

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้ม

ส้ม เป็นผลไม้ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Mandarins มีลักษณะทรงกลม มีทั้งส้มเปรี้ยว (Sour Orange) และส้มหวาน (Sweet Orange) โดยส้มเปรี้ยวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantium* ส่วนส้มหวานมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus sinensis* ผลไม้ส้มมีด้วยกันหลายพันธุ์ เช่น เช้งเขียวหวาน เป็นต้น เปลือกของส้มจะลอกได้ง่าย (ยกเว้น ส้มเซ้ง) ได้ตรงกลางของส้มจะกลวง กลิบของผลส้มแยกกันได้ง่าย ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของส้ม อาทิเช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (องศาบริกซ์) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้ม กลิ่นและรสชาติของส้ม เป็นต้น คุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล การดูแลรักษา พื้นที่การเพาะปลูก และสายพันธุ์ ในปัจจุบันส้มจะมีการเพาะปลูกอยู่ทั่วไปในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก แต่สายพันธุ์ส้มที่นิยมเพาะปลูกกันในประเทศส้ม ได้แก่ ส้มจี๊ด ส้มคัมคอฟท์ ส้มเขียวหวาน ส้มเซ้ง ส้มเกลี้ยง ส้มแก้ว ส้มซ่า ส้มมะละกอ ส้มมือ เกรฟฟรุต และ ส้มจุก เป็นต้น

2.2 คุณค่าทางอาหารของส้ม

ส้ม โดยเฉพาะส้มเขียวหวาน เป็นผลไม้ที่มีผลผลิตตลอดปี มีจำหน่ายในตลาดทั่วไปและเป็นผลไม้ที่นิยมรับประทาน อีกทั้งมีคุณค่าทางอาหารสูง ผลการวิเคราะห์สารอาหารจากส้มเขียวหวาน 100 กรัม โดยกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่า ประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.1

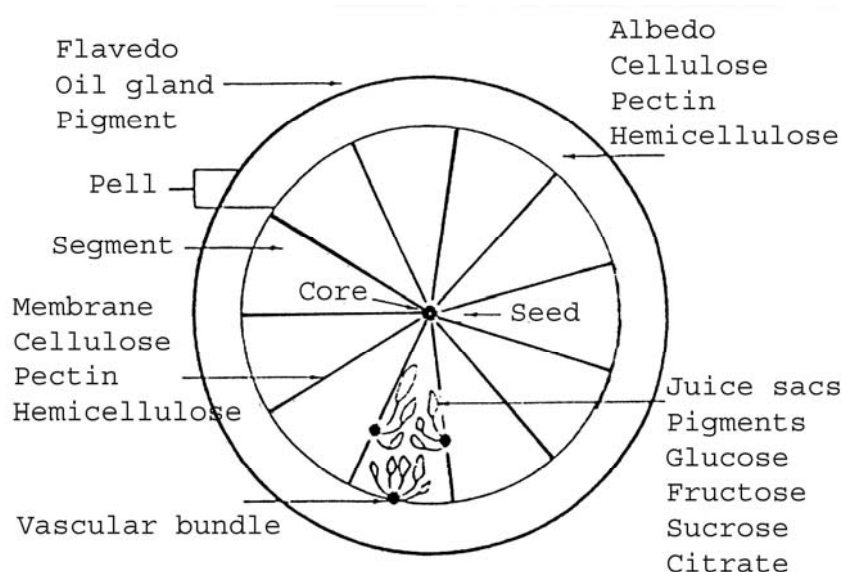
ตารางที่ 2.1 สารอาหารของส้มเขียวหวาน ใน 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณต่อ 100 กรัม	องค์ประกอบ	ปริมาณต่อ 100 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	9.0 กรัม	วิตามินเอ	13 RE
โปรตีน	0.60 กรัม	วิตามินบี 1	0.04 มิลลิกรัม
ไขมัน	0.40 กรัม	วิตามินบี 2	0.05 มิลลิกรัม
เถ้า	0.10 กรัม	วิตามินบี 12	0.0011 มิลลิกรัม
เส้นใย	1.3 กรัม	วิตามินซี	42.0 มิลลิกรัม
ความชื้น	89.9 กรัม	เบต้า-แคโรทีน	82.0 ไมโครกรัม
พลังงาน	42 กิโลแคลอรี	ไรโบฟลาวิน	0.04 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.8 มิลลิกรัม	ฟอสฟอรัส	24.0 มิลลิกรัม
แคลเซียม	30.0 มิลลิกรัม	ไทอามีน	0.04 มิลลิกรัม

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

2.3 ส่วนประกอบของส้ม

ส้มจัดอยู่ใน Berry type ที่เรียกว่า Hesperidium ซึ่งเจริญเติบโตมาจากรังไข่ ประกอบด้วย 10 carpels เชื่อมติดกันเป็นวงกลมรอบ central axis ผลส้มแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ เปลือกผล (Ovary Wall) ผนังกันและแกนผล (Septa and Central Axis) และถุงน้ำหวาน (Juice Sacs) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของผลส้ม

ที่มา : Schineider, 1968

2.3.1 เปลือกผล (Ovary Wall) แบ่งออกเป็น 3 ชั้น

- เปลือกผลชั้นนอก เรียกว่า ฟลาเวโด (Flavedo) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นนอกสุดของผล ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ Epidermis ที่มี Cuticle ห่อหุ้มเซลล์ Epidermis และเซลล์ Epidermis จะมีการแบ่งเซลล์จนถึงระยะผลส้มสุก ช่วงการแบ่งตัวระยะนี้ Cuticle ที่ห่อหุ้ม Epidermis จะบางลงและมีต่อมน้ำมันเกิดขึ้น ซึ่งสร้างตั้งแต่ในระยะที่เป็นรังไข่ของดอก ต่อมน้ำมันจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระยะที่ผลขยายใหญ่ ได้ชั้นของ Epidermis มีชั้นของเซลล์ Parenchyma ซึ่งมี Chloroplast เป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อผลแก่ Chlorophyll จะเปลี่ยนเป็น Chloroplast ที่เรียกว่า โครมาโตฟอร์ และจะสร้างสารพวก Carotenoid ทำให้ผลส้มเกิดสีเหลืองหรือส้มตามลักษณะประจำของแต่ละพันธุ์

- เปลือกผลชั้นกลาง เรียกว่า Albedo เซลล์ชั้นกลางของเปลือกผลเป็นเซลล์พวก Spongy Parenchyma คล้ายกับ Spongy Mesophyll ซึ่งจะเกาะกันอย่างหลวมๆ คล้ายร่างแห ทำให้มีช่องว่างระหว่างเซลล์เป็นปริมาณมาก และในชั้น Albedo จะมีสีขาวอ่อนนุ่ม การเพิ่มขนาดของผลในระยะแรกเกิดจากการเพิ่มความหนาของชั้น Albedo ส่วนการเพิ่มขนาดของช่องผลมีน้อยเมื่อผลแก่ เปลือกผลที่แกะออกมาส่วนใหญ่จะเป็นชั้นของ Flavedo และชั้น Albedo เช่น ส้มโอ แต่สำหรับส้มพวก Mandarin เช่น ส้มเขียวหวาน เปลือกที่เป็นชั้นของเปลือกชั้นนอกและชั้นกลางจะบางมาก
- เปลือกผลชั้นใน จัดเป็นชั้นในสุดของเปลือกผล คือ ส่วนที่เป็นช่องหรือกลีบผล (segment) และผนังของพูรังไข่ ก่อนที่ช่องผลจะขยายขนาด ส่วนที่เป็นจุดกำเนิดถุงน้ำหวาน (Juice Sacprimordia) จัดเรียงกันอย่างแน่นหนาและเป็นระเบียบ เมื่อช่องผลขยายโตเต็มที่ถุงน้ำหวานจะกระจัดกระจายออกไม่เป็นระเบียบ ผนังของเปลือกชั้นในจะยึดตัวออกจนตึงและปกคลุมด้วยชั้น cuticle

2.3.2 ผนังกลีบและแกนของผล (Septa and Central Axis)

ผนังกลีบจะเป็นผนังบาง ๆ แบ่งกันระหว่างช่องผล แต่ละกลีบประกอบด้วยผนัง 2 ชั้น ของช่องผลสองช่องมาประกบกัน สามารถแยกออกจากกันได้เป็นกลีบ เรียกว่า Segment ระหว่างผนังของกลีบ ผลทั้งสองจะมีเส้นใยที่เป็นท่อลำเลียงอาหารเส้นเล็ก ๆ สีขาว คล้ายกับ Spongy Parenchyma มาเลี้ยงผล และทุก Segment ซึ่งอยู่ในชั้นของเปลือกชั้นใน แกนผล เป็นแกนกลางของผลที่เปลี่ยนแปลงมาจากแกนของดอกแต่ละพูรังไข่ที่เชื่อกันว่ามีวิวัฒนาการจากใบนั้น ขอบของใบจะเกาะติดกับแกนกลางและที่แกนผลทางตอนล่างจะมีท่อลำเลียงอาหารกระจายไปเลี้ยงส่วนของถุงน้ำหวานและไข่อ่อน เซลล์พวกนี้เป็นพวก Spongy Parenchyma ในส้มบางพันธุ์มีแกนกลางขนาดเล็กหรือเกือบไม่มี

2.3.3 ถุงน้ำหวาน (Juice Sacs)

เป็นส่วนของผลที่เจริญมาจากผนังเปลือกชั้นใน บางครั้งเรียกว่าถุงน้ำหวาน ถุงน้ำหวานมีก้านยาวสั้นไม่เท่ากัน ภายในก้านไม่มีมัดท่อลำเลียงอาหารเป็นเซลล์ที่มีช่องว่างใหญ่และมีรูปร่างต่างๆ กัน

2.4 การเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำส้ม

น้ำส้มที่ถูกคั้นออกจากผลส้มจะเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำส้ม อาทิเช่น ปริมาณวิตามินซีที่ลดลง การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นเฉพาะตัวของน้ำส้ม และการเปลี่ยนแปลงรสชาติของน้ำส้มคั้น เป็นต้น เมื่อตั้งน้ำส้มที่คั้นได้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่เรียกว่า Terebenthin หรือ Cymie โดย Terpeny เกิดจากน้ำมันหอมระเหยของเปลือกส้มที่เจือปนอยู่ในน้ำส้ม จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและกระบวนการทางชีวเคมีอื่นๆ คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำส้มที่เสื่อมเสียคุณภาพ ได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงของวิตามินซี (Ascorbic acid)

การสูญเสียวิตามินซี (Ascorbic acid) ของน้ำส้มสดและน้ำส้มเข้มข้น เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือความร้อน โดยเฉพาะในสภาวะที่มีแสงหรืออากาศ ซึ่งมักเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ (Fourie, 1996) โดยการสลายตัวของวิตามินจะสัมพันธ์กับสีที่เข้มข้นของน้ำผลไม้ ซึ่งจะเกิดจากการให้ความร้อนในสภาวะที่มีสภาพความเป็นกรด – ด่างต่ำ ทำให้น้ำตาลซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบในน้ำส้มเกิดปฏิกิริยาคาลาเมลไรเซชัน (caramelization) เป็น 2,3-diketogulonic acid ซึ่งสารนี้จะมีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นสารประกอบเฟอฟูรอลและเมลานอยดินในปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard browning) (Sawamura et al, 2000)

2. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นธรรมชาติ (off-flavor)

เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรเมอไรเซชัน กับปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน Orange oil สัมผัสกับอากาศจะเกิด off-flavor

3. การเปลี่ยนแปลงความขุ่น

ลักษณะเฉพาะของน้ำผลไม้ตระกูลส้ม คือ ความขุ่น ซึ่งจะแตกต่างจากน้ำผลไม้ชนิดอื่นๆ ความขุ่นเกิดจากการกระจายตัวของเพคตินที่อยู่ในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม น้ำส้มปั่น น้ำฝรั่ง และอื่นๆ การสูญเสียความขุ่นเกิดจากปฏิกิริยา Desterication ของเพคติน โดยมีเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (Pectinesterase) และแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) เข้ามาร่วมในปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้เพคตินในน้ำส้มสูญเสียสภาพที่เป็นคอลลอยด์ (colloid) ในน้ำส้ม มีผลทำให้เกิดการแยกตัวของส่วนที่เป็นน้ำใส (serum) กับส่วนที่เป็นของแข็ง (cloud) น้ำส้มที่สูญเสียความคงตัวของความขุ่นในระหว่างการเก็บรักษาจะไม่ใช่ที่ต้องการของผู้บริโภค (Goodner, 1999)

การป้องกันการสูญเสียความขุ่นทำได้โดยการใช้ความร้อนยับยั้งหรือทำลายเอนไซม์ ถ้าใช้ความร้อนต่ำเกินไปจะไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ทั้งหมด เนื่องจากเอนไซม์ Pectinesterase สามารถทนความร้อนได้สูง

4. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์

ลักษณะของการเสื่อมเสียมักมาจากเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย ที่ส่วนใหญ่จะปะปนมากับน้ำส้ม น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดได้ แต่จะไม่มีผลกับเชื้อรา และยีสต์ การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์มักเกิดจากแบคทีเรียในกลุ่มแลคติก (Lactic acid bacteria) เช่น *Lactobacillus plantarum*, *L. brevis*, *L. thermophilus*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Ledextransicum* เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบการเสื่อมเสียเนื่องจากยีสต์ เช่น *Candida parapsilosis*, *C. intermedia*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulospora delbruekii* เป็นต้น (Parish and Higgins, 1989; Arias et al., 2002)

2.5 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย

โดยธรรมชาติของสารละลายที่มีอยู่โดยทั่วไป จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบ และความเข้มข้นของสารละลายนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่เป็นองค์ประกอบ หากอัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณของสารละลายเปลี่ยนแปลงจะส่งผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของสารละลายนั้นๆ ดังนั้นกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย จึงหมายถึง กระบวนการที่แยกน้ำออกจากสารละลาย (Dewatering) ซึ่งมีหลายวิธีในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับสารละลาย ดังนี้

2.5.1 การเพิ่มความเข้มข้นด้วยการต้มระเหย (Evaporation)

การระเหย คือ ปรากฏการณ์ที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อน เมื่อพิจารณาทางเทอร์โมไดนามิค การระเหยเกิดขึ้นในขณะที่มีความดันไอของของเหลวมีค่ามากกว่าความดันย่อยในที่ว่างเหนือบริเวณของของเหลวนั้น ความดันไอเป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิและส่วนประกอบของสารละลายนั้น หากสารละลายประกอบด้วยตัวถูกละลายที่ระเหยได้ยาก สารละลายนี้ก็จะมีจุดเดือดสูงขึ้น

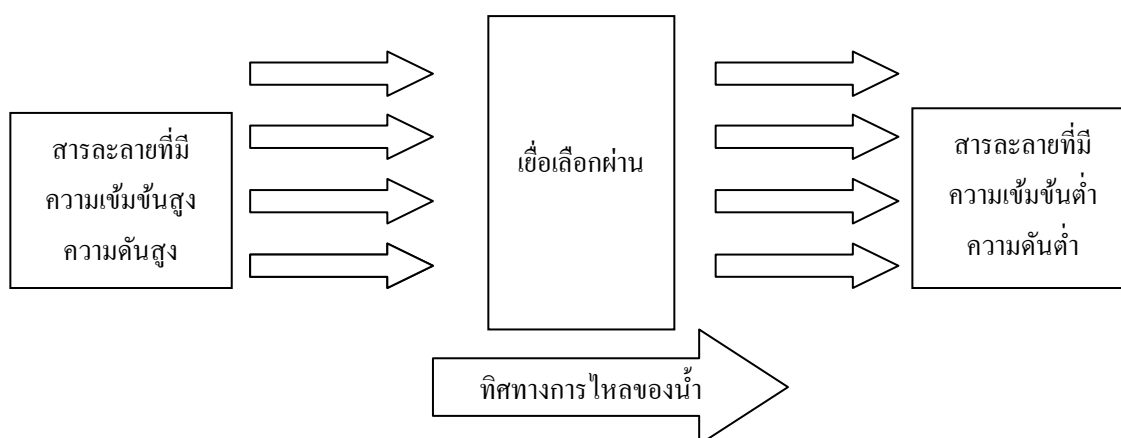
การต้มระเหยมีหลักการใหญ่ๆอยู่ 2 ประการ คือ การแลกเปลี่ยนความร้อน และการแยกตัวของไอน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนออกจากสารละลาย การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นเมื่อสารละลายสัมผัสกับแผ่นให้ความร้อน ที่บริเวณผิวแผ่นให้ความร้อนจะเกิดฟองของไอน้ำติดอยู่ เพราะของเหลวมีอุณหภูมิใกล้กับจุดเดือด จากนั้น ฟองก็ค่อยๆโตขึ้น และหลุดลอยไปยังผิวหน้าของเหลว จากนั้นเกิดการเดือดอย่างรุนแรง ขณะนี้เองเป็นเวลาไอน้ำจากฟองแยกตัวออกจากสารละลายของเหลวเกิดเป็นฟองไอน้ำ

ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ หากองค์ประกอบของสารละลายนั้นมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ สารตัวนั้นก็ จะระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ ทำให้สารละลายเข้มข้นที่เหลือสูญเสียคุณค่าไป อาทิเช่น เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม เนื่องจากแอลกอฮอล์มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้น

ด้วยวิธีการต้มระเหยจะต้องใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกจากสารละลาย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสารละลายบางชนิด อาทิเช่น น้ำผลไม้ เป็นต้น โดยทั่วไปจุดเดือดของน้ำจะอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ แต่การระเหยน้ำออกจากสารละลายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะไม่เหมาะสมกับสารละลายเข้มข้นหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพของกลิ่นเนื่องจากกลิ่นของสารละลายจะระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการนี้มักปฏิบัติงานภายใต้ความดันต่ำกว่า 1 บรรยากาศ แต่อย่างไรก็ดี วิธีนี้เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนการผลิตต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ตัวอย่างของการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย ได้แก่ การเคี้ยวน้ำตาล เป็นต้น

2.5.2 การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีเยื่อเลือกผ่าน (Reverse osmosis)

การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีนี้ใช้หลักการของการไหลของน้ำผ่านแผ่นกรอง (Filter) จากด้านที่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างขนาดของโมเลกุลของน้ำและสารละลาย โดยจะเพิ่มความดันให้กับสารละลายฝั่งที่มีความเข้มข้นสูง ดังแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเพิ่มความเข้มข้นสารละลายด้วยวิธีแบบ Reverse Osmosis

เมื่อน้ำซึมผ่านเยื่อเลือกผ่านแล้ว จะพบว่า ด้านของสารละลายที่มีความดันสูงจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อดีของวิธีนี้ คือ ผลิตภัณฑ์จะไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ซึ่งจะสามารถรักษาสภาพของกลิ่นและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ได้ดี สารละลายเข้มข้นจะมีคุณภาพสูง ประสิทธิภาพของการเพิ่มความเข้มข้นขึ้นอยู่กับขนาดรูของเยื่อเลือกผ่าน และประสิทธิภาพในการไหลของน้ำผ่านเยื่อดังกล่าว แต่การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีนี้จะต้องลงทุนสูงมากทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เนื่องจากราคาของเยื่อเลือกผ่านมีราคาสูงมาก อีกทั้งการทำงานจะต้องเพิ่มความดันให้กับ

สารละลายที่ต้องการเพิ่มความเข้มข้นซึ่งจะต้องใช้ปั๊มที่มีแรงดันสูงเพียงพอต่อการใช้งาน วิธีนี้จึงเหมาะสมกับสารละลายหรือผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง

2.5.3 การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็ง

การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็ง เป็นการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการทำให้น้ำที่เป็นตัวทำละลายในสารละลายแข็งตัวเป็นน้ำแข็ง สารละลายจะอยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้นผสมเกล็ดน้ำแข็งจนมีลักษณะคล้ายโคลน (Slurry) หลังจากนั้นจึงทำการแยกน้ำแข็งออกจากสารละลายเข้มข้น วิธีนี้เหมาะกับการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายที่มีมูลค่าของผลิตภัณฑ์ปานกลางแต่ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมาก อาทิเช่น น้ำผลไม้ กาแฟ เบียร์ ไวน์ เป็นต้น นอกจากนี้ การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการลดของเสียจากกระบวนการผลิตก่อนการนำไปบำบัดได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งจะมีคุณภาพดีกว่าการเพิ่มความเข้มข้นด้วยการต้มระเหย เนื่องจากวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการต้มระเหย แต่ต้นทุนในการผลิตจะสูงกว่าวิธีการต้มระเหย ดังนั้น จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง

การเลือกวิธีการเพิ่มความเข้มข้นจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายในการลงทุน คุณภาพผลิตภัณฑ์ และราคาขายผลิตภัณฑ์ หากเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการทั้ง 3 วิธี ดังที่กล่าวมา จะพบว่าวิธีการเพิ่มความเข้มข้นน้ำส้มที่เหมาะสมที่สุด คือ การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าไม่สูงมากนัก รวมทั้งต้นทุนในการผลิตด้วยวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่นๆ

2.6 กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย

โดยหลักการการระเหยน้ำ เป็นการทำให้อาหารเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ด้วยการเปลี่ยนสถานะน้ำอิสระ (Free water) ที่มีอยู่ในอาหารเหลวให้กลายเป็นไอน้ำแยกออกจากอาหารเหลว ทั้งนี้ สารอาหารหรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ (Soluble solids) จะต้องยังคงอยู่ครบถ้วนในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้น โดยมีหลักการทำงาน คือ ทำให้อุณหภูมิของอาหารเหลวสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด จากนั้นรักษาอุณหภูมินั้นไว้ในช่วงเวลาที่ จะทำให้น้ำระเหยออกไปจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ แต่ถ้าพิจารณาจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ซึ่งจะเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส ถ้าให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิดังกล่าว ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นที่ได้จะสูญเสียคุณภาพและกลิ่นรส แต่เนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในอาหารเหลวนั้นมีองค์ประกอบต่างๆ ละลายอยู่ และน้ำก็อยู่ในสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ทำให้จุดเดือดของน้ำเปลี่ยนไป โดยทั่วไปจุดเดือดของน้ำจะสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยจึงแตกต่างจากจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์

นอกจากนั้น ในทางปฏิบัติหรือการผลิตในอุตสาหกรรมมักจะทำการระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศ ซึ่งจะทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง และทำให้การระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวมี

ประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นที่มีคุณภาพและกลิ่นรสดี แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดที่อุณหภูมิหรือความร้อน ที่จะให้แก่อาหารเหลวต้องพอดีไม่สูงเกินไป โดยเฉพาะอาหารเหลวประเภทที่ไวต่อความร้อน และไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้น การระเหยนํ้าจึงต้องพยายามหาวิธีหรือเครื่องมือที่สามารถทำให้นํ้าระเหยออกจากอาหารเหลวที่อุณหภูมิต่ำๆ และเวลาที่อาหารสัมผัสกับความร้อนน้อยที่สุด ระบบหรือเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม คือ เครื่องระเหยนํ้าสุญญากาศ

2.6.1 ประเภทของเครื่องต้มระเหยนํ้า

เครื่องต้มระเหยนํ้าสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทตามลักษณะการทำงานหรืออาจจะแบ่งตามวิธีการให้ความร้อนแก่อาหารเหลว โดยเฉพาะในแง่ของเครื่องต้มระเหยนํ้าที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตอาหารเหลวเข้มข้นนั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ มากมาย เช่น ความจุความร้อน พื้นที่ผิวที่ต้องการในการถ่ายเทความร้อน ตัวกลางที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อน อื่นๆ เป็นต้น ในการจัดแบ่งประเภทของเครื่องต้มระเหยนํ้าในอุตสาหกรรมอาหารนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ

1. Calandria Evaporator เป็นกลุ่มของเครื่องระเหยนํ้าที่มีท่อส่งผ่านความร้อนขนาดสั้นๆ ที่อยู่ในแนวตั้ง (short vertical tube) และอาหารเหลวที่เคลื่อนที่ผ่านท่อความร้อน โดยธรรมชาติ (Natural circulation) โดยอาหารเหลวจะเคลื่อนที่ลงมาในแนวตั้ง นอกจากนั้นยังรวมถึงเครื่องระเหยนํ้าที่มีท่อส่งผ่านความร้อนอยู่ในแนวนอน (Horizontal tube) ด้วย ส่วนใหญ่จะมีการทำงานเป็นกะ

2. Forced Circulation Evaporator มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกยาวในแนวตั้งสำหรับใส่อาหารที่ต้องการทำเข้มข้น และมีส่วนทำความร้อนอยู่ภายนอกถังระเหย โดยจะมีเครื่องสูบอาหารเหลวให้ไหลวนเข้าไปในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อาหารเหลวร้อนขึ้นและเกิดการระเหยนํ้าขึ้น เครื่องระเหยนํ้าแบบนี้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น ซอสมะเขือเทศเข้มข้น

3. Long Tube Vertical Evaporation มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกยาวในแนวตั้ง มีท่อส่งผ่านความร้อนวางในแนวตั้งภายในถังระเหย อาหารเหลวจะไหลวนโดยธรรมชาติ โดยจะไหลลงไปตามผิวท่อส่งผ่านความร้อนในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เคลือบที่ผิวผนังท่อ เครื่องระเหยนํ้าแบบนี้อาหารเหลวจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของถังระเหย และจะเคลื่อนที่ขึ้น ไปตามผิวผนังท่อโดยแรงดันของฟองไอน์ (Bubble gas) ที่เกิดจากผิวท่อความร้อน นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่มีความหนืดไม่สูงมากนัก

4. Agitated-film Evaporator เครื่องระเหยน้ำแบบนี้ อาหารเหลวจะเข้าทางด้านล่างของถังระเหย แล้วไหลลงมาตามผิวผนังท่อส่งความร้อนในลักษณะแผ่นฟิล์มบางๆ รอบผิวท่อซึ่งจะมี rotor ทำให้เกิดการหมุนของอาหารเหลว ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

5. Rising falling film Evaporator เครื่องระเหยน้ำแบบนี้จะป้อนอาหารเหลวทางด้านล่างของถังระเหย และถูกนำขึ้นไปตามผิวผนังท่อในลักษณะแผ่นฟิล์ม เมื่อถึงส่วนบนของถังระเหย ใอจะถูกแยกออกจากอาหารเหลว จากนั้นอาหารเหลวเข้มข้นจะไหลลงมาออกทางด้านล่างของถังระเหย

เครื่องต้มระเหยน้ำสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ตามลักษณะของพื้นที่ผิวของการให้ความร้อนได้เป็น 6 แบบ ดังนี้

1. Tubular surfaces
 - Vertical tubes with climbing film
 - Vertical tubes with falling film
 - Inclined tubes
 - Horizontal tubes
2. Flat heating surfaces
 - Plate evaporator
 - Evaporator with welded plates (Lamellae)
3. Stationary cylindrical surface
4. Rotating cylindrical surface
5. Stationary conical surface
6. Rotating conical surface

เครื่องระเหยน้ำแต่ละประเภทจะมีประสิทธิภาพต่างๆ กัน และมีความเหมาะสมกับคุณลักษณะของอาหารเหลวต่างๆ กัน โดยเฉพาะในแง่ความหนืดของอาหารเหลว ตารางที่ 2.2 แสดงประเภทของเครื่องต้มระเหยที่เหมาะสมต่ออาหารเหลวแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.2 ชนิดของเครื่องต้มระเหยที่เหมาะสมกับอาหารเหลวชนิดต่างๆ

ลักษณะของอาหารเหลว	เครื่องระเหยน้ำแบบ
1. อาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำหรือปานกลางและไม่ไวต่อความร้อน	Tubular surfaces Flat heating surfaces Stationary conical surface
2. อาหารเหลวที่มีความหนืดสูงและไม่ไวต่อความร้อน	Stationary cylindrical surface Rotating conical surface
3. อาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำหรือปานกลางและไวต่อความร้อน	Tubular surfaces Flat heating surfaces Stationary conical surface
4. อาหารเหลวที่มีความหนืดสูงและไวต่อความร้อน	Rotating conical surface Rotating cylindrical surface Stationary cylindrical surface Flat heating surfaces
5. อาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำและไวต่อความร้อนมาก	Tubular surfaces Flat heating surfaces Stationary conical surface
6. อาหารเหลวที่มีความหนืดสูงและไวต่อความร้อนมาก	Rotating conical surface Rotating cylindrical surface

2.6.2 การเลือกเครื่องต้มระเหยน้ำ

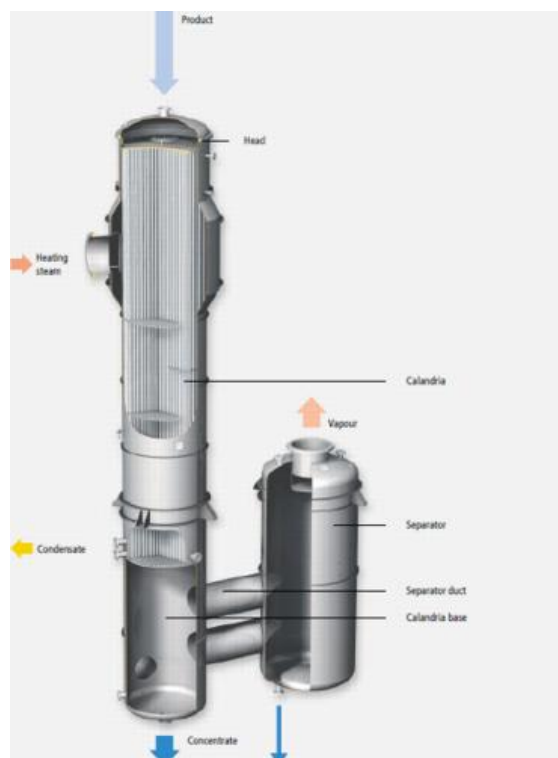
การเลือกเครื่องต้มระเหยน้ำให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของอาหารเหลวและผลิตภัณฑ์ จะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นที่มีคุณภาพดี และต้นทุนต่ำสุด ดังนั้น จึงต้องมีความรู้ทั้งทางด้านคุณสมบัติของอาหารเหลวและคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องต้มระเหยน้ำแต่ละประเภท ปัจจัยที่ควรทราบในการเลือกเครื่องต้มระเหยน้ำ มีดังนี้

- ปริมาณและกำลังการผลิตที่ต้องการ (ปริมาณน้ำที่ระเหยออกต่อหน่วยเวลา หรือ kg/ hr. evaporated water)
- ความเข้มข้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (%DS in Concentrate)
- ความไวต่อความร้อนของผลิตภัณฑ์
- สารระเหยที่เก็บไว้ได้
- การปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

- ความยุ่งยากในการควบคุมการทำงาน
- ความสามารถในการลงทุนและต้นทุนการผลิต

2.7 เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (Falling Film Evaporator)

การเพิ่มความเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายด้วยการระเหยนํ้าออกจากสารละลาย สารละลายจะถูกปั๊มเข้าด้านบนสุดของเครื่องต้มระเหย และไหลเข้าไปด้านในท่อ (tube) ภายในเครื่องต้มระเหย ซึ่งสารละลายจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบผิวท่อด้านใน และขณะเดียวกันจะมีการให้ความร้อนบริเวณผิวท่อด้านนอกด้วยไอนํ้า เมื่อสารละลายได้รับความร้อนจากไอนํ้า นํ้าในสารละลายจะระเหยกลายเป็นไอนํ้า และถูกแยกออกทำให้สารละลายที่เหลือมีความเข้มข้นขึ้น (Billet, 1989) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของ Falling-film evaporators

ที่มา : GEA Wiegand GmbH

เครื่องต้มระเหยประเภทนี้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย โดยเฉพาะสารละลายที่ไม่คงทนต่อความร้อน เช่น นม นํ้าผลไม้ เป็นต้น

2.7.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

การทำน้ำผลไม้เข้มข้น เครื่องมือที่นำมาใช้งานมักจะเป็นเครื่องต้มระเหยภายใต้สุญญากาศ แบบ steam jacket มีลักษณะเป็นหม้อต้ม สามารถควบคุมความดันภายในได้และมีเครื่องกวนภายในหม้อสำหรับกวนสารละลายขณะร้อน ภายในหม้อปรับให้มีความดันต่ำซึ่งจะทำให้ให้น้ำในน้ำผลไม้ระเหยออกมาที่อุณหภูมิต่ำ ใอน้ำที่ระเหยออกมาจะผ่านเข้าเครื่องควบแน่น และจะควบแน่นออกมาที่ท่ออีกด้านหนึ่ง การระเหยแบบนี้จะทำให้กลิ่น รส ของน้ำผลไม้สูญเสียน้อย โดยมีการระเหยอย่างรวดเร็วเนื่องจากภายในเป็นระบบสุญญากาศ จึงสามารถใช้อุณหภูมิต่ำในการทำเข้มข้น (สมบัติ, 2535) ส่วนประกอบหลักของเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง มี 4 ส่วน ดังนี้

1. ถังหรือหม้อต้มระเหย (evaporation vessel) เป็นส่วนที่ใส่อาหารเหลวที่ต้องการทำให้เข้มข้นและเป็นส่วนที่เกิดการระเหยน้ำ บางครั้งเรียกว่า boiling chamber แบบที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมมีลักษณะเป็นถัง 2 ชั้น เรียก double jacket evaporation pan ระหว่างชั้นที่เป็นช่องว่างจะเป็นส่วนที่ไอน้ำเข้าไปหล่อเลี้ยงให้ความร้อนแก่ระบบระเหยน้ำ มีระบบการกวนตรงกลางถังเพื่อช่วยกระจายความร้อนให้มีอัตราการระเหยเร็วขึ้น

2. แหล่งกำเนิดความร้อน (heat source) ในระดับอุตสาหกรรมอาจจะใช้ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อน แต่สำหรับเครื่องต้มระเหยขนาดเล็กจะใช้เตาขดลวดไฟฟ้าหรือแหล่งให้ความร้อนจากภายนอกและต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบได้ โดยมีตัวตัดอุณหภูมิ (thermostat) เป็นตัวควบคุมให้อุณหภูมิของอาหารเหลวได้ตามที่กำหนด

3. เครื่องควบแน่น (condenser) ทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำที่ระเหยออกมาจากอาหารเหลวจะมีลักษณะเป็นท่อยาว ๆ มีท่อที่ขดวนอยู่ภายในช่องว่างโดยจะมีน้ำเย็นหล่อเลี้ยง เมื่อไอน้ำที่ระเหยขึ้นมาสัมผัสกับความเย็นก็จะรวมตัวเป็นหยดน้ำอีกครั้งแล้วไหลออกมาอีกทาง

4. ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ทำหน้าที่ลดความดันภายในหม้อต้มระเหยเพื่อให้เกิดสุญญากาศภายในและทำหน้าที่ช่วยกำจัดไอน้ำหรือก๊าซอื่น ๆ ที่ไม่กลั่นตัว โดยปั๊มนี้จะต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น

2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยภายใต้สุญญากาศ

การระเหยภายใต้สุญญากาศจะเป็นการลดความดันภายในระบบลง ทำให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ คือ 100 องศาเซลเซียส (Kyzlink, 1990) โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำภายใต้สุญญากาศ มีดังนี้

- ความเร็วในการหมุนเพื่อให้ตัวอย่างสัมผัสผิวร้อนที่ผนังหม้อระเหย
- ความร้อนที่ให้กับพื้นผิวและการดึงน้ำที่เกิดการควบแน่นออกอย่างต่อเนื่อง
- ค่าความดันของระบบต่ำจะเป็นสุญญากาศสูง ทำให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิต่ำ

- สารเริ่มต้นมีค่าความหนืดสูง จะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน ทำให้อัตราการระเหยต่ำ
- ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของไอน้ำที่ให้ความร้อนและจุดเดือดของน้ำในอาหารเหลว

2.7.3 ข้อดีของการทำเข้มข้น

- สามารถป้องกันกิจกรรมของเอนไซม์ได้
- ป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ เนื่องจากน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีความหนืดสูง จะมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำ (water activity) ออกซิเจนเกิดการแพร่จากบริเวณรอบนอกเข้าสู่ภายในได้น้อย ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในอาหารได้ต่ำ จึงช่วยถนอมอาหาร
- การทำให้เข้มข้นจะช่วยรักษารส กลิ่น กลิ่นหอมระเหยและสีของน้ำผลไม้ได้ เนื่องจากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพได้ช้ากว่าน้ำผลไม้สด
- การทำให้เข้มข้นโดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 50 – 60 จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยไม่ต้องเติมสารกันเสีย
- น้ำผลไม้เข้มข้นโดยทั่วไปจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 60 แต่น้ำผลไม้ตระกูลส้มมีความเป็นกรดสูงจึงทำเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tannebaum et al., (1985) กล่าวว่าคุณค่าทางโภชนาการของน้ำส้มจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดแอสคอร์บิก การย่อยสลายของกรดแอสคอร์บิกไม่ได้มีสาเหตุมาจากเอนไซม์ ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลาย คือ ออกซิเจน แสง อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแอสคอร์บิก อัตราส่วนระหว่างกรดแอสคอร์บิกกับ Dehydroascorbic acid (หรือ DHA) อีออนโลหะ จุลินทรีย์ และภาชนะบรรจุกรณีที่มียูทิลิตี้ กรดแอสคอร์บิกจะเกิดการย่อยสลายในขั้นแรกไปเป็น DHA ในรูป monoanion ปฏิกริยาจะเป็นแบบ first order โดยมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแอสคอร์บิก ปริมาณออกซิเจนและอีออนโลหะซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล และคณะ (2541) ทดลองเพิ่มความเข้มข้นน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำส้ม น้ำเสาวรส และน้ำสับปะรด โดยใช้เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มชนิดไหลขึ้น-ลง (Rising and falling film plate evaporator) ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการทดลอง จากผลการทดลอง พบว่าเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มชนิดไหลขึ้น-ลง สามารถระเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้ด้วยอัตรา 90-100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 650 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 52-56 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และกำลังพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง 12 กิโลวัตต์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเข้มข้น 48-69 องศา บริกซ์

นางลักษณ ชวาลย์กุล (2542) ทดลองเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหยน้ำส้ม โดยใช้เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวน โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของความเร็วรอบใบกวน อัตราการป้อนวัตถุดิบและความดันไอน้ำที่ใช้ในการผลิต จากผลการทดลอง พบว่า การเพิ่มความเร็วยรอบของใบกวนจะทำให้ น้ำส้มที่ผ่านการต้มระเหยมีความเข้มข้นมากขึ้น แต่การเพิ่มอัตราการป้อนจะส่งผลให้ความเข้มข้นของน้ำส้มมีความเข้มข้นต่ำกว่าการเพิ่มความเพิ่มความเร็วรอบของใบกวน ซึ่งจากการทดลองใช้น้ำส้มที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 องศาบริกซ์ ต้มระเหยที่ความเร็วใบกวน เท่ากับ 200 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนประมาณ 16 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้ น้ำส้มที่มีความเข้มข้น 25.2 องศาบริกซ์

ลินจง สุขล้าภู (2546) ศึกษาการถนอมรักษาน้ำส้มโดยประยุกต์ใช้ความร้อนต่ำร่วมกับสารสกัดจากขิง พบว่า การให้ความร้อนแก่น้ำส้มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ร่วมกับสารสกัดจากขิงร้อยละ 10 จะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุการเน่าเสีย ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำส้มมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 4 วัน ในขณะที่น้ำส้มสด มีอายุการเก็บรักษาเพียง 1 วัน และได้ทำการประเมินคุณภาพน้ำส้มในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า น้ำส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่ถูกควบคุมไว้ตลอดระยะเวลาการเก็บ และกรดแอสคอร์บิกในน้ำส้มจะมีการสูญเสียเพียงเล็กน้อยและส่วนการเกิดสีน้ำตาลในน้ำส้มจะมีสีเข้มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ศุภกิจ พานิชเจริญ และทรงพล ชงสุวรรณ (2545) ศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มระเหยด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวน เพื่อให้อายุการเก็บในช่วงเวลา 1 เดือน เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำส้ม ด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวน ที่ความเข้มข้นของน้ำส้มเริ่มต้น 8-11 องศาบริกซ์ จะต้องใช้สภาวะการทำงานที่อัตราการป้อน 40 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบใบกวน 200 รอบต่อนาที และความดันสุญญากาศ 350 มิลลิเมตรปรอท น้ำส้มเข้มข้นที่ได้จะถูกนำมาพัฒนาโดยการเติมสารปรุงแต่ง เช่น สารเพิ่มความหนืด เนื้อมันสี กลิ่นและวัตถุกันเสีย พบว่า ผลิตภัณฑ์มีสีเช่นเดียวกับน้ำส้มสดและลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มจะผสมกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกันดีกว่าน้ำส้มสด แต่รสชาติและกลิ่นจะด้อยกว่าน้ำส้มสด ส่วนการศึกษาอายุการเก็บน้ำส้มเข้มข้นในระยะเวลา 1 เดือน พบว่า รสชาติของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างจากเดิมเพียงเล็กน้อย ส่วนลักษณะทางกายภาพของน้ำส้ม พบว่า น้ำส้มเริ่มมีสีเข้มขึ้น ความหนืดของน้ำส้มเพิ่มขึ้น และเริ่มมีตะกอนนอนก้น