บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

1. น้ำผัก (Vegetable juice)

น้ำผัก (Vegatable juice) ชนิดต่าง ๆ จะเป็นของเหลวผสมที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous mixtures) ประกอบด้วยส่วนของ serum phase และ dispersed phase ในส่วนของ serum phase มีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) กรด (acid) โปรตีนที่ละลายได้ (Soluble proteins) และ amino acid ในขณะที่ dispersed phase ประกอบด้วยส่วนของผนังเซลล์ (cell wall fragment) และ cell aggregates (Balestrieri et al. ,1991) ปัจจุบันน้ำผักเป็นเครื่องดื่มอีกประเภทหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถใช้ดื่มได้ในเด็กทารก หรือผู้บริโภคที่ต้องการดื่มเพื่อสุขภาพ เพราะมีปริมาณเกลือแร่ที่จำเป็น เช่น แคลเซียม และเหล็กตลอดจนโปรตีนก็เป็นโปรตีนที่ย่อยสลายง่าย เครื่องดื่มน้ำผักจึงมีแนวโน้มการบริโภคมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยนับว่าเป็นเครื่องดื่มที่มีความสำคัญเป็นอันดับรองจากเครื่องดื่มน้ำผลไม้ (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2535)

สรจักร ศิริบริรักษ์ (2539) กล่าวว่า น้ำผักจัดเป็น "อาหารสุขภาพ" ที่เป็นที่รู้จักกันมานานหลายสิบปี ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ สำหรับในประเทศไทยในปัจจุบันเริ่มมีการตื่นตัวหันมาบริโภคน้ำผักกันมากขึ้น จะเห็นได้จากเริ่มมีผลิตภัณฑ์น้ำผักหลายชนิด เข้ามาในท้องตลาด ให้ผู้บริโภคเลือกซื้อมากขึ้นกว่าแต่ก่อน เช่น น้ำผักรวม น้ำเห็ดหลินจือ น้ำมะเขือเทศ น้ำแครอท เป็นต้น

ศรีนวล เจียรจันทร์พงษ์ (2529) แนะนำให้ ดื่มน้ำคั้นจากผักสด โดยอาศัยเครื่องคั้นผัก อาจนำผักสดชนิดต่าง ๆ ผสมกัน ได้แก่ แครอท เซเลอรี และผักกาดต่าง ๆ แล้วปรุงรสตามชอบ ช่วยให้รู้สึกสดชื่นและเพิ่มกากอาหาร ช่วยระบบการย่อยและขับถ่าย

เครื่องดื่มประเภทน้ำผักสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ตามวิธีในการเตรียมไว้ดังนี้ (Tressler and Joslyn, 1961)

1.เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากผักที่มีความเป็นกรดต่ำ และไม่มีการปรับความเป็นกรดหรือการให้ความร้อนแก่น้ำผักสำหรับจำหน่ายในร้านอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น น้ำแครอท (carrot juice) , น้ำคื่นช่าย (celery juice) , spinach juice , beet juice และ asparagus juice เป็นต้น

2.เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากผักที่มีความเป็นกรด เช่น มะเขือเทศ และโกฏน้ำเต้า (rhubarb) เป็นต้น

3.เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากการผสมกับเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำผลไม้ตระกูลส้ม (citrus juice) , น้ำสับปะรด , น้ำมะเขือเทศ , น้ำผักกาดดอง และน้ำจากโกฏน้ำเต้า เป็นต้น

4.เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากการปรับความเป็นกรดด้วยการเติมกรดอินทรีย์บางชนิดลงไป เช่น phosphoric acid และ citric acid เป็นต้น

5.เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากน้ำดองผักต่าง ๆ ปรกติจะนำมากรองและผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เช่น sauerkraut juice

การเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำผักประเภทที่มีความเป็นกรดหรือมีการเติมกรดอาจทำได้โดยการผ่านความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดหรือใกล้จุดเดือด

1.1 <u>ประเภท</u> ประเภทของน้ำผักผลไม้แบ่งใช้เกณฑ์ในการแบ่ง 2 รูปแบบ คือ พิจารณาด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และพิจารณาด้านการเตรียม (Tressler และ Joslyn, 1961)

1.1.1. <u>แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ผลิต</u> แบ่งได้ 4 ประเภท ดังนี้

1) เครื่องดื่มน้ำผักจากส่วนใบหรือลำต้น ได้แก่ น้ำผักจาก ผักกาดหอม คื่นช่าย ผักขม ใบของบีท กะหล่ำปลี ต้นโกฏน้ำเต้า ใบบัวบก และว่านหางจระเข้ เป็นต้น
2) เครื่องดื่มน้ำผักจากส่วนราก ได้แก่ น้ำผักจากแครอท หัวบีท หัวผักกาด หัวพาซนิพ มันฝรั่งและหอม เป็นต้น
3) เครื่องดื่มน้ำผักจากส่วนที่รวมตัวกันเป็นผล มีเมล็ดมาก ได้แก่ น้ำผักจากมะเขือเทศ แตงไทย แตงกวา เป็นต้น
4) เครื่องดื่มน้ำผักจากส่วนที่เรียกว่าเป็นพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ น้ำนมถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง เป็นต้น

เครื่องดื่มน้ำผักจากส่วนที่ 1)-3) เป็นส่วนที่ได้ปริมาณน้ำผักเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีปริมาณเกลือแร่และวิตามินสูง แต่จากส่วนที่ 4) เป็นส่วนที่จะได้โปรตีนและสารอาหารที่จำเป็นบางอย่างได้มาก เนื่องจากเมล็ดพืชเป็นส่วนที่เก็บรักษาสารอาหารต่างๆที่มีประโยชน์มากมายเพื่อการงอกของเมล็ดนั่นเอง

1.1.2 <u>แบ่งตามการเตรียม</u> แบ่งได้ 6 ประเภทดังนี้

1) เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากวัตถุดิบที่มีความเป็นกรดสูง เช่น มะเขือเทศ และโกฏน้ำเต้า เป็นต้น ซึ่งอาจผ่านความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดเท่านั้น
2) เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมจากการผสมกับวัตถุดิบที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำผลไม้ตระกูลส้ม (citrus) น้ำสับปะรด น้ำมะเขือเทศ และน้ำจากโกฏน้ำเต้า เป็นต้น
3) เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมจากการเติมกรดอินทรีย์บางอย่างลงไป เพื่อลด pH ลง ซึ่งอาจจะทำให้ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายขึ้นด้วย
4) เครื่องดื่มน้ำผักผลไม้ที่ได้จากน้ำดองผักต่างๆ ปรกติจะมีการนำมากรองและทำการผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เพื่อผลิตเป็นเครื่องดื่มได้
5) เครื่องดื่มน้ำผักที่ได้สกัดมาจากผักที่มีความกรดไม่สูง เช่น น้ำแครอท น้ำคื่นช่าย น้ำกะหล่ำปลี น้ำหน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น ส่วนมากเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ
6) เครื่องดื่มน้ำผักที่ได้จากวัตถุดิบพวกแป้ง ซึ่งมีความเป็นกรดไม่สูง จำเป็นต้องผ่านความร้อนสูงในการฆ่าเชื้อ

1.2 <u>การผลิต</u> ในต่างประเทศได้มีการผลิตน้ำผักกันอย่างแพร่หลายแต่ในประเทศไทยยังมีอยู่น้อย ขั้นตอนการผลิตต่างๆคล้ายกับการผลิตน้ำผลไม้ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2535)

1.2.1 <u>การคัดคุณภาพวัตถุดิบ</u> เป็นสิ่งสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ควรคัดคุณภาพวัตถุดิบในด้านขนาดสี รอยแตกช้ำ ความแก่อ่อนให้อยู่ในเกณฑ์เดียวกันและมีความสม่ำเสมอ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด

1.2.2 <u>การทำความสะอาด</u> ผักผลไม้ส่วนใหญ่ จะมีสิ่งสกปรกปนเปื้อนมาจากกรรมวิธีการเก็บเกี่ยวภาชนะบรรจุ การขนส่ง จึงต้องนำมาทำความสะอาดเพื่อล้างเอาหิน กรวด ดิน โคลน แมลงต่างๆ ออกให้หมด เป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น และช่วยชะล้างสารเคมีที่ติดอยู่ตามผิวด้วย

1.2.3 <u>การเตรียมผัก</u> ผักบางชนิด จำเป็นต้องปอกเปลือกและตัดแต่งส่วนเน่าเสียหรือมีตำหนิออก เพื่อป้องกันการปนลงในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การให้ความร้อนจะช่วยให้การสกัดน้ำผักทำได้ง่ายขึ้น สามารถสกัดสีได้ดีขึ้น และยังเป็นการทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ในผักที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยสารประกอบเพคตินในผักและผลไม้ จะช่วยสกัดน้ำได้ง่ายขึ้น ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น สะดวกในการกรอง การทำให้ใส และช่วยสกัดสีออกมาได้มากด้วย

1.2.4 <u>การสกัด</u> มี 3 ขั้นตอน คือ

1) การตัด การตีปน หรือการบด ทำได้หลายวิธี เช่น ใช้เครื่องตีปนใช้มีดสับให้ละเอียดหรือมีขนาดเล็กลงเป็นการเพิ่มผิวหน้าให้มากขึ้น ทำให้ได้น้ำผักในปริมาณมากและการบีบคั้นน้ำจะง่ายขึ้นด้วย ในระหว่างการตีปนไม่ควรให้อากาศเข้าไปมาก เพราะจะทำให้เอนไซม์บางชนิดที่มีอยู่ในผักสามารถทำงานได้ มีผลให้สีและกลิ่นเปลี่ยนแปลงไป

2) การบีบคั้นน้ำ เป็นการแยกน้ำออกจากส่วนเนื้อผัก มีหลายวิธี เช่น ใช้ผ้าขาวบางห่อผักที่ตีปนแล้วบีบคั้นด้วยมือ หรือใช้เครื่องกดอัดที่เป็นตะแกรงคล้ายรูปตะกร้า (Basket pressing) เหมาะกับผักที่มีน้ำมาก หรือการใส่ผักที่ตีปนแล้วลงบนผ้าสะอาดหนาๆแล้วอัดด้วยแรงอัด

3) การกรอง หลังการบีบคั้นน้ำ (ยกเว้นน้ำผักที่ต้องการความข่นเช่น น้ำมะเขือเทศ) ให้ผ่านถุงผ้าที่สะอาดเพื่อไม่ให้มีผลต่อรสชาติอันไม่พึงประสงค์ หรืออาจใช้ตะแกรงกรองเอาน้ำและเนื้อผักออกมา

1.2.5 <u>การผสมน้ำผลไม้</u> การผสมน้ำผลไม้ลงในน้ำผักหรือนำน้ำผลไม้หลายชนิดมาผสมกันจะให้กลิ่น และรสชาติดีกว่าน้ำผลไม้หรือน้ำผักที่มาจากผลไม้หรือผักชนิดเดียว เช่น การผสมน้ำสับปะรดกับน้ำส้มคั้น เกรฟฟรุท หรือแอปปริคอต

1.2.6 <u>การให้ความร้อน หรือพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization)</u> มี 2 วิธี คือ

1) การใช้ไอน้ำ วิธีนี้จะรักษารสชาติน้ำผักไว้ได้มาก โดยเติมน้ำผักลงในหม้อขนาดเล็ก ซึ่งตั้งบนหม้อขนาดใหญ่ที่มีน้ำเดือดอยู่ วัดอุณหภูมิของน้ำผักจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 190 องศาฟาเรนไฮต์ (87.8 องศาเซลเซียส) จึงยกลงจากเตา อย่าวางหม้อที่ร้อนบนพื้นผิวที่เย็น บรรจุน้ำผักหรือน้ำผลไม้ที่ร้อนอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 185 องศาฟาเรนไฮต์ (85 องศาเซลเซียส) ในขวดแก้วที่ผ่านการ

พาสเจอร์ไรซ์แล้วให้ถึงปากขวดจนเกิดการล้น ปิดฝาให้แน่นแล้วกลับเอาหัวลงเป็นเวลา 3 นาที สำหรับขวดปากกว้าง และ 5 นาทีสำหรับขวดปากแคบ แล้วทำให้เย็น

2) การใช้ความร้อนโดยตรงวิธีนี้จะเกิดกลิ่นสุก โดยนำน้ำผักหรือน้ำผลไม้มาให้ความร้อนจนถึง195 องศาฟาเรนไฮต์ (90 องศาเซลเซียส) ถ้าเป็นไปได้ควรใช้แผ่นแอสเบสตอส รองใต้ภาชนะที่ใช้ในการหุงต้ม คนเบาๆ ขณะที่ให้ความร้อน บรรจุน้ำผักหรือน้ำผลไม้ที่ร้อน อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 190 องศาฟาเรนไฮต์ (87.8 องศาเซลเซียส) ในขวดแก้วที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์แล้วให้ถึงปากขวดจนเกิดการล้น ปิดฝาให้แน่น แล้วกลับเอาหัวลงเป็นเวลา 2-3 นาทีสำหรับขวดปากกว้าง และ 5 นาทีสำหรับขวดปากแคบ แล้วทำให้เย็น

1.2.7 <u>การเก็บรักษา</u> ทำความสะอาดภาชนะบรรจุและทำให้แห้งโดยใช้ลมเป่าหรือใช้ผ้าสะอาดเช็ด แล้วเก็บไว้ในที่เย็น มืดและแห้ง ถ้าเก็บไว้ที่เย็นก็จะรักษาสีและวิตามินได้มากกว่า ถ้าไม่มีที่มืดสำหรับเก็บรักษา ให้ห่อภาชนะด้วยกระดาษ หรือบรรจุในกล่องกระดาษ น้ำผักจะค่อยๆสูญเสียรสชาติและวิตามิน ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาฟาเรนไฮต์ (15.6-21.2 องศาเซลเซียส) การสูญเสียจะเกิดมากอย่างรวดเร็ว ถ้าเก็บไว้ในอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาฟาเรนไฮต์ (21.2 องศาเซลเซียส) และจะสามารถยืดอายุการเก็บได้นาน ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 32-40 องศาฟาเรนไฮต์ (0-5 องศาเซลเซียส)

1.3 <u>การเสื่อมเสีย</u> อาจเกิดจากสาเหตุต่างๆดังนี้คือ (ไพโรจน์ วิริยะจารี, 2535)

1.3.1 <u>การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction)</u> จะเกิดได้ 2 แบบคือ

1) ปฏิกิริยาแบบมีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Enzymatic browning reaction) ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีสารประกอบฟีนอล (Phenol) เป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยาและมีเอนไซม์ฟีนอลเลส (Phenolase enzymes) หรือเอนไซม์ประเภทเดียวกันเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยานี้เกิดได้ที่ pH 5-7 และจะไม่เกิดเมื่อ pH ต่ำกว่า 3

2) ปฏิกิริยาแบบไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Non-enzymatic browning reaction) แบ่งได้เป็น 3 ปฏิกิริยา

- ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่อง ซึ่งเริ่มจากปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มอะมิโนของกรดอะมิโนหรือเปปไทด์หรือโปรตีน กับกลุ่มไกลโคซิดิกไฮดรอกซิลของน้ำตาลรีดิวซ์ซิ่ง และสุดท้ายจะเกิดโพลิเมอร์ซึ่งเป็นสีน้ำตาล

- ปฏิกิริยาคาราเมล (Caramelization) เป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลเกิดการสูญเสียน้ำที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดน้ำตาลไหม้ของคาราเมล

- ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) โดยที่กรดแอสคอร์บิกจะสลายตัว เนื่องจากถูกไฮโดรไลซ์หรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น

1.3.2 <u>การสูญสลายของกรดแอสคอร์บิก</u> โดยการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งจะเป็นกลไกที่ซับซ้อน และเป็นสาเหตุที่เกิดสารสีน้ำตาล การเก็บที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ปริมาณการลดของวิตามินซีน้อยลง

1.3.3 <u>การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ(Off-flavor)</u> เกิดจากปฏิกิริยาของไขมันและน้ำมัน รวมทั้ง Carotenoid lipid (fat-soluble) materials, Flavoring oil, Terpenes และสารประกอบอื่นๆที่คล้ายกัน

1.3.4 <u>การสูญเสียความข่น</u> มีสาเหตุเนื่องมาจากการที่เอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (Pectinesterase, PE) ไปทำปฏิกิริยาดีเอสเทอริไฟด์ (Deesterification) สารประกอบเพคติน ทำให้สูญเสียความข่น

1.3.5 <u>การเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์</u> พวกรา ยีสต์ และ แบคทีเรีย ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบเช่น *Streptococcus* , *Lactobacillus* , *Pediococcus* , *Microbacterium* เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดการเน่าเสียขึ้น

2. <u>น้ำผลไม้</u>

น้ำผลไม้ เป็นของเหลวที่สกัดได้จากผลไม้ส่วนที่บริโภคได้ อาจจะสกัดโดยวิธีบีบคั้นหรือวิธีเชิงกลอื่นๆ โดยทั่วไปน้ำผลไม้ที่ได้มักข่น มีองค์ประกอบของเซลล์ที่เป็น colloids กระจายอยู่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะเนื้อเยื่อของผลไม้นั้น นอกจากนี้อาจมีส่วนที่เป็นน้ำมันหรือไขมัน และเม็ดสีจากรงควัตถุต่างๆ ซึ่งน้ำผลไม้บางชนิดจะบริโภคในลักษณะข่นตามธรรมชาติแต่บางชนิดบริโภคหลังผ่านกระบวนการทำให้ใสแล้ว น้ำผลไม้แบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ คือ

2.1 <u>น้ำผลไม้พร้อมดื่ม</u> เป็นของเหลวที่ได้จากผลไม้สุก นำมาผ่านความร้อน น้ำผลไม้ที่ได้นี้ต้องไม่มีลักษณะการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ถ้านำไปหมักก็อาจเกิดแอลกอฮอล์ขึ้นได้ น้ำผลไม้พร้อมดื่มอาจจะมีการเติมกรด หรือน้ำตาลลงไปเล็กน้อย เพื่อปรับองค์ประกอบให้เหมาะสมต่อการ

บริโภค นอกจากนั้นยังอาจหมายถึงน้ำผลไม้ที่ได้จากการนำน้ำผลไม้เข้มข้นมาเจือจางด้วยน้ำตามข้อกำหนดให้มีองค์ประกอบสำคัญใกล้เคียงกับน้ำผลไม้สด แต่ทั้งนี้หากทำมาจากน้ำผลไม้เข้มข้นจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะของมาตรฐานอุตสาหกรรมว่าด้วยน้ำผลไม้ชนิดนั้นๆ (อมร ภูมิรัตน, 2523)

2.2 น้ำผลไม้เข้มข้น เป็นน้ำผลไม้ที่สะอาดไม่มีลักษณะการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แต่ถ้านำไปหมักก็อาจเกิดแอลกอฮอล์ได้ น้ำผลไม้เข้มข้นทำมาจากผลไม้สุก สะอาด ที่ผ่านกรรมวิธีสกัดส่วนของเหลวออกจากผลไม้ หลังการระเหยน้ำเพื่อทำเป็นน้ำผลไม้เข้มข้น มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่ต่ำกว่า 2 เท่าของที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ตั้งต้น น้ำผลไม้เข้มข้นมีได้ทั้งใสและขุ่น หลังกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่แข็ง (-10 ถึง –23 °C) ได้เป็นเวลามากกว่า 1 ปี (Cruess , 1958)

2.3 น้ำผลไม้ดัดแปลง เป็นน้ำผลไม้หรือเนื้อผลไม้ที่สะอาด ไม่มีลักษณะการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แต่เมื่อนำไปหมักก็อาจเกิดแอลกอฮอล์ได้ โดยทั่วไปทำมาจากผลไม้ที่มีรสเด่นเพียงรสเดียว เช่น เปรี้ยวจัด หวานจัด หรือมีกลิ่นรุนแรง มีน้ำน้อยหรือมีเนื้อมาก นำมาปรุงแต่งโดยเติมน้ำและสารประกอบอื่นๆให้เหมาะสมสำหรับการดื่มยิ่งขึ้น แต่ต้องมีส่วนประกอบที่ได้จากผลไม้ในปริมาณไม่น้อยกว่า 30% มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำผลไม้พร้อมดื่ม หรือเท่ากับน้ำผลไม้เข้มข้นก็ได้ และต้องเก็บถนอมโดยผ่านกรรมวิธีให้ความร้อน น้ำผลไม้ประเภทนี้ได้แก่ nectar, squash, cordial และน้ำเชื่อมผลไม้ต่างๆ (Nelson and Tressler, 1980)

ในการผลิตน้ำผลไม้นอกจากใช้ผลไม้เพียงชนิดเดียวแล้ว ยังอาจนำน้ำผลไม้มากกว่าหนึ่งชนิดมาผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้น้ำผลไม้ที่มีกลิ่น รสชาติ ตลอดจนลักษณะปรากฏที่แตกต่างกันออกไป การทำน้ำผลไม้ควรใช้ผลไม้ที่มีกลิ่นรสไม่เป็นที่นิยมหรือผลไม้ที่หายาก ผสมกับผลไม้ที่มีกลิ่นรสดี หาได้ง่าย และเป็นที่รู้จักกันดี ในต่างประเทศมีการผลิตน้ำผลไม้ผสมในระดับอุตสาหกรรมมานานแล้ว โดยใช้ผลไม้พื้นเมืองหรือผลไม้ที่มีมากในประเทศนั้นเป็นหลัก (Huor et al., 1980) ส่วนในประเทศไทยก็ได้มีการผลิตน้ำผลไม้ผสม โดยใช้ผลไม้ชนิดอื่น เช่น น้ำมะนาว น้ำส้มเขียวหวาน น้ำฝรั่ง และน้ำมะละกอ โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนั้นการผสมน้ำแตงโมกับลูกหว้า หรือน้ำฝรั่งกับน้ำมะยม ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และมีการปรุงแต่งรสชาติด้วยน้ำตาลและกรด ก็จะได้น้ำผลไม้ที่มีรสชาติและคุณภาพดี เช่นกัน (จิตรา ปรัชญากร, 2508; บัญชา อารีพงษ์, 2523)

2.4 กระบวนการผลิตน้ำผลไม้

กระบวนการผลิตน้ำผลไม้ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ (Cruess, 1958)

2.4.1 การคัดเลือกผลไม้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้น้ำผลไม้ที่มีคุณภาพสูง มีความสม่ำเสมอในด้านสี กลิ่น และรสชาติ หลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้คือ คัดเลือกผลไม้ที่มีความสุกพอดี หรือมีระยะการสุกเท่า ๆ กัน เกณฑ์ที่ใช้วัด ได้แก่ ขนาดของผลไม้ ความถ่วงจำเพาะของผลไม้ ลักษณะรูปร่างของผลไม้ และสมบัติการยอมให้แสงผ่าน Smith (1980) เสนอวิธีการคัดเลือกสับปะรดตามความสุกโดยใช้ค่าความถ่วงจำเพาะและอธิบายว่า วิธีนี้ให้ผลแน่นอนกว่าการคัดเลือกโดยดูสีของเปลือก และทำโดยปล่อยสับปะรดให้ลอยในน้ำที่บรรจุในถังขนาด 200 ลิตร พวกที่ลอยได้จะเป็นผลที่ค่อนข้างดิบ มีรสเปรี้ยวแต่มีความกรอบ พวกที่จมน้ำจะนำไปลอยในถังน้ำเกลือเข้มข้น 4% ผลที่ลอยได้จัดเป็นพวกที่สุกพอดี ส่วนพวกที่จมเป็นพวกที่สุกงอม สำหรับการคัดเลือกตามลักษณะของรูปร่าง เครื่องคัดเลือกที่ใช้เป็นแบบจาน หรือแบบทรงกระบอก (Brennan, Butter, and Cowell , 1976)

2.4.2 การล้างผลไม้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัด หรือลดสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ ฝุ่นละออง สิ่งสกปรก ยาฆ่าแมลง รวมทั้งจุลินทรีย์ วิธีล้างขึ้นกับลักษณะของผลไม้ และลักษณะของสิ่งปนเปื้อน อาจใช้วิธีเดียวหรือหลายวิธีร่วมกัน วิธีล้างทั่วไปที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ การแช่ การล้างด้วยน้ำแบบพ่นฝอย การล้างในเครื่องล้างแบบลอยตัว (floatation washer) และการล้างด้วยน้ำเคลื่อนไหว การแช่ เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายแต่มีประสิทธิภาพต่ำ ใช้เป็นการล้างขั้นต้นของผลไม้ที่สกปรกมาก การล้างวิธีนี้เพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการขัดถูด้วยแปรงขณะแช่ การใช้น้ำอุ่นหรือเติมสารเคมีในน้ำที่ใช้แช่ (Woodroof and Luh, 1975)

2.4.3 การสกัดน้ำผลไม้ ผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างมาก น้ำที่อยู่ในผลไม้เป็นตัวทำละลายของสารอาหารหลายประเภทได้แก่ น้ำตาล กรด และเกลือชนิดต่างๆ เมื่อมีการสกัดน้ำผลไม้ สารอาหารเหล่านี้จะถูกสกัดออกมาพร้อมกับสารให้กลิ่นรสที่ละลายอยู่ ผลไม้แต่ละชนิดใช้กรรมวิธีการสกัดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง ตำแหน่งและลักษณะของเนื้อเยื่อที่มีน้ำผลไม้อยู่ รวมทั้งลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ น้ำผลไม้บางอย่างมีลักษณะใส บางอย่างข่น การสกัดน้ำผลไม้ประกอบด้วยกระบวนการต่อเนื่อง 2 กระบวนการ ได้แก่ การตีป่น (crushing) และการคั้น (pressing) (Cruess, 1958)

2.4.4 การตีป่น เป็นการทำให้ผลไม้มีขนาดเล็กลง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการสกัด ผลไม้ที่ผ่านการตีป่นแล้วประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว และเนื้อผลไม้ หลังการตีป่นสาร

อาหาร และสารให้กลิ่นรสที่ละลายน้ำได้ในเนื้อผลไม้จะออกมาอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลว การตีป่น ทำได้หลายวิธี ได้แก่ การสับด้วยเครื่องสับขนาดเล็ก (blender) การตีป่นด้วยเครื่องสับขนาดใหญ่ ที่เรียกว่า hammer mill ซึ่งนิยมใช้กับผลไม้ที่มีเนื้อมาก เช่น apple สับปะรด ขนาดชิ้นเนื้อผลไม้ จากการตีป่นต้องเหมาะสมกับชนิดของผลไม้ เพื่อให้ได้น้ำผลไม้ที่มีลักษณะดีที่สุด และปริมาณ มากที่สุด

2.4.5 <u>การคั้น</u> หลังจากตีป่นแล้วคั้นส่วนที่เป็นน้ำแยกออกจากส่วนเนื้อ อุปกรณ์ที่ใช้ในการคั้นน้ำผลไม้มีหลักในการทำงานเหมือนกัน คือ ใช้แรงกดทับ หรือใช้แรงกดอัด แบบ hydraulic กับเนื้อผลไม้ตีป่น เพื่อบีบคั้นให้ส่วนที่เป็นของเหลวแยกออกจากเนื้อผลไม้

2.4.6 <u>การทำน้ำผลไม้ให้ใส</u> ทำได้หลายวิธีได้แก่ การใช้ความร้อน การกรอง การใช้ enzymes และการใช้เครื่องปั่นแยก การให้ความร้อนเพื่อพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะใสขึ้นเนื่องจากพลังงานความร้อนทำให้สารแขวนลอยต่างๆเกิดการตกตะกอน โดยทั่วไปจะพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 82-85°C เป็นเวลา 2-3 วินาที แล้วลดอุณหภูมิลงถึง 27 °C โดยเร็ว แล้วจึงกรองหรือปั่นแยกตะกอนออกจากส่วนน้ำใส (Nelson and Tressler, 1980)

2.4.7 <u>การไล่อากาศ</u> เนื่องจากอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำผลไม้ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี โดยทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ของสารอาหารต่างๆ ได้แก่ วิตามินซี น้ำมันหอมระเหย และรงควัตถุที่มีในผลไม้ ทำให้สารอาหารลดลงในช่วงอายุการเก็บ เกิดกลิ่นแปลกปลอม และสีซีดจาง (Potter, 1978) จึงจำเป็นต้องกำจัดอากาศในน้ำผลไม้ให้เหลืออยู่น้อยที่สุด

2.4.8 <u>การให้ความร้อน การทำให้เข้มข้น หรือการใช้สารเจือปน</u>

เพื่อเก็บถนอมน้ำผลไม้ การเสียของน้ำผลไม้ส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี ชีวเคมี จากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ หรือจาก enzymes ที่มีในน้ำผลไม้ น้ำผลไม้โดยทั่วไปจะมีความเป็นกรดค่อนข้างสูง จุลินทรีย์ที่เจริญได้จึงเป็นพวกที่ทนกรดได้ เช่น lactic acid bacteria, ยีสต์ และเชื้อราซึ่งเจริญได้ที่ผิวหน้าของน้ำผลไม้ถ้ามีอากาศอยู่ จึงต้องมีวิธีเก็บถนอมที่ถูกต้อง และเหมาะสมกับน้ำผลไม้แต่ละชนิด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และอายุการเก็บตามต้องการ วิธีเก็บถนอมที่ใช้มาก ได้แก่ การให้ความร้อน การทำให้เข้มข้น และ การเติมสารเคมี ซึ่งทั้ง 3 วิธีอาจใช้ร่วมกับการเก็บน้ำผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ

การให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้ ทำเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ กระบวนการที่ใช้มากในอุตสาหกรรมได้แก่ การพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งเป็นการให้ความร้อนในระดับปานกลาง เพื่อทำลาย จุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค แต่ไม่มากพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ทุก

ชนิดได้ ความร้อนระดับปานกลางที่ใช้ในกระบวนการนี้ มีผลทำให้คุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่อายุการเก็บจะค่อนข้างสั้น และต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการพาสเจอร์ไรซ์

โดยทั่วไป คือ 80°C สำหรับน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูงใช้อุณหภูมิ 72-75°C ก็เพียงพอต่อการการทำลายเซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ และราได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้กระบวนการ flash pasteurization ซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในเวลาสั้นแล้วทำให้เย็นทันที เช่น ที่อุณหภูมิ 82-85°C, 2-3 วินาที วิธีนี้มีผลต่อคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้น้อยมาก (Cruess,1958)

2.4.9 <u>การบรรจุ</u> ภาชนะที่ใช้บรรจุ ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก ถุงพลาสติก กระป๋องโลหะ และกล่องกระดาษ laminate กับพลาสติก ก่อนบรรจุไล่อากาศออกแล้ว บรรจุที่อุณหภูมิ 76-82°C ปิดผนึกที่ภาวะสุญญากาศ ปริมาณบรรจุต้องไม่มากเกินไป เพราะอาจทำให้ภาชนะบรรจุโป่งบวม จากการขยายตัวของน้ำผลไม้

3.<u>น้ำผักผลไม้ผสม</u>

คือ เครื่องดื่มที่ทำจากน้ำผลไม้รวมกัน โดยนำผลไม้ที่มีกลิ่นรสไม่เป็นที่นิยมผสมกับน้ำผลไม้ที่รสดี ทำให้กลิ่นรสดีขึ้น Huor และคณะ (1980) ได้ทดลองนำน้ำแตงโมผสมกับน้ำสับปะรดและน้ำส้มทั้งหมด 10 สูตร โดยใช้ Mixture design พบว่าสามารถผสมน้ำแตงโมในอัตราส่วนสูงสุด 80% ผลิตภัณฑ์ยังได้รับการยอมรับ นอกจากนี้ยังมีการนำน้ำผักมาผสมกับน้ำผลไม้เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามิน B_1, C และE โดยนำน้ำส้มผสมกับน้ำมะเขือเทศ (Stern, 1998) Merckovinch และคณะ (1971) ได้ผลิตอาหารเด็กกระป๋องและอาหารเพื่อสุขภาพจากการนำน้ำผักและผลไม้ซึ่งมีคุณค่าทางอาหาร ประกอบด้วย มะเขือเทศ ฟักทอง แครอท และพริกฝรั่ง ผสมกับน้ำแอปเปิ้ลหรือน้ำพลัม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณแคโรทีน และวิตามินบีหนึ่ง แร่ธาตุจำเป็นและเพคตินรวมทั้งยังมีกลิ่นรสดีและได้รับการยอมรับสูง จากภาวะการณ์ปัจจุบัน การนำเข้าน้ำผักผลไม้ผสมในประเทศไทยยังมีการนำเข้าค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นจึงควรพัฒนาการทำน้ำผักผลไม้ผสม เพื่อลดการนำเข้าและใช้กับผลผลิตในประเทศให้มากขึ้น และการทำน้ำผลไม้ชนิดผงทำให้ผู้บริโภคเลือกผสมเป็นน้ำผักผลไม้เข้มข้นตามต้องการได้ ซึ่งประเทศไทยประกอบไปด้วยผักและผลไม้มากมายหลายชนิด และแต่ละชนิดมีคุณค่าทางอาหารแตกต่างกันไป รวมทั้งมีข้อจำกัดทางฤดูกาล, ราคา, ฤดูเก็บเกี่ยว ต่างๆ เหล่านี้เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเกณฑ์ต่าง ๆ ในการคัดเลือกวัตถุดิบดังนี้

<u>เกณฑ์ในการเลือกวัตถุดิบ</u>

จะคัดเลือกจาก เป็นผักผลไม้ที่สามารถคั้นน้ำได้, ฤดูกาล, ราคา, คุณค่าทางอาหาร ดังนี้

- ผักผลไม้ที่สามารถคั้นน้ำได้ เช่น แตงโม ฝรั่ง มะเขือเทศ แครอท ฯลฯ
- ฤดูกาล เพื่อให้มีผักและผลไม้ใช้ตลอดการทดลอง โดยฤดูกาลผักและผลไม้สดและฤดูกาลเก็บเกี่ยวไม้ผล-ไม้ยืนต้นของประเทศไทย แสดงดังตารางที่1 และ 2 ตามลำดับ
- ราคา เพื่อเป็นการควบคุมต้นทุนการผลิตให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด
- คุณค่าทางอาหาร ได้แก่

มีวิตามินซีสูง เช่น ฝรั่ง, มะนาว, ส้มโอ

วิตามินเอสูง เช่น แครอท, ตำลึง, ใบบัวบก, ฟักทอง

มีแคลเซียมสูง เช่น คะน้า,ตำลึง,แครอท, กระเจี๊ยบแดง, สะระแหน่, ผักกาดขาว

มีเหล็กสูง เช่น คะน้า, ตะไคร้, แตงกวา, ตำลึง, สะระแหน่, ผักกาดหอม

มีไฟเบอร์สูง เช่น กล้วยน้ำว้า ใบบัวบก มะเฟือง ตะไคร้

คุณค่าทางอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 3

<u>ตารางที่ 1</u> ฤดูกาลผักหรือผลไม้สด

ผัก	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค
กระเจี๊ยบ	●	●	●								●	●
ขิงแก่	●											
ขิงอ่อน						●	●	●	●			
ข่าอ่อน						●	●	●				
ขนุนอ่อน			●									
ข้าวโพด								●	●	●		
ข้าวโพดอ่อน											●	●
คะน้า	●	●										●
คื่นช่าย	●	●										●
แครอท	●											●
ฟักเขียว			●	●								
ฟักทอง	●	●	●									
แฟง				●								
มะกอกไทย											●	●
มะกอกฝรั่ง					●	●	●					
มะขามอ่อน						●	●	●	●			
มะขามเปียก		●	●									

ตารางที่ 1ฤดูกาลผักหรือผลไม้สด (ต่อ)

มะนาว						●	●					
มะปรางดิบ		●										
มะละกอดิบ				●	●							
มะม่วงดิบ			●	●								
มันฝรั่ง		●	●	●								
แตงกวา				●	●	●						
แตงโม	●	●	●	●								
ถั่วเหลือง	●	●										
ถั่วแขก	●											●
ถั่วพู										●	●	
ถั่วลันเตา	●											●
ถั่วฝักขาว		●	●	●	●	●	●	●				
บวบ	●								●			
บีท	●											
ผักกาดขาว	●										●	●
ผักกาดขาวปลี	●											●
สะระแหน่	●											
แห้ว										●		
กระจับ	●	●									●	●
กล้วยไข่							●	●	●	●	●	
กล้วยน้ำว้า			●				●	●	●	●	●	●
กล้วยหักมุก						●	●	●	●	●		
กล้วยหอม							●	●	●	●	●	
ขนุน		●	●	●	●							
เงาะ				●	●	●						
เงาะโรงเรียน						●	●	●				
ชมพู่		●										
ชมพู่กระเทย	●	●										
ชมพู่ตะลับ นาค	●											●
ชมพู่นาค	●	●	●									
ชมพู่มะเหมี่ยว	●	●	●									
แตงไทย							●	●	●			
แตงโม	●	●	●									
ทุเรียน				●	●	●						
น้อยหน่า							●	●	●			

ตารางที่ 1 ฤดูกาลผักหรือผลไม้สด (ต่อ)

ฝรั่ง						●	●	●				
พุทราพื้นเมือง		●	●	●								●
มะกอกน้ำ									●	●		
มะขามเทศ		●	●	●								
มะขามป้อม	●	●	●									
มะตูม	●	●	●									
มะปราง		●	●	●								
มะไฟ				●	●	●						
มะเฟือง									●	●	●	
มะม่วงทุกชนิด		●	●	●	●							
มะม่วงสุก			●	●								
มะยม							●	●	●			
มะละกอ						●					●	●
มะละกอสุก				●	●	●						
มังคุด						●	●	●				
มันแกว										●	●	
ระกำ					●	●	●					
ละมุด	●										●	●
ลางสาด							●	●	●	●		
ลิ้นจี่			●	●	●							
ลูกตาลอ่อน	●	●										
ลูกหว้า				●	●							
ลำไย							●	●				
สะท้อน					●	●						
สาเก				●	●					●	●	
ส้มเกลี้ยง											●	●
ส้มเขียวหวาน										●	●	
ส้มเขียวหวาน (บางมด)											●	●
ส้มเขียวหวาน	●											
ส้มเขียวหวาน (เพชรบุรี)							●	●				
ส้มจุก	●	●										
สับปะรด			●	●		●	●					●
ส้มโอ							●	●	●			
องุ่น	●	●									●	●

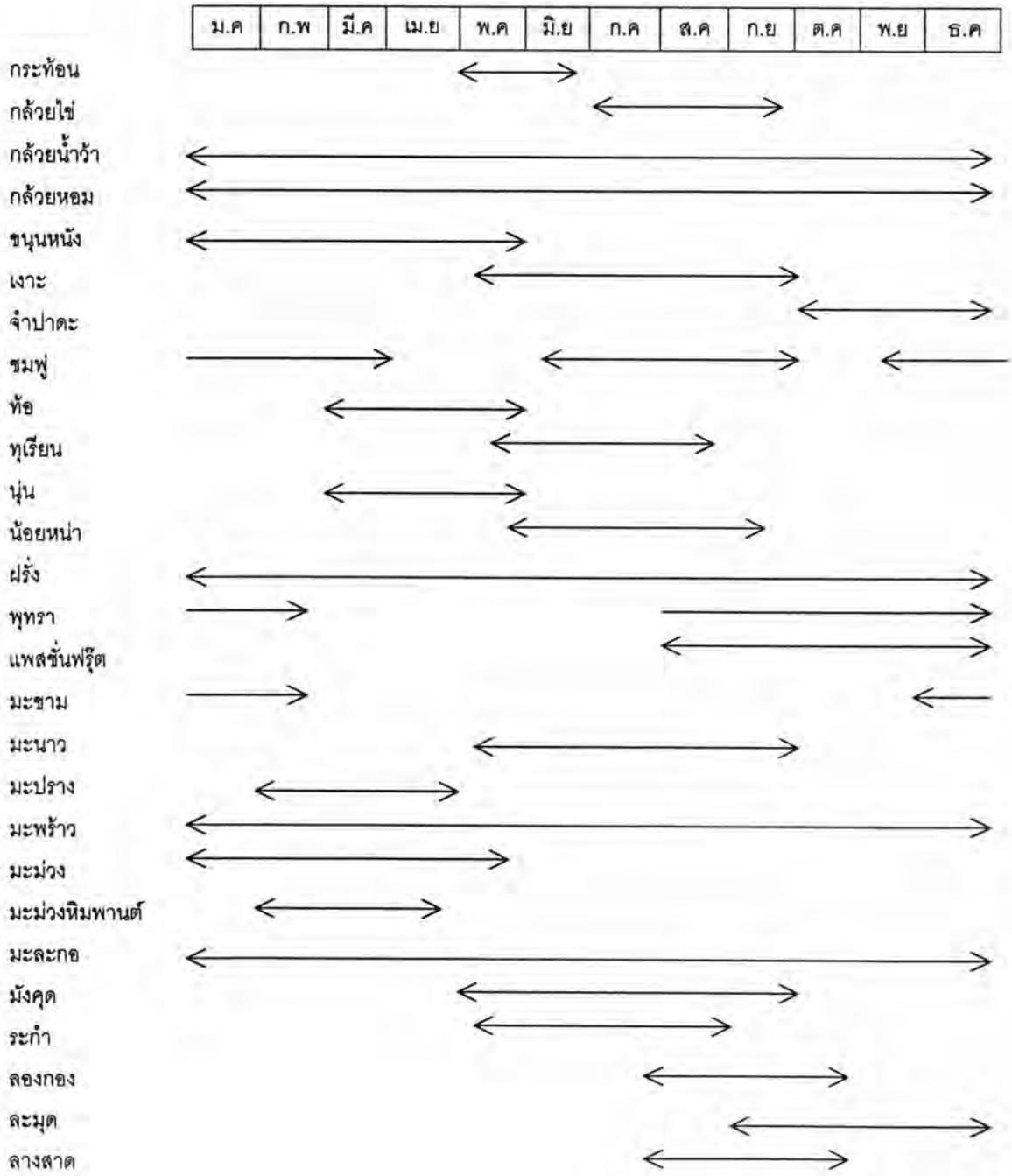
หมายเหตุ

ผักที่มีตลอดปี - แตงกวา บวบ สะระแหน่ คะน้า ฟักเขียว ฟักทอง ผักกาดขาว มันเทศ และ มะเขือต่างๆ

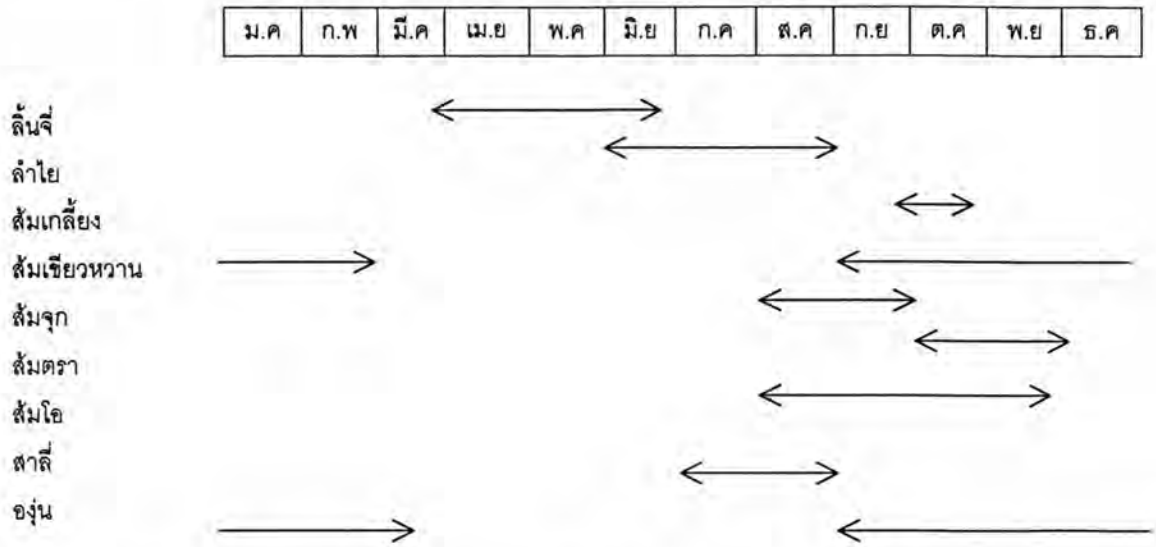
ผลไม้ที่มีตลอดปี - กล้วยน้ำว้า ฝรั่ง สับปะรด มะละกอ

ฤดูกาลเก็บเกี่ยวผักผลไม้ในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ฤดูเก็บเกี่ยวไม้ผล-ไม้ยืนต้นของประเทศไทย (Fruiting seasons in Thailand)



ตารางที่ 2 ฤดูเก็บเกี่ยวไม้ผล-ไม้ยืนต้นของประเทศไทย (Fruiting seasons in Thailand)



ในผักและผลไม้มีคุณค่าทางโภชนาการแตกต่างกันไปแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณค่าทางอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม (กองโภชนาการ, กรมอนามัย , 2530)

No.	Name of foods			Fibre (mg)	Ca (mg)	Fe (mg)	Vitamin	
	Thai	English	Scientific				A (I.U.)	C (mg)
1	คะน้า	Collard or Kale leaves	*Brassica oleracea* var. acephala	0.9	173	1.4	10,000	140
2	ฟักทอง	Pumpkin	*Cucurbita maxima*	0.8	27	0.6	2,458	14
3	ใบบัวบก	Indian penny	*Centella asiatica*	1.8	152	7	11,800	19
4	มะเขือเทศ	Tomato	*Lycopersicon esculentum*	0.7	7	0.6	842	23
5	ตะไคร้	Lemon grass	*Cymbopogon citratus*	4.2	32	3.6	708	1
6	มะนาว	Lime	*Citrus aurantifalia*	0.3	13	Tr.	17	46
7	แตงกวา	Cucumber	*Cucumis sativus*	0.6	25	1.1	250	11
8	ตำลึง	Ivy gourd leaves	*Coccinia grandis* (L.) Voigt	1.0	126	4.6	18,075	48
9	กระเจี๊ยบแดง	Roselle	*Hibiscus sabdariffa* Linn.	1.4	174	0.1	183	10
10	ขิงแก่	Ginger	*Zingiber officinate*	0.8	21	0.5	-	-
11	แครอท	Carrot	*Daucus carota* var sativa	0.9	60	1.7	18,520	9

ตารางที่ 3 คุณค่าทางอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม (ต่อ)

No.	Name of foods			Fibre (mg)	Ca (mg)	Fe (mg)	Vitamin	
	Thai	English	Scientific				A (I.U.)	C (mg)
12	ผักกาดขาว	Celery	*Brassica pekinensis*	0.5	121	1.3	350	43
13	ผักกาดหอม	Lettuce	*Lactuca indica*	0.8	82	3.9	4,942	3
14	ฟักเขียว	Waxgourd	*Benincasa nispida*	0.6	17	0.4	83	20
15	คื่นช่าย	Celery	*Apium graveolens* Linn.	0.6	39	0.3	240	9
16	พุทรา	Jujube	*Ziziphus jujuba*	1.1	37	0.8	67	46
17	ฝรั่ง	Guava	*Psidium guajava*	6	13	0.5	89	160
18	กล้วยน้ำว้า	Banana	*Musa sapientum*	0.6	12	0.8	375	14
19	ส้มโอ	Pomelo	*Citrus grandis*	0.4	27	0.5	50	53
20	น้อยหน่า	Sugarapple	*Annona squamosa*	1.6	30	0.6	2	36
21	แตงไทย	Native lemon	*Cucumis melo*	0.3	11	0.3	1,042	17
22	มะม่วงสุก	Mango	*Mangifera indica* Linn.	0.5	10	0.3	3,133	36
23	สับปะรด	Pineapple	*Ananas comosus*	-	13	0.1	-	8
24	ส้มเขียวหวาน	Orange	*Citrus reticulata*	0.2	31	0.8	4,000	18
25	แคนตาลูป	Cantaloups	*Cucumis melo* var.	0.3	14	0.4	3,400	33
26	มะละกอ	Papaya	*Carica papaya*	0.5	24	0.7	1,183	73
27	ชมพู่นาค	Rose apple	*Eugenia jambos* L.	0.4	5	0.1	-	-
28	มะตูม	Balefruit	*Aegel marmelos*	2.9	85	0.6	92	8
29	ลำไย	Longan	*Euphoria longan*	0.3	23	0.4	-	56
30	กะทกรก	Passion fruit	*Passiflora foetida*	-	20	0.7	-	15
31	องุ่นแดง	Grape	*Vitis uinifera* Linn.	0.2	11	0.5	71	-
32	แตงโม	Water melon	*Citrusllus vulgaris*	0.2	8	0.2	233	6
33	มะเฟือง	Star fruit	*Averrloa carambola*	1.0	8	0.9	267	38
34	บวบ	Angled-type gourd fruit	*Luffa acutangula*	0.6	25	0.5	50	6
35	สะระแหน่	Mint leaves	*Mentha sp.*	-	194	3.8	3,600	64

4. <u>การทำแห้งแบบเยือกแข็ง</u> (Freeze drying)

การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) เป็นวิธีการกำจัดน้ำออกจากวัตถุดิบโดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอ หรือเกิดการระเหิด (sublimation) โดยไม่ผ่านสถานะของเหลว (King , 1970)

<u>ข้อดีของวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง</u>

1. ผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายระหว่างกระบวนการทำแห้งน้อยที่สุดเนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำ

2. ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีลักษณะเป็นรูพรุนทำให้คืนรูปได้ง่าย

3. สามารถรักษาสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ไว้ได้มาก

4. สามารถป้องกันการเสียสภาพธรรมชาติรวมทั้งปฏิกิริยาต่างๆ ที่ไม่ต้องการได้มากเนื่องจากเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำโดยที่น้ำไม่ผ่านช่วงที่เป็นของเหลว ทำให้ของแข็งที่ได้อยู่ในสภาพใกล้เคียงกับสภาพเริ่มต้น ไม่สามารถผสมหรือเกิดปฏิกิริยากับสารตัวอื่น ๆ

<u>ข้อเสียของวิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง</u>

1.ผลิตภัณฑ์มี bulk density ต่ำ และมีสมบัติ hygroscopic มากจึงทำให้มีการจับตัวเป็นก้อน (caking) ได้ง่าย แต่สามารถแก้ไขได้โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในการเก็บรักษาให้เหมาะสม (Kopelman , Meydav and Weinberg ,1977) การใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสม รวมทั้งอาจมีการใช้ in-package dessicant (Strashun and Talburt , 1954) ตลอดจนการใช้สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (anticaking agent) ซึ่งนอกจากจะช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อนแล้วยังช่วยเพิ่ม bulk density อีกด้วย (Cal-Vidal and Falcone , 1985 ; Hollenbach , Peleg and Rufner, 1982)นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Juan, Huang และ Chang (1987) พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทริน (Dextrose equivalent;DE 14) ปริมาณ 10 % ในชาผงละลายทันทีสามารถรักษา free flowing property ของผลิตภัณฑ์ได้ดี

2.ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องทำแห้งที่อุณหภูมิและระดับสุญญากาศที่สูง จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้ทางการค้า (Ammu et al . , 1977)

4.1 <u>ปัจจัยสำคัญในการทำแห้งแบบเยือกแข็ง</u> (VirTis , 1977)

1. Pre-freezing

วัตถุดิบจะถูกนำมาทำให้อยู่ในสภาพเยือกแข็งก่อน อุณหภูมิในการแช่แข็งจะต้องต่ำกว่า eutectic point ของตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์มากกว่า 1 ชนิด เมื่อนำมาแช่แข็งจะมี eutectic point หลายจุด ดังนั้นจึงควรหา eutectic point ที่ต่ำที่สุดเพื่อใช้เป็นตัวแทนของ freezing point ของตัวอย่างทั้งหมดถ้าอุณหภูมิในการแช่แข็งไม่ต่ำพออาจมีน้ำบางส่วนที่ไม่แข็งตัว ซึ่งจะมีผลให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ระหว่างการทำแห้งได้ แต่ในทางกลับกันถ้าลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงจนต่ำกว่า freezing point มากเกินไปนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้วยังทำให้อัตราการระเหิดลดลง ทั้งนี้เพราะการระเหิดจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความแตกต่างระหว่างความดันไอของ product ice กับ condenser ice ค่อนข้างสูง การลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงต่ำมากเกินไปทำให้ความแตกต่างของความดันน้อยลง อัตราการระเหิดจึงลดลง

2. conderser

condenser ส่วนมากจะติดตั้งในทิศทางเดียวกับ migrating vapors เมื่อ product ice เกิดการระเหิดจะแพร่ไปยัง condenser ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า เมื่อไอแพร่มายัง condenser จะคายความร้อนแล้วเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ส่วน air และ non-condensable molecules จะถูกกำจัดออกโดย vacuum pump อุณหภูมิของ condenser ที่ใช้ขึ้นอยู่กับ lowest eutectic point ของตัวอย่าง ตัวอย่างส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิ condenser ในช่วง –40 องศาเซลเซียส ถึง –60 องศาเซลเซียส

3. high vacuum

จุดประสงค์ของการมี vacuum system นั้นเพื่อกำจัด non-condensable molecules ออกจาก chamber และเพื่อทำให้เกิดภาวะสุญญากาศ ทำให้เกิดการระเหิดได้ดีขึ้นทั้งนี้เพราะการทำให้ระบบเป็นสุญญากาศช่วยลด resistance ของการเคลื่อนที่ของไอน้ำจาก product ไปยัง condenser นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้งด้วย pump ที่ใช้จะต้องสามารถลดความดันภายใน chamber จากบรรยากาศให้ลดลงถึง 25 ไมโครเมตรปรอท หรือต่ำกว่า (อย่างน้อย 5 ไมโครเมตรปรอท) และ pump จะต้องสามารถดูดอากาศออกจนมีความดัน 5-50 ไมโครเมตรปรอทได้ภายใน 15-30 นาที เพื่อไม่ให้เกิดการละลายของผลิตภัณฑ์

4.Controlled heat to product

ในช่วงแรกของการทำแห้ง product จะอยู่ในสภาพแช่แข็งทั้งหมดจึงรับพลังงานความร้อน

ได้ดี จึงใช้ high heat setting หลังจากนั้นเมื่อตัวอย่างแห้งเพียงบางส่วน ส่วนที่แห้งจะกลายเป็นตัวขัดขวางการแพร่ของไอจากด้านล่างของตัวอย่าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ lower heat setting เพื่อป้องกันการ melt back ในช่วงท้ายของการทำแห้งต้องใช้ higher heat setting เพื่อกำจัด bound molecules ส่วนที่เหลืออยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบการควบคุมการให้ความร้อนสำหรับ sensitive materials อาจต้องใช้ระบบที่ควบคุมการให้ความร้อนและความเย็นด้วย โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง –40 องศาเซลเซียส ถึง 65 องศาเซลเซียส

ในการทำแห้งแบบเยือกแข็งนั้น การควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญ โดยในช่วงที่ตัวอย่างความชื้นสูงนั้น อุณหภูมิจะต้องต่ำพอ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ amorphous solute matrix ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงท้ายของกระบวนการทำแห้ง ความชื้นของตัวอย่างจะต้องต่ำพอที่จะป้องกันการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเช่นกัน การยุบตัว (collapse) ของโครงสร้าง ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิของ frozen sample สูงกว่า collapse temperature ทำให้รูพรุนปิดก่อนการทำแห้งจะเสร็จสิ้น ทำให้อัตราการทำแห้งลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ ยังมีผลให้ความคงตัวของสารให้กลิ่นรสต่ำลงและผลิตภัณฑ์ที่ได้คืนรูปได้ช้าและไม่สมบูรณ์ด้วย (Karel and Flink , 1973; Tsourouflis, Flink and Karel, 1976) การเพิ่มอุณหภูมิในช่วงท้ายของการทำแห้งจะช่วยให้การกำจัดน้ำเกิดได้เร็วขึ้น โดยอุณหภูมิสุดท้ายที่ใช้อาจสูงถึง 60 องศาเซลเซียส (Ponting, Stanley and Copley, 1973) จากผลการทดลองของ Jabarit (1970) พบว่า ในการทำแห้งน้ำส้มแบบเยือกแข็งควรรักษาอุณหภูมิสุดท้ายให้อยู่ในช่วง 25 องศาเซลเซียส ถึง –35 องศาเซลเซียส จึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

5. <u>สารช่วยในการทำแห้ง</u> (drying aid)

drying aid เป็นสารที่ช่วยให้การทำแห้งเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ ช่วยรักษาสารให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ช่วยลดการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งและช่วยลดการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ มอลโตเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติเป็น drying aid ที่ดีชนิดหนึ่ง จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก (Strashun and Talburt , 1954)

มอลโตเดกซ์ทรินเป็นส่วนผสมของแซคคาไรด์ ที่มีคุณค่าทางอาหารและทำให้บริสุทธิ์แล้วได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลส์แป้ง และมีค่าสมมูลย์เดกซ์โตรส (dextrose equivalent หรือ DE) ต่ำกว่า 20 (Whistler ,Bemiller ,and Paschall , 1984)

การผลิตมอลโตเดกซ์ทรินมักจะผลิตในรูปเป็นผงแห้ง มากกว่าเป็นสารละลาย โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 มีสีขาว เป็นผงร่วน มี bulk density อยู่ในช่วง 0.51 ถึง 0.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความหวานเล็กน้อยหรืออาจไม่หวานเลยขึ้นกับค่า DE เมื่อนำมอลโตเดกซ์ทรินไปละลายน้ำอาจจะให้สารละลายใสหรือขุ่น ขึ้นกับชนิดของมอลโตเดกซ์ทรินที่นำมาใช้ นอกจากนี้มอลโตเดกซ์ทรินยังสามารถละลายในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น นม น้ำ ผลไม้ซุป โดยอาจจะใส่เป็นผงโดยตรง หรือนำมาละลายในน้ำก่อน (Furia ,1972) ความสามารถในการละลายขึ้นกับค่า DE และชนิดอาหารที่นำไปใช้ สารละลายมอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE ต่ำ ๆ มีแนวโน้มที่จะไม่ละลาย ถ้าในสารละลายมีปริมาณของแข็งมากเกินไป

มอลโตเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติไม่ค่อยดูดความชื้น เมื่อเทียบกับแบะแซ (corn syrup) โดยเฉพาะที่มีค่า DE ต่ำ จะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยที่สุด มอลโตเดกซ์ทรินมีความหนืดลดลงเมื่อค่า DE สูงขึ้นทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณของแข็งในระบบด้วย หากปริมาณของแข็งสูงความหนืดจะสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้มอลโตเดกซ์ทรินยังมีคุณสมบัติให้ลักษณะความเป็นเนื้อ (body) แก่ผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายประเภท (Whistler et al . ,1984)

Flink และ Gejl-Hansen (1972) ทดลองทำแห้งสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินเข้มข้น 20 % (W/V) ที่มี hexanal 1% (v/v) ผสมอยู่ โดยวิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง เมื่อนำผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้ scanning electron microscopic technique และ optical microscopic technique สามารถตรวจพบ liquid hexanal ในรูป droplet ภายในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของมอลโตเดกซ์ทริน จากการวิเคราะห์ด้วย gas chromatography พบว่ามี hexanal เหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้ง 1.28 กรัมต่อมอลโตเดกซ์ทริน 100 กรัม (ความเข้มข้นเริ่มต้น 4.25 กรัมต่อมอลโตเดกซ์ทริน 100 กรัม)หรือ 30 % ของปริมาณเริ่มต้น และจากการศึกษาความคงตัวของ diacetyl , ethanol , 1-butanol , acetone , 1- propanol และ methyl ethyl ketone ปริมาณชนิดละ 1 % (V/V)ในสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินเข้มข้น 20 % (W/V) เมื่อผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งพบว่าสามารถรักษา volatile compounds เหล่านี้ไว้ได้ในปริมาณประมาณ 48 %, 65%, 69%, 76%, 80% และ 89% ตามลำดับ

ความคงตัวของสารให้กลิ่นรสในการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ขึ้นอยู่กับการควบคุมขั้นตอนต่าง ๆของกระบวนการ ขั้นตอนแรกคือ การเกิด concentrated solute phase ระหว่างการแช่แข็งสารให้กลิ่นรสจะถูกกักใน solute matrix structure ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาโครงสร้างนี้ไว้โดยการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้ต่ำกว่า collapse temperature ขั้นตอนต่อไปจะต้องควบคุม

อุณหภูมิและความชื้นในการเก็บผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการสูญเสียสารให้กลิ่นรส (Karel and Flink ,1973) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ dried powder matrix ที่เรียกว่า stickiness นั้นเป็นปรากฏการณ์ที่มีลักษณะเดียวกันกับปรากฏการณ์ collapse ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำแห้งแบบเยือกแข็ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีลักษณะการแห้งที่ไม่สม่ำเสมอ มีการสูญเสียสารให้กลิ่นรสและคืนรูปได้ไม่ดีนัก จากการทดลองของ Tsourouflis และคณะ (1976) พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE 10 และ 25 ในการทำแห้งน้ำส้มแบบเยือกแข็ง โดยแปรความเข้มข้น 3% , 5% , 10% , 15 % และ 20% มีผลให้ collapse temperature ของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้สูงขึ้น โดยมอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE ต่ำ จะช่วยเพิ่ม collapse temperature ได้มากกว่า มอลโตเดกซ์ทรินที่มี DEสูงที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทรินที่ใช้พบว่า เมื่อความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น collapse temperature ของผลิตภัณฑ์ก็จะเพิ่มขึ้นเมื่อ collapse temperature สูงขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แห้งเกิดขึ้นน้อยลง การสูญเสียสารให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์จึงน้อยลงด้วย

Hansen และ Flink (1985) ได้ทดลองสกัดสีแอนโธไซยานิน จากเบอรี พบว่าสภาวะที่มีผลในการสกัด ประกอบด้วยความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการสกัด สารให้ความคงตัว ค่าความเป็นกรด-ด่าง และสภาวะที่ใช้ในการฟรีซดรายด์ สภาวะที่เหมาะในการฟรีซดรายด์คือ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3 ใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE 20 ปริมาณ 2.5 % และอุณหภูมิสูงสุดของ plate คือ 75 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดของผลิตภัณฑ์ คือ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่สภาวะนี้สามารถสกัดแอนโธไซยานินสูงถึง 94 เปอร์เซ็นต์ และโครงสร้างทางด้านกายภาพ และ ความสามารถในการละลายจะยังคงอยู่ในสภาพดี

5.1 <u>การดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผงที่ทำแห้งแบบเยือกแข็ง</u>

น้ำผลไม้ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็งมักจะดูดความชื้นได้เร็ว เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อน (caking) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงของส่วนของเหลวที่เข้มข้นระหว่าง particles และเมื่อส่วนของเหลวที่เข้มข้นดังกล่าวนี้เกิดการแข็งตัว จะไปทำลาย free flowing property ของผลิตภัณฑ์ (Cal-Vidal and Falcone,1985) การดูดความชื้นนอกจากจะทำให้ผลิตภัณฑ์จับตัวเป็นก้อนแล้ว ยังทำให้มีการสูญเสียสารให้กลิ่นรสด้วย เนื่องจากมีการยุบตัวของ dried powder matrix ทำให้สารให้กลิ่นรสถูกปลดปล่อย (Tsourouflis et al . ,1976)

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผลที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

วิธีการแช่เยือกแข็ง

Cal-Vidal และ Falcone (1985) ศึกษาสมบัติด้านการดูดความชื้นของผงน้ำเสาวรสฟรีซดรายด์ ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 58% , 78% และ 96 % พบว่าอัตราเร็วในการแช่แข็งน้ำเสาวรสมีผลต่อสมบัติด้านการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยน้ำเสาวรสที่ผ่านการแช่แข็งด้วยอัตราเร็วสูง (fast freezing) ก่อนการทำแห้งด้วย dropping technique โดยการพ่น (spray) น้ำเสาวรสผ่าน liquid nitrogen ที่มีอุณหภูมิ -195.8 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการดูดความชื้นและค่า equilibruim moisture content ต่ำกว่าเมื่อแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำ (slow freezing) ใน plate freezer ที่อุณหภูมิ –45 องศาเซลเซียส สำหรับทุกระดับความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษา

Grinberg, Popovskii และ Zhdanova (1975) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการแช่แข็งก่อนการทำแห้ง apple puree แบบเยือกแข็งต่อความเป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยแปรอุณหภูมิในการแช่แข็งเป็น –20 องศาเซลเซียส –30 องศาเซลเซียส และ –40 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน โดยเฉลี่ยตั้งแต่ 64 x 10^{-10} ถึง 102 x 10^{-10} เมตรโดยที่ micropores จะมีผลต่อ sorption properties ของผลิตภัณฑ์ ส่วน macropores จะมีผลต่อการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการทำแห้ง การแช่แข็งที่อุณหภูมิ –40 องศาเซลเซียสทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า total porosityต่ำกว่า ซึ่งจะมีผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มี hygroscopic capacity ต่ำกว่าเมื่อแช่แข็งที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส และ –30 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การแช่แข็งที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นรูพรุนสูงที่สุด

5.2 วัตถุเจือปน

5.2.1 มอลโตเดกซ์ทริน

จากการทดลองใช้มอลโตเดกซ์ทริน (DE14) ปริมาณ 10 % เป็น drying aid ในการผลิตชาผงสำเร็จรูปละลายทันที (instant tea) พบว่า มอลโตเดกซ์ทรินในปริมาณดังกล่าวมีผลต่อคุณสมบัติด้านการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความชื้นวิกฤต

ซึ่งเป็นความชื้นที่ผลิตภัณฑ์จะจับตัวเป็นก้อนเพิ่มขึ้นจาก 7.5 % เป็น 9.0 % และค่า critical water activity เพิ่มขึ้นจาก 0.42 เป็น 0.52 ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มี free flowing property เมื่อมี water activity ต่ำกว่า 0.5 (Juan et al . , 1987)

สมบัติด้านการดูดความชื้นของมอลโตเดกซ์ทริน ขึ้นอยู่กับค่า dextrose equivalent โดยมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า dextrose equivalent ต่ำจะดูดความชื้นน้อยกว่า มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า dextros equivalent สูง (Whistler et al . ,1984) นอกจากมอลโตเดกซ์ ทรินจะมีผลต่อค่าความชื้นวิกฤตของผลิตภัณฑ์แล้ว ยังมีผลต่อ collapse temperature ของ dried powder matrix ด้วย อุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์แห้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเกิดการยุบตัวของโครงสร้าง การใช้มอลโตเดกซ์ทรินในการทำแห้งน้ำส้มแบบเยือกแข็งจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มี collapse temperature สูงขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ dried powder matrix เกิดขึ้นน้อยลง (Tsourouflis et al . ,1976)

5.2.2 anticaking agent (Peleg and Hollenbach ,1984)

สารพวกนี้อาจเรียกเป็นชื่ออื่น ๆ เช่น flow conditioner , free flowing agent , lubricant , glidant และ antiagglomerant เป็นต้น มีลักษณะเป็นที่เป็นผงขนาดเล็ก ใช้เติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นผงละเอียดหรือผลึก เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการไหล (flow ability) และ/หรือ ป้องกันการจับตัวเป็นก้อน conditioner มักเป็นสารที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี และมีประสิทธิภาพดีในช่วงความเข้มข้น 0-2% conditioner ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำได้มากเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก conditioner ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมอาหารได้แก่ silicon dioxide ,silicates, phosphates, salts of stearic acid, talcum starches และ modified carbohydrates

โดยทั่วไป conditioner จะสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพดีเมื่อ particle ของ conditioner เกาะติด (adhere) และเข้ากันได้ดีกับ host powder host powder ที่ปกคลุมด้วย conditioner particle จะถูกแยกจากกันทางกายภาพ interparticle interaction ณ จุดที่สัมผัสกัน จึงเป็น interaction ระหว่าง conditioner particle ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือก conditioner ที่มี attractivity ระหว่างกันต่ำ conditioner ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการค้า แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Conditioner ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการค้า

Type and major Active component	Example of manufacture's recommended food uses
Silicates	
Silicon dioxide (SiO_2)	flavors, egg, salts, spices, dried soups and bases, Cocoa, milk substitutes and coffee whiteners , sugar, cheese, dates, citric acid
Sodium silicoaluminate	cake and dessert mixes, egg, dairy products, sauce
Stearate	
Calcium stearate	onion and garlic salts, meat dry-curing mixes
Phosphates	
TCP [3 $Ca_3(PO_4)_2Ca(OH)_2$]	salt, sugars, spices
Polysaccharides	
Depolymerized starch	spice blend, artificial sweetners
Microcrystalline	
Depolymerized	imitation mozzarella , cheese
Cellulose	

ที่มา : Peleg และ Hollenbach (1984)

6. การเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ผงที่ทำแห้งแบบแห้งแบบเยือกแข็งระหว่างการเก็บ

การเสื่อมเสียเกิดจากสาเหตุที่สำคัญดังต่อไปนี้

6.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ผง ที่ทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dried fruit juice powder) จะเป็นปฏิกิริยาแบบที่ไม่ใช้เอนไซม์ (non – enzymatic browning reaction) โดยจะเกิดจากผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก มากกว่าจะเกิดจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลอินเวิร์ตกับสารประกอบอะมิโน นอกจากนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายน้ำตาลซูโครสด้วยกรด ได้แก่ กรดซิตริก ทำให้มีปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาnon – enzymatic browning มักควบคู่กับการปล่อยก๊าซ CO_2 ซึ่งอาจมีสาเหตุจากปฏิกิริยา Strecker degradation ของสารประกอบอะมิโนหรือปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ดังนั้นจึง

อาจใช้ปริมาณ ก๊าซ CO_2ที่เกิดขึ้นเป็นเครื่องชี้ให้เห็นถึง browning intensity นอกเหนือจากความเข้มสีของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ non-enzymatic browning reaction ยังอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ผิดปกติด้วย (Ammu et al . ,1977 ; Kopelman, Meydav, and Weinberg ,1977 ; ปราณี ประกิตเตชะกุล, 2525) การควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ สามารถทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในการเก็บให้เหมาะสม (ปราณี ประกิตเตชะกุล, 2525)

Kopelman, Meydav, และ Weinberg (1977) พบว่า ผงน้ำมะนาวฟรีซดรายด์ที่เก็บอุณหภูมิ 4 ^{0}C ที่บรรจุแบบ air-packed และ nitrogen-packed ไม่เกิดสีน้ำตาลเมื่อเก็บเป็นเวลานานกว่า 4 เดือน และอัตราการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ที่เก็บอุณหภูมิ 35 ^{0}C จะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ถึง 5-6 เท่า สำหรับผงน้ำมะนาวฟรีซดรายด์ที่บรรจุแบบ air-packed และสูงกว่า 3-4 เท่า สำหรับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบ nitrogen-packed การควบคุมความชื้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีความสำคัญต่อการเกิดสีน้ำตาล Kopelman, Meydav, และ Weinberg ,1977 ศึกษาผลของระดับความชื้นในการเก็บรักษาผงน้ำมะนาวฟรีซดรายด์ โดยเก็บในระบบที่ควบคุมให้มี water activity คงที่ 4 ค่า คือ aw = 0 โดยใช้ P_2O_5 (powder) , aw = 0.06 โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ NaOH , aw = 0.11 โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ LiCl และ aw = 0.22 โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ potassium acetate ในการควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการควบคุมความชื้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีความสำคัญต่อการเกิดสีน้ำตาล กล่าวคือ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการควบคุมความชื้นให้ต่ำเพียงอย่างเดียวไม่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่เหมาะสม และพบว่าการเก็บผงน้ำมะนาวฟรีซดรายด์ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ไม่มีผลต่อการควบคุมการเสื่อมเสียเนื่องจาก browning reaction มากนัก

6.2 <u>การจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์</u> (caking)

น้ำผลไม้ผงฟรีซดรายด์มีสมบัติ hygroscopic มากจึงทำให้เกิดปัญหาการจับตัวเป็นก้อน ซึ่งมีผลมาจาก surface dissolution ของอนุภาคทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันของสารละลายเข้มข้นที่จุดนั้น เมื่อส่วนที่เชื่อมโยงกันนี้กลายเป็นของแข็งก็จะทำให้อนุภาคติดกันการใช้ fast freezing treatment การใช้ anticaking agent ต่าง ๆ เช่น tricalium phosphate , silicon dioxide จะช่วยรักษา free flowing property ของผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า equilibrium moisture content ต่ำลง (Hollenbach et al . , 1982 ; Cal-Vidal and Falcone , 1985) นอกจากนี้การ

เก็บผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผลไม้ผง จะต้องควบคุมภาวะในการเก็บให้มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำ (ปราณี ประกิตเตชะกุล , 2525)

6.3 การสลายตัวของวิตามินซี (Ascorbic acid)

ปริมาณความชื้นและ water activity มีผลอย่างมากต่อการสลายตัวของวิตามินซีของผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงฟรีซดรายด์ โดยเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจะมีผลให้อัตราการสลายตัวของวิตามินซีเพิ่มขึ้น ส่วนออกซิเจนมีผลเล็กน้อยต่อการสลายตัวของวิตามินซี มีผู้รายงานว่าการสลายตัวของวิตามินซีในน้ำส้มผงฟรีซดรายด์ที่บรรจุแบบ air-packed และ vacuum – packed ไม่แตกต่างกัน (ปราณี ประกิตเตชะกุล , 2525)

กรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบที่ไม่ใช้เอนไซม์ โดยเมื่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงจะเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสีน้ำตาล (Ammu et al . , 1977)

6.4 การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavor)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของ essential oils, limonene ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ โดยกลิ่นรสที่ผิดปกตินี้มักจะเกิดจาก furfural และ diacetyl มีผู้ตรวจพบ furfural ในน้ำส้มผงหลังจากที่เก็บไว้ระยะหนึ่ง จากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่ามี furfural เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแก่สารละลายผสมของฟรุกโตส และกรดแอสคอร์บิก และเกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ส่วน diacetyl สามารถตรวจพบได้ในสารละลายผสมของน้ำตาลและกรดอะมิโน ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์และ/หรือปฏิกิริยาออกซิเดชันของ acetoin diacetyl จะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ในระยะเริ่มแรก (Tatum, Shaw and Bergy , 1967)

6.5 สภาวะการเก็บน้ำผลไม้ผงที่ทำแห้งแบบเยือกแข็ง

6.5.1 ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุ มีความสำคัญมากต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผลฟรีซดรายด์ โดยภาชนะบรรจุต้องมีลักษณะที่สำคัญคือ สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์จากความชื้น แสง อากาศ ฝุ่นละออง การปนเปื้อนของจุลินทรีย์หรือกลิ่นแปลกปลอมได้ โดยการบรรจุควรกระทำทันทีหลังจากนำผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องทำแห้ง เพื่อป้องกันการดูดความชื้นซึ่งจะส่งผลให้

ผลิตภัณฑ์จับตัวเป็นก้อนทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง (Woodroof and Luh,1975) ปราณี ประกิตเตะชะกุล (2525) ทดลองเก็บน้ำมะนาวผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบ spray drying ใน laminated aluminium foil และถุง polyethylene (PE) ทั้งในภาวะสุญญากาศและภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิห้องพบว่า laminated aluminium foil จะรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าถุง PE กล่าวคือสามารถรักษาปริมาณความชื้นและอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าผลของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวผงที่บรรจุในสภาพสุญญากาศและในบรรยากาศต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ไม่แตกต่างกัน การควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับต่ำมีความสำคัญมากต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากจะช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อน การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Kopelman, Meydav, และ Weinberg,1977) การสลายตัวของวิตามินซี (ปราณี ประกิตเตชะกุล, 2525) และการสูญเสียสารให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (Kopelman, Meydav and Wilmerdorf, 1977) โดยทั่วไปน้ำผลไม้ผงส่วนใหญ่จะสามารถเก็บได้นาน 6 เดือนที่ 37 องศาเซลเซียส หรือ 1-2 ปี ที่ 21 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้น 1% หรือต่ำกว่า (ปราณี ประกิตเตชะกุล, 2525) ซึ่งการจะทำให้มีความชื้นต่ำในระดับนี้สามารถทำได้โดยใช้ In-package desiccaation (IPD) (Notter, Taylor, and Walker, 1955)

6.5.2 In-package desiccation (IPD)

In-package desiccation ทำโดยบรรจุน้ำผลไม้ผงที่มีความชื้น 3-4 % ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทพร้อมด้วย desiccant ในปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถดูดความชื้นที่เหลืออยู่ในน้ำผลไม้ผงได้ desiccant จะถูกบรรจุใน sift-proof moisture permeable paper container ซึ่งยอมให้ไอน้ำแพร่ผ่านจากผลิตภัณฑ์มาสู่ desiccant แต่ไม่ทำให้ desiccant ลงไปปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ desiccant ต้องมีลักษณะที่สำคัญคือ ไม่เป็นพิษ ราคาไม่แพงนักหาได้ง่าย มีความสามารถในการดูดซับน้ำต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักสูง สามารถรักษาระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทให้เท่ากับ 0% desiccant ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ calcium oxide (CaO) หรือ recalcined lime ซึ่งสามารถดูดซับน้ำได้ 32 % โดยน้ำหนัก silica gel สามารถดูดซับน้ำได้ 40 % โดยน้ำหนัก (Strashun and Talburt,1954 ; Woodroof and Luh,1975) Notter et al . , (1955) ทดลองใช้ In-package desiccant (CaO 10% by wt.ของน้ำเลมอนผง) พบว่าสามารถลดความชื้นจาก 1.7% จนต่ำกว่า 1% ได้ภายใน 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส โดยไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง การใช้ in-package desiccant ร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิในการเก็บทันทีหลังจากการบรรจุจะสามารถป้องกันการจับตัวเป็นก้อน และเพิ่มเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น ซึ่ง

เป็นผลมาจากการลดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จนอยู่ในระดับที่จะไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน ช่วงเวลาของการควบคุมอุณหภูมิทันทีหลังจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุ พร้อมด้วย In-package desiccant เรียกว่า conditioning period (Notter,Taylor, and Brekke,1958) แม้ว่าอัตราเร็วในการถ่ายเทความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปสู่ desiccant จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส จากการศึกษาพบว่าการ conditioning ผงน้ำสับปะรดฟรีซดรายด์ควรทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 32 องศาเซียส ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ conditioning ผงน้ำมะนาวฟรีซดรายด์โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส สี และวิตามินซี คือ 21-27 องศาเซลเซียส (Van-Arsdel, Copley, and Morgan, 1973) rapid conditioning หรือ cascade เป็นวิธีการเพิ่มอุณหภูมิในการ conditioning ทีละน้อยทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง Notter และคณะ (1958) ทดลองใช้ In-package desiccant ร่วมด้วยในการบรรจุผงน้ำส้มฟรีซดรายด์ โดยค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิในช่วงการ conditioning จาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 29 องศาเซลเซียส และ 32 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์จาก 2.4-1.7% ให้เหลือเพียง1.3-0.9% ในเวลาเพียง 63 วัน ซึ่งจะใช้เวลาน้อยกว่าการทำ conditioning ที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งและไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง Mylne และ Seamans (1954) พบว่าการบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงภายใต้ภาวะสุญญากาศร่วมกับ IPD จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษาดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบ air-packed เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นการลดความเข้มข้นของ O_2 ภายในภาชนะมีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปสู่ desiccant เกิดขึ้นได้ดีและเร็วขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำ เสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บจึงดีขึ้น

7. <u>โปรแกรมเชิงเส้นตรง</u> (ไพโรจน์ วิริยจารี , 2536)

โปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นวิธีการวิเคราะห์หาค่าที่ดีที่สุดของตัวแปรต่าง ๆ ในลักษณะของสัดส่วนหรือการแปรผันตรง โดยค่าที่ดีที่สุดของตัวแปรอาจจะเป็นค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุดก็ได้ ขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการแก้ไข ดังนั้นในโปรแกรมเชิงเส้นตรงจึงประกอบด้วย

1. เป้าหมายหลัก (objective function) เป็นส่วนที่สำคัญในโปรแกรม เป็นเป้าหมายที่ผู้ทดลองพยายามที่จะค้นหาคำตอบ เช่นผลกำไรสูงสุดของบริษัทหรือราคาวัตถุดิบต่ำสุดที่ต้องการใช้ในสูตรการผลิต

2. ข้อจำกัด (constraints) เป็นข้อจำกัดของปัญหาที่กำลังแก้ไขนั้น ๆ เช่น ข้อจำกัดทาง

ด้านเทคโนโลยีการผลิต ข้อจำกัดของโรงงาน ข้อจำกัดของส่วนประกอบในการผลิตอาหาร โปรแกรมเชิงเส้นตรงนี้จะใช้ข้อกำหนดเป็นตัวแก้ปัญหาให้อยู่ในขอบเขตข้อจำกัดดังกล่าว ดังนั้น ข้อจำกัดจึงมักถูกกำหนดเป็นสมการ หรืออสมการเชิงเส้น

3. ปัจจัย หรือตัวแปร (Factor or variables) เป็นสิ่งที่ใช้ในการตัดสินใจ หรือต้องการทราบค่า มักจะถูกกำหนดภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดข้างต้น

โครงสร้างของโปรแกรมเชิงเส้นตรง

เป้าหมายหลัก $Z = f(X)$ เมื่อ

$$Z = c_1X_1 + c_2X_2 + c_3X_3 + \ldots + c_nX_n$$

ชุดของข้อจำกัด

$$a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + a_{13}x_{13} + \ldots a_{1n}x_{1n} \ (\geq, =, \leq) \ b_i$$

เมื่อ $i = 1,2,3,\ldots,m$

$x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n >= 0$

$x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ เป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้

$c_1, c_2, c_3, \ldots, c_n$ เป็นสัมประสิทธิ์ของสมการเป้าหมายหลัก

a_i เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการข้อจำกัด สามารถควบคุมให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดได้

b_i เป็นค่าคงที่ที่มีขอบเขตจำกัด เรียกว่า Right Hand Side (RHS)

<u>วิธีดำเนินการ</u>

1. ทำการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจหรือตัวแปรปัญหา คือ $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$
2. ให้ความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อสร้างเป้าหมายหลักและชุดของข้อจำกัดต่าง ๆ
3. กำหนดความต้องการในการแก้ปัญหา เช่น ต้องการค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุด
4. การคำนวณหาค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้วิธีการสร้างกราฟ หรือวิธีซิมเพล็กซ์ โดยใช้คอมพิวเตอร์

การประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง

1. ปัญหาการผลิตสินค้า
2. ปัญหาการผสมสารหรือวัตถุดิบ
3. ปัญหาการขนส่ง
4. ปัญหาการมอบหมายงาน
5. ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุน
6. ปัญหาการเลือกสื่อโฆษณา
7. ปัญหาการตัดวัสดุ

เงื่อนไขในการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นตรง

1. ต้องมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะบรรลุ เช่น กำไรมากที่สุด,ต้นทุนต่ำที่สุด
2. ต้องมีทางเลือกสำหรับการตัดสินใจ
3. มีข้อจำกัดสำหรับปัญหา
4. วัตถุประสงค์และข้อจำกัดต้องสามารถเขียนเป็น mathematical model ได้

8.วิธีการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

วิธีการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลายวิธี คือ

1.การทดลองเก็บจริง โดยทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในสถานที่วางขายในห้องตลาดตั้งแต่ทำการผลิตออกมาและมีการทดสอบตลอดเวลา ซึ่งอาจเป็นเดือนละครั้ง จนกระทั่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ แสดงว่าหมดอายุการเก็บ วิธีนี้จะได้รายละเอียดมากแต่เสียเวลา

2.การคำนวณโดยประมาณ โดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ การหาอายุการเก็บรักษา โดยวิธีนี้ส่วนมากเป็นการหาอายุการเก็บ เนื่องจากการเสื่อมเสียเพียงอย่างเดียว

3.วิธีเร่งการเก็บ (Accelerated storage) วิธีนี้คล้ายกับการเก็บรักษาจริงแต่เร่ง เวลาของผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์

4.วิธีการสร้างสถานการณ์จำลอง (Simulating shelf life) เป็นการศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยเลียนแบบสถานการณ์จริง ๆ โดยการสร้างสถานการณ์และนำปัจจัยต่าง ๆ เหล่านั้นมาพิจารณาแล้วคำนวณหาอายุการเก็บรักษา