evaporator) ซึ่งประกอบด้วยถังบรรจุสารละลายหรือของเหลวทำจากสแตนเลส 304 ชนิดทนแรงดันใช้สำหรับอุตสาหกรรมและวางอยู่ในถังบรรจุน้ำร้อนอีกชั้นหนึ่ง โดยถังบรรจุน้ำร้อนดังกล่าวมีท่อน้ำเข้าและท่อน้ำทิ้งอยู่ทางด้านล่างของถัง ซึ่งทางด้านในบริเวณก้นถังดังกล่าวติดตั้งฮีตเตอร์ให้ความร้อนแบบวงแหวนขนาด 1,000 วัตต์และมีชุดควบคุมการจ่ายพลังงานความร้อนอยู่ทางด้านหน้าของเครื่องและแสดงผลแบบตัวเลขดิจิทัล

2. ชุดปั๊มสุญญากาศและตัวดักจับไอน้ำ (steam trap) ซึ่งตัวดักจับไอน้ำจะเป็นตัวทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มไม่ลดลงตามปริมาณของไอน้ำที่ขยายตัวมากขึ้น ดังนั้นปั๊มสุญญากาศและตัวดักจับไอน้ำจึงต้องทำงานไปพร้อมๆ กัน โดยต้องทำให้ตัวดักจับไอน้ำเกิดความเย็นเพียงพอที่จะดักจับไอน้ำได้ตลอดการทำงาน

2.6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย

1. อุณหภูมิ

-อุณหภูมิสูง ของเหลวจะระเหยได้มาก

-อุณหภูมิต่ำ ของเหลวจะระเหยได้น้อย

2. ชนิดของของเหลว

-ของเหลวที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก จะระเหยได้ยาก จึงระเหยได้น้อย

-ของเหลวที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อย จะระเหยได้ง่าย จึงระเหยได้มาก

3. พื้นที่ผิวของของเหลว

-ของเหลวที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จะระเหยได้มาก

-ของเหลวที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย จะระเหยได้น้อย

4. ความดันบรรยากาศ

- ที่ความดันบรรยากาศสูง ของเหลวจะระเหยได้ยาก จึงระเหยได้น้อย
- ที่ความดันบรรยากาศต่ำ ของเหลวจะระเหยได้ง่าย จึงระเหยได้มาก

5. อากาศเหนือของเหลว

- บริเวณที่มีอากาศถ่ายเทหรือมีลมพัดตลอดเวลา ของเหลวจะระเหยได้มาก
- บริเวณที่ไม่มีอากาศถ่ายเทหรือไม่มีลมพัดตลอดเวลา ของเหลวจะระเหยได้น้อย

6. การคนหรือกวน เมื่อมีการคนหรือกวนของเหลว ของเหลวนั้นก็ระเหยได้เร็วขึ้น

ดังนั้น ของเหลวหนึ่งๆ จะระเหยกลายเป็นไอได้เร็วขึ้นก็ต่อเมื่อ

- พื้นที่ผิวของของเหลวเพิ่มขึ้น
- ของเหลวนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- ความดันของบรรยากาศเหนือของเหลวลดลง
- อากาศเหนือของเหลวมีการถ่ายเทตลอดเวลา เพื่อป้องกันการอิมตัวของไอ
- เมื่อมีการคนหรือกวนของเหลวขึ้น

ดังนั้นวิธีการระเหยภายใต้สูญญากาศ (vacuum evaporation) จึงเป็นกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโดยการระเหยตัวทำละลายออกไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสิ่งที่เราต้องการในการระเหยคือ สารละลายเข้มข้น โดยน้ำในอาหารจะถูกระเหยออกจากอาหารภายใต้สภาวะสูญญากาศ ทำให้อุณหภูมิที่อยู่ภายในอาหารออกมาจากอาหาร ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการระเหยที่อุณหภูมิเดียวกัน ณ ความดันบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องมาจากความดันไอน้ำในบรรยากาศลดต่ำลงทำให้ผลต่างระหว่างความดันไอน้ำในอาหารกับในบรรยากาศมีค่ามากขึ้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทของไอน้ำมากขึ้น และช่วยให้ไอน้ำในอาหารออกมาสู่บรรยากาศได้ดีขึ้นด้วย ซึ่งในระหว่างกระบวนการได้มีการใช้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องกับผลคือ ช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ ยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้นเมื่อใช้กระบวนการระเหยภายใต้สูญญากาศที่ใช้อุณหภูมิในการระเหยต่ำ และระยะเวลาในการระเหยสั้นจะสามารถกำจัดปริมาณความชื้นออกจากอาหารเหลวได้มาก โดยไม่ทำลายส่วนประกอบของอาหารที่ไวต่อความร้อน ส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่สูญเสียรวมทั้งเนื้อสัมผัสของอาหารจะสูญเสียน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนสูง (จิตตินา, 2539)

2.6.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารโดยการระเหยภายใต้สูญญากาศ

สมชายและคณะ (2553) ได้ศึกษากระบวนการแปรรูปน้ำหมอนสกัดเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสูญญากาศ โดยผันแปรอุณหภูมิของหม้อระเหย 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70°C พบว่า การใช้อุณหภูมิที่ต่ำจะมีการใช้ระยะเวลาในการระเหยนานกว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการควบคุมอุณหภูมิของหม้อระเหยที่อุณหภูมิ 50°C ใช้ระยะเวลาในการระเหยมากที่สุด (120 นาที) รองลงมาคือ การควบคุมอุณหภูมิของหม้อระเหยที่ 60 และ 70°C โดยใช้ระยะเวลา (75 และ 65 นาที ตามลำดับ) ส่วนการควบคุมอุณหภูมิของหม้อระเหยที่ 70°C มีต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและปริมาณสารแอนโทไซยานินคงเหลือมากที่สุด Hernandez *et al.* (2009) ได้ทำการระเหยน้ำแอปเปิ้ลพบว่าไอที่ระเหยไปตอนแรก 30% เป็นพวก essential oil และ 90% เป็น ethyl acetate และ ethyl butylate นอกจากนี้ยังพบว่า การสูญเสียกลิ่นพวก ester ที่มากกว่า 50% ในผลิตภัณฑ์เป็นผลมาจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และกรรมวิธีในการผลิต แต่สามารถป้องกันได้โดยการควบคุมกรรมวิธีในการผลิตให้อยู่ในสถานะที่ปิดสนิทตลอดเวลา ซึ่งการระเหยน้ำออกภายใต้สูญญากาศ ที่ใช้อุณหภูมิในการระเหยต่ำ (36-40°C) จะสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจาก สารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ น้ำตาล และกรดอินทรีย์ได้ นอกจากนี้สาวตรีและอรุณรัสมิ (2547) ได้ศึกษาวิธีการผลิตและการประเมินอายุการเก็บรักษาน้ำมะนาวเข้มข้นด้วยวิธีการระเหยภายใต้สภาวะสูญญากาศ โดยระเหยน้ำออก 50% และทำการศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่ง โดยการเติมกรดแอสคอร์บิกที่ 2 ระดับ เติมโซเดียมเบนโซเอท และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตอย่างละ 2 ระดับ มีการพ่น และไม่พ่นก๊าซไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-6 และ 28-30°C พบว่า สภาวะที่เหมาะสมซึ่งมีการสูญเสียกรดแอสคอร์บิก และมีการเกิดสีน้ำตาลต่ำสุด โดยเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน คือ น้ำมะนาวเข้มข้นที่เติมกรดแอสคอร์บิก 60 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0.1% และโซเดียมเบนโซเอท 0.1% ที่มีการพ่นก๊าซไนโตรเจนก่อนบรรจุ อีกทั้งยังพบว่าต้นทุนในการระเหยน้ำมะนาวเข้มข้นภายใต้สภาวะสูญญากาศ เมื่อเปรียบเทียบราคาต่อผลมีราคาถูกกว่าน้ำมะนาวในช่วงขาดแคลนประมาณ 5-13 เท่า ชนพลและคณะ (2549) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไยเข้มข้นด้วยวิธีการระเหยภายใต้สภาวะสูญญากาศ โดยศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำให้เข้มข้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือที่อุณหภูมิ 83.27°C ความดัน 130 มิลลิบาร์ เวลา 30.35 นาที เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสี (L^* และ b^*) และสารประกอบฟีนอลทั้งหมดคงเหลืออยู่มากที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยทดลองอื่น และอรุษาและคณะ (2553) ศึกษาผลกระทบของการทำให้ใสด้วยเอนไซม์เพคตินเนส และสภาวะการระเหยที่มีต่อคุณภาพของน้ำมั่งคุดเข้มข้น โดยทำการตรวจวัดค่าสี (L^* C^* และ h) ปริมาณแอนโทไซยานินประมาณ 0.85-2.32 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์ของสีจากโพลีเมอร์ประมาณ 64.8-81.88% และมีปริมาณฟีนอลทั้งหมดประมาณ 670.6-891.50 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร พบว่าการระเหยภายใต้สภาวะสูญญากาศสามารถป้องกันการสลายตัวของแอนโทไซยานินได้ดีกว่าการระเหยในสภาวะปกติ และการทำให้ใสโดยใช้เอนไซม์จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของสีจากโพลีเมอร์ลดลง

และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9-point hedonic scale พบว่าน้ำมัจจุคที่ใช้เอนไซม์ร่วมกับการระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีคุณลักษณะด้านสี รสชาติ และการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากน้ำมัจจุคสด



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved