

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

มะนาว

มะนาวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantiflora* Swingle อยู่ในวงศ์ Rutaceae มีชื่อสามัญว่า lime เป็นพืชตระกูลส้มซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของส้มเกลี้ยงและส้มตรา (orange group) กลุ่มของส้มจีนและส้มเขียวหวาน (mandarin group) กลุ่มของส้มโอบและเกรปฟรุต (pomelo and grapefruit group) และกลุ่มของมะนาว (common acid member group) ซึ่งกลุ่มของมะนาวนี้ประกอบด้วยมะนาว (lime) และมะนาวฝรั่ง (lemon) มะนาวเป็นพืชพื้นเมืองของอินเดีย มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินดีสตะวันออกเฉียงหรือทางภาคเหนือของอินเดีย แล้วได้กระจายพันธุ์เข้าสู่แผ่นดินใหญ่ของทวีปเอเชียในภายหลังรวมทั้งส่วนต่างๆ ของโลกในแถบร้อนและกึ่งร้อนอย่างกว้างขวาง (สมศักดิ์ วรรณศิริ, 2531)

มะนาวเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวันของคนไทยมาแต่โบราณ ใดยใช้เป็นเครื่องปรุงรสที่สำคัญในการประกอบอาหาร ใช้ผสมเป็นเครื่องดื่ม เป็นสมุนไพรซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ซักล้างที่มีประสิทธิภาพยิ่ง นอกจากนี้จะใช้มะนาวเป็นส่วนประกอบต่างๆ ในรูปผลสดดังกล่าวแล้ว ยังสามารถใช้มะนาวเป็นวัตถุดิบป้อนโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลไม้แห้งได้ ทั้งนี้ยังสามารถส่งเป็นสินค้าออกนารายได้เข้าประเทศด้วย แหล่งปลูกมะนาวที่สำคัญที่เป็นแหล่งปลูกเพื่อการค้าอยู่ในภาคตะวันตกและภาคใต้ สำหรับภาคตะวันตกได้แก่จังหวัดเพชรบุรี ราชบุรีและนครปฐม ส่วนแหล่งผลิตภาคใต้ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี (อารมย์ อุดมสิน, 2535)

1. ลักษณะผลมะนาว (กองบรรณาธิการกลุ่มเกษตรบัณฑิตอาสา, 2529; กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ ฐานเกษตรกรรม, 2529)

ผลมะนาวโดยเฉลี่ยมีความยาวประมาณ 7-12 เซนติเมตร มีรูปร่างแตกต่างกันคือแบบรีกว้าง แบบรีกลม หรือเกือบกลม มักมีจุดเปลือกบางมาก มีต่อมน้ำมันเห็นชัดเจน เมื่อสุก

เปลือกนอกจะมีสีเขียวปนเหลือง มีเนื้อมาก เปรี้ยวจัด ดุจน้ำเล็กริยิวหัวท้ายแหลม ใน 1 ผลจะมี 8-10 กลีบ

2. ส่วนประกอบของผลมะนาว (Kefford, 1959)

ส่วนประกอบสำคัญของพืชตระกูลส้มจะคล้ายๆ กัน จากภายนอกสู่ภายในจะมีเปลือก (ประกอบด้วย epidermis, flavedo, oil glands, albedo และ vascular bundle) segments หรือ sections (ประกอบด้วย segment wall, juice vascles และ เมล็ด) และ core (ประกอบด้วย vascular bundle และ parenchyma tissue)

epidermis ของพืชตระกูลส้มจะประกอบด้วย epicuticular wax layer ซึ่งมีลักษณะเป็น platelet cutin matrix (เป็นส่วนผสมของ cutin และ cell wall material) primary cell wall และ epidermal cell ชั้นของ wax จะมีการสลายตัวอย่างช้าๆ ระหว่างการเกิดผล ปริมาณของ wax ในชั้นนี้จะขึ้นอยู่กับพันธุ์ ภูมิอากาศและสภาวะในการเจริญเติบโต

3. พันธุ์มะนาว (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2533)

มะนาวเป็นไม้ผลที่มีหลายพันธุ์ เรียกชื่อแตกต่างกัน แต่ลักษณะของลำต้น ทรงพุ่ม พิสัยการแตกกิ่ง การออกดอกออกผล การบำรุงรักษาจะคล้ายคลึงกัน แต่ส่วนที่แตกต่างกันที่เห็นได้ชัดคือ ลักษณะและขนาดของผล พันธุ์มะนาวที่แพร่หลายและรู้จักกันทั่วไป มีดังนี้

มะนาวหนัง เป็นมะนาวไทยที่มีผลค่อนข้างใหญ่ ลักษณะผลกลมมน เปลือกหนารสเปรี้ยวจัด กลิ่นฉุน มีน้ำมันมากและมีกลิ่นหอม ใช้ทำน้ำมะนาวดื่มได้ดีมาก

มะนาวพันธุ์ไข่ ลักษณะผลกลม หัวท้ายยาวรีคล้ายไข่เบ็ด ผลเล็กกว่าและเปลือกบางกว่ามะนาวหนัง เก็บได้ไม่ทน เหมาะสำหรับทำมะนาวดอง

มะนาวตะวายเป็น เป็นมะนาวที่ให้ผลผลิตมากและตลอดทั้งปี จึงปลูกในแง่เพื่อการให้ประโยชน์และตกแต่งเป็นไม้ประดับบ้าน ซึ่งมะนาวตะวายเป็นนี้ยังแบ่งออกเป็น

- มะนาวตะวายเป็นพันธุ์แม่ไก่ไข่ดก มีลักษณะผลกลม ขนาดกลาง ให้ผลได้เกือบตลอดทั้งปี
- มะนาวตะวายเป็นพันธุ์แม่ไก่ไข่ดก ผลมีลักษณะแบน ผลขนาดใหญ่กว่าพันธุ์แม่ไก่ไข่ดก เปลือกไม่หนามาก
- มะนาวตะวายเป็นพันธุ์แม่ไก่ไข่ดก ทรงผลแบน มีขนาดปานกลาง เปลือกบาง

น้ำมาก ให้ผลตกตลอดปี ใช้ประโยชน์ได้ดีมาก

มะนาวพันธุ์ตาฮิติ เป็นมะนาวพันธุ์ต่างประเทศที่นำมาจากเกาะตาฮิติ ต่อมากรมวิชาการเกษตรได้นำมาศึกษาค้นคว้า และพบว่าสามารถปลูกได้ดีในประเทศไทย ผลมีขนาดโต เมื่อสุกเปลือกมีสีเขียวเข้ม มีน้ำมาก และไม่มีเมล็ด

มะนาวหวาน ผลกลม เปลือกสีเขียวคล้ำ เนื้อค่อนข้างแดง คล้ายผลส้มเขียวหวาน รสหวานจัด มีกลิ่นฉุน ใช้นิยมปลูก

มะนาวปีนัง ผลกลมยาวและมีขนาดโตกว่ามะนาวหนัง ก้านแหลมคล้ายไข่เต่า เปลือกหนา มีกลิ่นหอม ปลูกเป็นไม้ประดับได้ดี

มะนาวโรมพี ผลกลมโต แต่ส่วนเกินจะกลมแบน เปลือกหนา น้ำมีรสเปรี้ยวมาก ลำต้นใหญ่แข็งแรงเหมาะสำหรับทำเป็นต้นต่อเพื่อเอาพันธุ์อื่นๆ ที่ต้องการมาทาบกิ่งหรือขยายพันธุ์นำไปปลูกได้

มะนาวพม่า ผลกลมโต เกือบเท่าส้มเขียวหวาน เปลือกหนาแข็ง ใบค่อนข้างรีริมขอบใบมีหยักเล็กน้อย น้ำมีรสเปรี้ยว ไม่มีกลิ่น ใช้นิยมปลูกกันมากนัก

4. น้ามะนาว

ส่วนประกอบของน้ำมะนาวจะเปลี่ยนไปตามพันธุ์และสถานที่ปลูก (Swisher and Higby, 1961) สำหรับในประเทศไทยมีการวิเคราะห์สมบัติของมะนาวและคุณค่าทางอาหารแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 สมบัติของมะนาว (ปราณี ประภิตเตชะกุล, 2525)

น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล (g.)	52.9
ปริมาณน้ำมะนาวเฉลี่ยต่อผล (ml.)	23
total soluble solids (°brix)	7-8
pH	2.1
total sugar (%)	0.28
citric acid (%)	5.5
ascorbic acid (mg./100 g.)	34.0

หมายเหตุ มะนาวที่วิเคราะห์เป็นมะนาวพันธุ์แป้น

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางอาหารโดยเฉลี่ยของมะนาว(จากส่วนที่กินได้ 100 กรัม)
(กองบรรณาธิการกลุ่มเกษตรบัณฑิตอาสา, 2529)

ไขมัน (g.)	2.40
โปรตีน (g.)	0.80
คาร์โบไฮเดรต (g.)	6.30
กาก (g.)	0.30
Ca (mg.)	17.30
Fe (mg.)	0.10
P (mg.)	11.00
Vitamin A (IU.)	10.30
Vitamin B1 (mg.)	0.70
Niacin (mg.)	0.20
Vitamin B2 (mg.)	0.73
Vitamin C (mg.)	50.00
Calories (หน่วย)	40.00

Askar, El-Samahy และ Abd El-Baki (1981) ศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ทางเคมีและสารให้กลิ่นรสในน้ำมะนาวที่สกัดจากผลมะนาวที่ปลูกในประเทศอียิปต์โดยใช้ Bertuzzi juice processing ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว

characteristic	content
total soluble solids(%)	8.90
total sugars (%)	0.90
reducing sugars (%)	0.75
non-reducing sugars (%)	0.15
total acidity (%)	7.60
ascorbic acid (mg./100 g.)	35.00
free amino nitrogen(mg./100 g.)	24.40
limonene (ppm.)	4830
oxygenated terpene (ppm.)	223
ester (ppm.)	22
carbonyl compound (ppm.)	655

สารสกัดกลิ่นรสที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมะนาวทำให้น้ำมะนาวมีกลิ่นรสเฉพาะตัว เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค Moshonas และ Shaw (1972) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบของสารสกัดกลิ่นรสใน lime essence พบว่าประกอบด้วยสาร 34 ชนิด ซึ่งเป็นชนิดเดียวกันกับที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมะนาว โดยองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดคือ citral ส่วนองค์ประกอบที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ 2-methyl-3-buten-2-ol, limonene, 2-hexanal, 1,8-cineol, linalool, terpinen-4-ol, α -terpineol, borneol, isopropyl alcohol, methanol และ ethanol

Hall(1973)ศึกษาผลของกระบวนการทำให้เข้มข้นต่อกลิ่นรสในน้ำมะนาวฝรั่ง (lemon juice) โดยสารให้กลิ่นรสที่ใช้ในการประเมินคุณภาพคือ citral และ limonene ทั้งนี้เนื่องจาก citral เป็นสารที่ให้กลิ่นรสที่เฉพาะตัวของน้ำมะนาวฝรั่ง ส่วน limonene เป็นดัชนีสำคัญที่ชี้ให้เห็นถึงการเสื่อมคุณภาพด้านกลิ่นรส เพราะปฏิกิริยาออกซิเดชันของ limonene ทำให้เกิด carveol และ carvone ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavor)

คุณสมบัติทางเคมีของ Citral และ Limonene

Citral ($C_{10}H_{16}O$) เป็นสารประกอบประเภท aliphatic terpenic aldehyde ประกอบด้วย geranial (cis-isomer) และ neral (trans-isomer) โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึง citral จะหมายถึง mixture ของ geranial และ neral โดยมี geranial ในปริมาณที่สูงกว่า (Guenther, 1948) มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน ละลายได้ดีใน alcohol และ ether แต่ไม่ละลายในน้ำ เป็นสารให้กลิ่นรสที่สำคัญของน้ำมันหอมระเหย (essential oil) หลายชนิดที่สกัดจากพืช เช่น ตะไคร้ มะกรูด มะนาวฝรั่ง มะนาว เป็นต้น (Merory, 1968) จากการศึกษาพบว่า ในสภาวะที่เป็นกรด citral จะมีเสถียรภาพต่ำ (Schieberle, Ehrmeier and Grosch, 1991) Friedrich และ Gubler(1979) พบว่า เสถียรภาพของ citral ในน้ำมะนาวฝรั่ง (lemon juice) ต่ำกว่าในน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากกรดซิตริกที่มีในน้ำมะนาวฝรั่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของ citral นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่า BHA(antioxidant) มีส่วนช่วยเพิ่มเสถียรภาพของ citral ในสารละลายที่เป็นกรด

Limonene ($C_{10}H_{16}$) เป็นสารประกอบประเภท unsaturated cyclic terpene เป็นส่วนประกอบที่สำคัญใน orange oil , lemon oil และ lime oil โดยมีในปริมาณสูงถึง 90% มีลักษณะเป็น colorless oil ถูกออกซิไดส์ได้เร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศและแสง ปฏิกิริยา autoxidation ของ limonene ไปเป็น carvone และ carveol ภายใต้ภาวะที่มีอากาศและความชื้นเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียของ citrus oil(Guenther, 1948) Friedrich และ Gubler (1980) พบว่า limonene มีส่วนช่วยเพิ่มเสถียรภาพของ citral แต่การใส่ limonene เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพของ citral ในอาหารมีข้อจำกัดเพราะ

limonene ละลายในน้ำได้ไม่คืนก นอกจากนี่ยังถูกออกซิเดส่ายังอีกด้วย

การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying)

การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) เป็นวิธีการกำจัดน้ำออกจากวัตถุดิบ โดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอ หรือเกิดการระเหิด (sublimation) โดยไม่ผ่านสถานะของเหลว (King , 1973)

ข้อดีของวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Strashun and Talburt, 1954; Foda, Hamed and Abd-Allab, 1970; Ammu *et al.*, 1977)

1. ผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายระหว่างกระบวนการทำแห้งน้อยที่สุดเนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำ
 2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะ เป็นรูพรุนทำให้คืนรูปได้ง่าย
 3. สามารถรักษาสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ไว้ได้มาก
 4. สามารถป้องกันการเสียดสภาพธรรมชาติรวมทั้งปฏิกิริยาต่างๆ ที่ไม่ต้องการได้มาก
- เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำโดยที่น้ำไม่ผ่านช่วงที่เป็นของเหลว ทำให้ของแข็งที่ได้อยู่ในสภาพใกล้เคียงกับสภาพเริ่มต้น ไม่สามารถผสมหรือเกิดปฏิกิริยากับสารตัวอื่นๆ

ข้อเสียของวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง

1. ผลิตภัณฑ์มี bulk density ต่ำและมีสมบัติ 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) พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทริน (Dextrose equivalent; DE 14) ปริมาณ 10% ในชาผงละลายทันทีสามารถรักษา free flowing property ของผลิตภัณฑ์ได้ดี

2. ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำและระดับสุญญากาศที่สูง จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้ทางการค้า (Ammu *et al.*, 1977)

ปัจจัยสำคัญในการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (VirTis, 1977)

1. Pre-freezing

วัตถุดิบจะถูกนำมาทำให้เย็นในสภาวะเยือกแข็งก่อน อุณหภูมิในการแช่แข็งจะต้องต่ำกว่า eutectic point ของตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์หรือสารอินทรีย์มากกว่า 1 ชนิด เมื่อนำมาแช่แข็งจะมี eutectic point หลายจุด ดังนั้นจึงควรหา eutectic point ที่ต่ำที่สุดเพื่อใช้เป็นตัวแทนของ freezing point ของตัวอย่างทั้งหมด ถ้าอุณหภูมิในการแช่แข็งไม่ต่ำพอ อาจมีน้ำบางส่วนที่แช่แข็งตัว ซึ่งจะมีผลให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ระหว่างการทำให้แห้งได้ แต่ในทางกลับกันถ้าลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงจนต่ำกว่า freezing point มากเกินไปนอกจากจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้วยังทำให้อัตราการระเหิดลดลง ทั้งนี้เพราะการระเหิดจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีความแตกต่างระหว่างความดันไอของ product ice กับ condenser ice ค่อนข้างสูง การลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงต่ำมากเกินไปทำให้ความแตกต่างของความดันไอลดลง อัตราการระเหิดจึงลดลง

2. Condenser

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°C ถึง -60°C

3. high vacuum

จุดประสงค์ของการมี vacuum system นั้นเพื่อกำจัด non-condensable molecules ออกจาก chamber และเพื่อทำให้เกิดภาวะสุญญากาศ ทำให้เกิดการระเหิดได้ดีขึ้น ทั้งนี้เพราะการทำให้ระบบเป็นสุญญากาศช่วยลด resistance ของการเคลื่อนที่ของไอน้ำจาก product ไปยัง condenser นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำให้แห้งด้วย pump ที่ใช้จะต้องสามารถลดความดันภายใน chamber จากบรรยากาศให้ลดลง

ถึง 25 ไมโครเมตรปรอท หรือต่ำกว่า (อย่างน้อย 5 ไมโครเมตรปรอท) และ pump จะต้องสามารถดูดอากาศออกจนมีความดัน 5-50 ไมโครเมตรปรอทได้ภายใน 15-30 นาที เพื่อไม่ให้เกิดการละลายของผลิตภัณฑ์

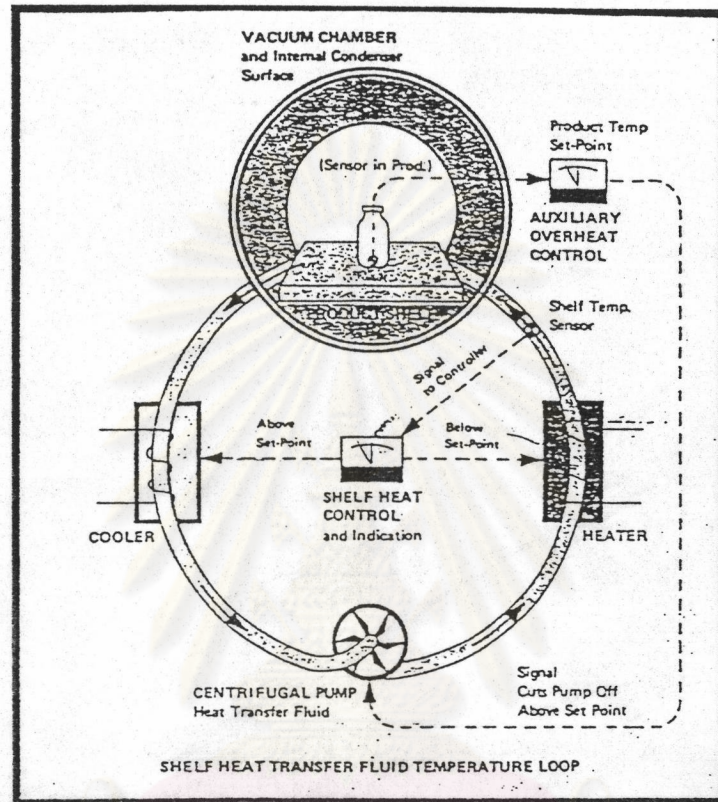
4. Controlled heat to product

ในช่วงแรกของการทำแห้ง product จะอยู่ในสภาพแช่แข็งทั้งหมดจึงรับพลังงานความร้อนได้ดี จึงใช้ high heat setting หลังจากนั้นเมื่อตัวอย่างแห้งเพียงบางส่วน ส่วนที่แห้งจะกลายเป็นตัวขัดขวางการแพร่ของไอจากด้านล่างของตัวอย่าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ lower heat setting เพื่อป้องกันการ "melt back" ในช่วงท้ายของการทำแห้งต้องใช้ higher heat setting เพื่อกำจัด bound molecules ส่วนที่เหลืออยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบการควบคุมการให้ความร้อน สำหรับ sensitive materials อาจต้องใช้ระบบที่ควบคุมการให้ความร้อนและความเย็นด้วย โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง -40°C ถึง 65°C

ในการทำแห้งแบบเยือกแข็งนั้น การควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญ โดยในช่วงที่ตัวอย่างมีความชื้นสูงนั้น อุณหภูมิจะต้องต่ำพอ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ amorphous solute matrix ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงท้ายของกระบวนการทำแห้ง ความชื้นของตัวอย่างจะต้องต่ำพอที่จะป้องกันการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเช่นกัน การยุบตัว (collapse) ของโครงสร้าง ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิของ frozen sample สูงกว่า collapse temperature ทำให้รูพรุนเปิดก่อนการทำแห้งจะเสร็จสิ้น ทำให้อัตราการทำแห้งลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ ยังมีผลให้ความคงตัวของสารที่กลั่นรสต่ำลงและผลิตภัณฑ์ที่ได้คืนรูปได้ช้าและไม่สมบูรณ์ด้วย (Karel and Flink, 1973; Tsourouflis, Flink and Karel, 1976) การเพิ่มอุณหภูมิในช่วงท้ายของการทำแห้งจะช่วยให้การกำจัดน้ำเกิดได้เร็วขึ้น โดยอุณหภูมิสุดท้ายที่ใช้งานอาจสูงถึง 60°C (Ponting, Stanley and Copley, 1973) จากผลการทดลองของ Jabarit (1970) พบว่า ในการทำแห้งน้ำส้มแบบเยือกแข็งควรรักษาอุณหภูมิสุดท้ายให้อยู่ในช่วง $25^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ จึงจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

ระบบควบคุมการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ของเครื่อง Freeze dryer รุ่น 25-SRC-3MS ของ The VirTis Company ที่สำนักงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 1.1 เป็นระบบที่นำพาให้ความร้อนโดยตรงกับ plate แต่ใช้การถ่ายเทความร้อนจาก heater ผ่าน heat transfer medium มายัง plate อีกทีหนึ่ง ส่วนการหล่อเย็นของ medium นี้ จะมีระบบ cooling

โดยให้ medium ถ่ายเทความร้อนให้กับเพื่อน



รูปที่ 1.1 ระบบการถ่ายเทความร้อนแก่ plate ในเครื่อง Freeze dryer (รุ่น 25-SRC-3MS ของ The VirTis Company)

ที่มา : VirTis (1977)

ความคงตัวของสารให้กลิ่นรสในกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Retention of volatile compounds during freeze drying)

การทำแห้งแบบเยือกแข็งเป็นวิธีการทำแห้งที่สามารถรักษาสารให้กลิ่นรสไว้ได้มากที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีกลิ่นรสใกล้เคียงผลิตภัณฑ์สดมากที่สุด (Ammu et al., 1977) ความคงตัวของสารให้กลิ่นรส (volatile compounds) ในการทำแห้งแบบเยือกแข็งนี้ สามารถอธิบายได้ด้วย entrapment mechanisms โดย volatile compounds จะถูกตรึง (immobilize) ไว้ภายใน amorphous solute matrix (Karel and Flink, 1973) entrapment mechanisms ที่ได้รับการยอมรับคือ mechanism ที่อธิบายเกี่ยวกับ selective diffusion และ microregion (Flink and Karel, 1970) ดังนี้

: selective diffusion

การสูญเสียของสารให้กลิ่นรสแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการแพร่ของสารไปยัง sublimation interface ซึ่งถ้ามีค่าสูงการสูญเสียสารนั้นจะเกิดขึ้นมาก มีผู้ทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ (diffusion coefficient) ของสารให้กลิ่นรสน้ำตาลและสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน พบว่าความสามารถในการแพร่ของสารให้กลิ่นรสเมื่อเทียบกับของน้ำจะลดลงอย่างมากเมื่อความชื้นของตัวอย่างลดลง ดังนั้นการสูญเสียของสารให้กลิ่นรสจึงขึ้นอยู่กับความชื้นของตัวอย่าง

: microregion

การแข็งตัวของสารละลายคาร์โบไฮเดรตในกระบวนการแช่แข็ง ทำให้เกิด microregion ซึ่งเป็นบริเวณที่ประกอบด้วยสารละลายคาร์โบไฮเดรตและสารให้กลิ่นรสที่เข้มข้น และเมื่อความชื้นภายใน microregion ลดลงเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตจะเกิดการเชื่อมต่อกัน (association) ด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนที่จะควบคุมการแพร่ผ่านของน้ำและสารให้กลิ่นรส โดยที่ความสามารถในการแพร่ผ่าน (permeability) ของสารเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับความชื้นภายใน microregion โดยทั่วไปกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็งทำให้เกิด drying front ที่ชัดเจน ซึ่งจะเป็นส่วนที่กั้นระหว่าง frozen layer กับ dry region โดย drying front จะเริ่มจากบริเวณพื้นผิวภายนอกของชิ้นอาหาร และเมื่อได้รับความร้อนก็จะเคลื่อนที่เข้าไปจนถึง

บริเวณที่เป็น slowest drying region เมื่อ microregion อยู่ใน frozen layer จะไม่มีการสูญเสียของสารให้กลิ่นรส การเคลื่อนที่ของ drying front ผ่าน microregion ทำให้ความชื้นภายใน microregion ลดลงเรื่อยๆ ทำให้มีการสูญเสียสารให้กลิ่นรสในช่วงที่ความชื้นภายใน microregion มีค่ามากกว่า critical moisture level โดยที่ปริมาณการสูญเสียจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้นภายใน microregion และเมื่อความชื้นลดลงจนต่ำกว่า critical level การสูญเสียของสารให้กลิ่นรสจาก microregion นั้นก็จะสิ้นสุดลง ในขณะที่การสูญเสียน้ำยังเกิดขึ้นต่อไป

ในการศึกษาการสูญเสียสารให้กลิ่นรสประเภทต่างๆ ในสารละลายคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านการทาน้ำแข็ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่า freezing point จะเกิดการแยกเป็น 2 phase คือ pure ice phase และ concentrated amorphous solution (CAS) การสูญเสียของสารให้กลิ่นรสสามารถอธิบายได้เป็น 3 กรณี (Etzal and King, 1980) ดังนี้

กรณีที่ 1 : volatile compounds ละลายเป็นเนื้อเดียวกันใน CAS

การสูญเสียของ volatile compounds ที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันใน CAS สามารถอธิบายได้ด้วย selective diffusion mechanism โดยการแพร่ของ volatile compounds จากภายใน CAS ไปที่บริเวณ CAS-ice interface ซึ่งเป็นบริเวณที่สัมผัสกับความดันต่ำ ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (คาร์โบไฮเดรต) ที่เพิ่มขึ้นจะขัดขวางการแพร่ของ volatile compounds มากกว่าการแพร่ของน้ำ ทำให้ volatile retention ดีขึ้น

กรณีที่ 2 : volatile compounds ที่แยกชั้น ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันใน CAS

ตัวอย่างของกรณีนี้ได้แก่ citrus juice ซึ่งมี volatile compounds รวมตัวกันเป็น immiscible organic phase เมื่อนำไปแช่แข็ง volatile compounds เหล่านี้จะอยู่ในลักษณะของ droplet ซึ่งส่วนหนึ่งอยู่ภายใน bulk ของ CAS และอีกส่วนหนึ่งอยู่ที่บริเวณ CAS-ice interface volatile droplet ที่อยู่ภายใน CAS จะมีความคงตัวสูง แต่การสูญเสียไปในกระบวนการทาน้ำแข็งก็อาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ขนาดของ droplet ใกล้เคียงหรือมากกว่าขนาดของ CAS (CAS web thickness) ทำให้ volatile droplet มีโอกาสสัมผัสกับ web surface ซึ่งเป็นบริเวณที่สัมผัสกับความดันต่ำ ส่วน

volatile droplet ที่บริเวณ CAS-ice interface จะสูญเสียไปทั้งหมดระหว่างการระเหิดของน้ำแข็ง แต่สำหรับ droplet ที่มีขนาดเล็กๆ จะสามารถเคลื่อนที่เข้าไปภายใน CAS โดย Brownian diffusion จึงไม่สูญเสียไประหว่างการระเหิดของน้ำแข็ง

กรณีที่ 3 : volatile compounds ที่ละลายใน CAS ได้น้อยลงเนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในการแช่แข็ง

volatile compounds ส่วนที่ไม่ละลายจะอยู่ในรูปของ volatile droplet โดยมีอยู่ทั้งบริเวณภายใน CAS ที่ใกล้กับ CAS-ice interface การสูญเสียไประหว่างการทวนแห้งจึงสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับในกรณีที่ 2

ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความคงตัวของสารให้กลิ่นรสในกระบวนการ Freeze drying

1. วิธีการแช่แข็ง

Flink และ Karel (1970) ศึกษาผลของอัตราเร็วในการแช่แข็งต่อความคงตัวของ 2-propanol และ n-butanol ในสารละลายมอลโตสที่ผ่านการทวนแห้งแบบเยือกแข็ง พบว่า การแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำ (โดยแช่ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ -20°F เป็นเวลาหลายชั่วโมง) มีผลให้ความคงตัวของ 2-propanol และ n-butanol สูงกว่าการแช่แข็งด้วยอัตราเร็วสูง (แช่ใน liquid nitrogen bath นาน 30-45 วินาที) ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าการแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำนั้น ความเข้มข้นของตัวถูกละลายใน microregion จะสูงกว่าเมื่อแช่แข็งด้วยอัตราเร็วสูง ความเข้มข้นของตัวถูกละลายใน microregion ที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลให้การแพร่ของสารให้กลิ่นรสผ่าน microregion น้อยลง จึงมีความคงตัวสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในกรณีที่ volatile compounds มีขนาดโมเลกุลใหญ่ อัตราเร็วในการแช่แข็งจะไม่ค่อยมีผลต่อความคงตัวของสารนั้นมากนัก

การศึกษาเกี่ยวกับผลของอัตราเร็วในการแช่แข็งต่อความคงตัวของ 2-propanol ในสารละลายมอลโตสหรือสารละลายเดกซ์แทรนที่มีความเข้มข้น 20% พบว่าเมื่อแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำ 2-propanol จะมีความคงตัวสูงกว่าเมื่อแช่แข็งด้วยอัตราเร็วสูงถึง 10 เท่า (Karel and Flink, 1973)

Gerschensen, Bartholomai และ Chirife (1979) ศึกษาผลของอัตราเร็วในการแช่แข็งต่อความคงตัวของ butyl acetate ในน้ำมันมะเขือเทศ (7% solid) ที่ผ่านการทวน

แห้งแบบเยือกแข็ง พบว่า การแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำ (โดยใช้ tray freezer อุณหภูมิ -40°C) มีผลให้ butyl acetate มีความคงตัวสูงกว่าเมื่อแช่แข็งด้วยอัตราเร็วสูง (โดยจุ่มใน liquid air หรือ acetone-dry ice)

2. drying aid

drying aid เป็นสารที่ช่วยให้การทำให้แห้งเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ ช่วยรักษาสารให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ช่วยลดการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งและช่วยลดการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ มอลต์เดกซ์ทรินมีคุณสมบัติเป็น drying aid ที่ดีชนิดหนึ่ง จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก (Strashun and Talburt, 1954)

มอลต์เดกซ์ทรินเป็นส่วนผสมของแซคคาไรด์ ที่มีคุณค่าทางอาหารและทำให้บริสุทธิ์แล้ว ได้จากปฏิกิริยาการไฮโดรไลส์แป้ง และมีค่าสมมูลย์เดกซ์โตรส (dextrose equivalent หรือ DE) ต่ำกว่า 20 (Whistler, Bemiller and Paschall, 1984)

การผลิตมอลต์เดกซ์ทรินมักจะผลิตในรูปเป็นผงแห้ง มากกว่าเป็นสารละลาย โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 มีสีขาว เป็นผงร่วน มี bulk density อยู่ในช่วง 0.51 ถึง 0.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความหวานเล็กน้อยหรืออาจไม่หวานเลยขึ้นอยู่กับค่า DE เมื่อผสมมอลต์เดกซ์ทรินไปละลายน้ำอาจทำให้สารละลายใสหรือขุ่น ขึ้นกับชนิดของมอลต์เดกซ์ทรินที่นำมาใช้ นอกจากนั้นมอลต์เดกซ์ทรินยังสามารถละลายในอาหารที่เป็นของเหลวเช่น นม น้ำผลไม้ ชูบ โดยอาจจะเป็นผงโดยตรง หรือนำมาละลายในน้ำก่อน (Furia, 1972) ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับค่า DE และชนิดอาหารที่นำไปใช้ สารละลายมอลต์เดกซ์ทรินที่มี DE ต่ำๆ มีแนวโน้มที่จะไม่ละลาย ถ้าในสารละลายมีปริมาณของแข็งมากเกินไป ความสามารถในการละลายแสดงในตารางที่ 2.4

มอลต์เดกซ์ทรินมีคุณสมบัติไม่ค่อยดูดความชื้น เมื่อเทียบกับแบะแซ (corn syrup) โดยเฉพาะที่มีค่า DE ต่ำ จะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยที่สุด มอลต์เดกซ์ทรินมีความหนืดลดลงเมื่อค่า DE สูงขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งด้วย หากปริมาณของแข็งสูงความหนืดจะสูงขึ้นด้วย (ดังแสดงในตารางที่ 2.5) นอกจากนั้นมอลต์เดกซ์ทรินยังมีคุณสมบัติให้ลักษณะความเป็นเนื้อ (body)แก่ผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายประเภท (Whistler et al., 1984)

ตารางที่ 2.4 ความสามารถในการละลายของมอลโตเดกซ์ทริน ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ช่วงค่า DE	ความสามารถในการละลาย (โดยประมาณ) ร้อยละ
9-12	40
13-17	60
17-20	70

ที่มา : Whistler *et al.* (1984)

ตารางที่ 2.5 ความหนืดของสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นต่างกันเปรียบเทียบกับ corn syrup

ของแข็ง (ร้อยละ)	ความหนืดที่ 37.8°C ,cps		
	มอลโตเดกซ์ทริน		Corn syrup
	10-15 DE	15-20 DE	25-30 DE
50	125	12.5	1.2
60	1250	125	12
70	20000	2000	200

ที่มา : Whislter *et al.* (1984)

Flink และ Gejl-Hansen (1972) ทดลองทำน้ำหอมละลายมอลโตเดกซ์ทรินเข้มข้น 20% (w/v) ที่มี hexanal 1% (v/v) ผสมอยู่ โดยวิธีทำน้ำหอมแบบเยือกแข็ง เมื่อนำผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้ scanning electron microscopic technique และ optical microscopic technique สามารถตรวจพบ liquid hexanal ในรูป droplet ภายในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของมอลโตเดกซ์ทริน จากการวิเคราะห์ด้วย gas chromatography พบว่ามี hexanal เหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการทำน้ำหอม 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) เมื่อผ่านการทำน้ำหอมแบบเยือกแข็ง พบว่าสามารถรักษา volatile compounds เหล่านี้ไว้ได้ในปริมาณประมาณ 48%, 65%, 69%, 76%, 80% และ 89% ตามลำดับ

Rulkens และ Thijseen (1972) ศึกษาความคงตัวของ methanol, n-propanol และ n-pentanol ในสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินความเข้มข้นต่างๆ เมื่อผ่านการทำน้ำหอมแบบเยือกแข็ง พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินในช่วง 5-20% (w/w) จะมีผลให้ความคงตัวของ volatile compounds เหล่านี้เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมอลโตเดกซ์ทรินจนมากกว่า 20% จะไม่มีผลต่อความคงตัวของ volatile compounds ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Furuta และคณะ (1984) ที่พบว่า ความคงตัวของ ethanol ในสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน หลังจากผ่านกระบวนการทำน้ำหอมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน

Kopelman, Meydav และ Wilmersdorf (1977) ทดลองใช้มอลโตเดกซ์ทริน 25% (w/w) ที่มีค่า dextrose equivalent 15, 32 และ 42 เป็น carrier ในการทำน้ำหอม orange aroma essence แบบเยือกแข็ง ผลการทดลองพบว่า aroma powder ที่ได้มีความคงตัวของสารให้กลิ่นรสค่อนข้างสูง โดยสารให้กลิ่นรสทั้งหมดที่เหลืออยู่หลังกระบวนการทำน้ำหอมเท่ากับ 42%, 62% และ 67% ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณ d-limonene ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรสที่สำคัญพบว่า สามารถรักษา d-limonene ไว้ได้ 97.8% , 93.3% และ 96.3% ตามลำดับ

ความคงตัวของสารให้กลิ่นรสในการทําแห้งแบบเยือกแข็ง ขึ้นอยู่กับการควบคุม ขั้นตอนต่างๆของกระบวนการ ขั้นตอนแรกคือ การเกิด concentrated solute phase ระหว่างการแช่แข็ง สารให้กลิ่นรสจะถูกกักใน solute matrix structure ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาโครงสร้างนี้ไว้โดยการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้ต่ำกว่า collapse temperature ขั้นตอนต่อไปจะต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในการเก็บผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการสูญเสียสารให้กลิ่นรส (Karel and Flink, 1973) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ dried powder matrix ที่เรียกว่า "stickiness" นั้นเป็นปรากฏการณ์ที่มีลักษณะเดียวกันกับปรากฏการณ์ "collapse" ที่เกิดขึ้นระหว่างการทําแห้งแบบเยือกแข็ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีลักษณะการแห้งที่สม่ำเสมอ มีการสูญเสียสารให้กลิ่นรส และคืนรูปได้ไม่ดีนัก จากการทดลองของ Tsourouflis และคณะ (1976) พบว่า การใช้มอลต์เดกซ์ทรินที่มีค่า DE 10 และ 25 ในการทําแห้งน้ำส้มแบบเยือกแข็ง โดยแปรความเข้มข้น 3% , 5% , 10% , 15% และ 20% มีผลให้ collapse temperature ของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้สูงขึ้น โดยมอลต์เดกซ์ทรินที่มี DE ต่ำ จะช่วยเพิ่ม collapse temperature ได้มากกว่า มอลต์เดกซ์ทรินที่มี DE สูงที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของมอลต์เดกซ์ทรินที่ใช้พบว่า เมื่อความเข้มข้นของมอลต์เดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น collapse temperature ของผลิตภัณฑ์ก็จะเพิ่มขึ้น เมื่อ collapse temperature สูงขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แห้งเกิดขึ้นน้อยลง การสูญเสียสารให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์แห้งจึงน้อยลงด้วย

การควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผงที่ทําแห้งแบบเยือกแข็ง

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

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผงที่ทำแบบเยือกแข็ง

1. วิธีการแช่แข็ง

Cal-Vidal และ Falcone (1985) ศึกษาสมบัติด้านการดูดความชื้นของผงน้ำเสาวรสปริชทรายด์ ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 58%, 78% และ 96% พบว่าอัตราเร็วในการแช่แข็งน้ำเสาวรสมิผลต่อสมบัติด้านการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยน้ำเสาวรที่ผ่านการแช่แข็งด้วยอัตราเร็วสูง (fast freezing) ก่อนการทำแห้งด้วย dropping technique โดยการพ่น (spray) น้ำเสาวรผ่าน liquid nitrogen ที่มีอุณหภูมิ -195.8°C จะมีอัตราการดูดความชื้นและค่า equilibrium moisture content ต่ำกว่าเมื่อแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำ (slow freezing) ใน plate freezer ที่อุณหภูมิ -45°C สำหรับทุกระดับความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษา

Grinberg, Popovskii และ Zhdanova (1975) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการแช่แข็งก่อนการทำแห้ง apple purée แบบเยือกแข็งต่อความเป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยแปรอุณหภูมิในการแช่แข็งเป็น -20°C, -30°C และ -40°C พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนโดยเฉลี่ยตั้งแต่ 64×10^{-10} ถึง 102×10^{-10} เมตร โดยที่ micropores จะมีผลต่อ sorption properties ของผลิตภัณฑ์ ส่วน macropores จะมีผลต่อการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการทำแห้ง การแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40°C ทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า total porosity ต่ำกว่า ซึ่งจะมีผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มี hygroscopic capacity ต่ำกว่าเมื่อแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C และ -30°C ทั้งนี้การแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นรูพรุนสูงที่สุด

2. additive

2.1 มอลต์เดกซ์ทริน

จากการทดลองใช้มอลต์เดกซ์ทริน (DE 14) ปริมาณ 10% เป็น drying aid ในการผลิตชาผงสำเร็จรูปละลายทันที (instant tea) พบว่า มอลต์เดกซ์ทรินปริมาณดังกล่าวมีผลต่อสมบัติด้านการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความชื้นวิกฤตซึ่งเป็นความชื้นที่ผลิตภัณฑ์จะจับตัวเป็นก้อนเพิ่มขึ้นจาก 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, Huang and Chang, 1987)

สมบัติด้านการดูดความชื้นของมอลต์เดกซ์ทริน ขึ้นอยู่กับค่า dextrose equivalent โดยมอลต์เดกซ์ทรินที่มีค่า dextrose equivalent ต่ำกว่าจะดูดความชื้นน้อยกว่า มอลต์เดกซ์ทรินที่มีค่า dextrose equivalent สูง (Whistler *et al.*, 1984) นอกจากมอลต์เดกซ์ทรินจะมีผลต่อค่าความชื้นวิกฤตของผลิตภัณฑ์แล้ว ยังมีผลต่อ collapse temperature ของ dried powder matrix ด้วย อุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์แห้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเกิดการยุบตัวของโครงสร้าง การใช้มอลต์เดกซ์ทรินในการทำงานแห้งน้ำสับบแบบเยือกแข็งจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มี collapse temperature สูงขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ dried powder matrix เกิดขึ้นน้อยลง (Tsourouflis *et al.*, 1976)

2.2 anticaking agent (Peleg and Hollenbach, 1984)

สารพวกนี้อาจเรียกเป็นชื่ออื่นๆ เช่น flow conditioner, free flowing agent, lubricant, glidant และ antiagglomerant เป็นต้น มีลักษณะเป็นของแข็งที่เป็นผงขนาดเล็ก ใช้เติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นผงละเอียดหรือผลึก เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการไหล (flow ability) และ/หรือป้องกันการจับตัวเป็นก้อน conditioner มักเป็นสารที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี และมีประสิทธิภาพดีในช่วงความเข้มข้น 0-2% conditioner ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำได้มากเนื่องจากมีพื้นผิวมาก 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 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือก conditioner ที่มี attractivity ระหว่างกันต่ำ conditioner ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการค้า แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 Conditioner ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการค้า

Type and major active component	Examples of manufacturer'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, sauces
Stearate	
Calcium stearate [Ca(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂ ·H ₂ O]	onion and garlic salts, meat dry-curing mixes
Magnesium stearate	
Phosphates	
TCP [3Ca ₃ (PO ₄) ₂ ·Ca(OH) ₂]	salt, sugars, spices
Polysaccharides	
Depolymerized starch	spice blends, artificial sweeteners
Microcrystalline	
depolymerized	imitation mozzarella , cheese
cellulose	

ที่มา : Peleg และ Hollenbach (1984)

conditioner จะทำให้ host powder แยกจากกันทางกายภาพโดย

- interruption of liquid bridging

การดูดความชื้นจะทำให้เกิด liquid layer ที่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคที่มี water soluble substances liquid layer นี้จะขยายไปยังอนุภาคใกล้เคียงจนเกิดเป็น interparticle liquid bridge เมื่อ bridge เกิดการแข็งตัวหรือตกผลึกจะทำให้เกิด solid bridge กระบวนการนี้เรียกว่า humidity caking ซึ่งเป็น caking mechanism ที่พบโดยทั่วไปใน food powder ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ conditioner สามารถขัดขวาง mechanism นี้ได้โดยการขัดขวางความต่อเนื่องของ liquid layer แม้เมื่อเกิด solid bridge แล้ว conditioner จะช่วยให้ mechanical strength ของ solid bridge ลดลง ดังนั้นจึงสามารถทำลายได้โดยง่าย เป็นผลให้สามารถรักษา powder flow ability ไว้ได้

- lubrication

internal friction เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติด้านการไหลของ free flowing powder conditioner powder บางชนิดสามารถทำหน้าที่เหมือนกับเป็น lubricant โดยทำให้เกิด smoother surface (เช่น stearates) หรือทำหน้าที่เสมือน miniroller ที่คั่นระหว่าง host particle มีผู้ทดลองวัด angle of internal friction ของตัวอย่าง conditioned และ unconditioned powder sucrose พบว่า calcium stearate เป็น effective lubricant โดยสามารถลด angle of friction ลง 2-5 องศา ส่วน silicon dioxide, silicates และ tricalcium phosphate (TCP) มีผลให้ angle of friction ลดลงเล็กน้อยเท่านั้น

- competition for adsorbed water

conditioner powder ส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง จึงมักมีการกล่าวอ้างว่า conditioner จะมีการแข่งขันในการดูดซับน้ำที่มีอยู่กับ host powder จึงสามารถลด hygroscopicity และการจับตัวเป็นก้อนของ host powder ได้ อย่างไรก็ตามกลไกนี้จะสามารถอธิบายการทำงานของ conditioner ได้เมื่อ host powder สัมผัสกับความชื้นที่จำกัดค่าหนึ่งในระยะเวลาสั้นๆ แต่กลไกนี้จะไม่สามารถอธิบายได้เมื่อ conditioned powder อยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้นสูง ซึ่งจะสามารถดูดซับน้ำได้อย่าง

อิสระจนเข้าสู่ภาวะสมดุล จากงานวิจัยพบว่า aluminium silicate หรือ calcium stearate (1%) ไม่สามารถป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของ onion powder ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองใช้ tricalcium phosphate, silicon oxide, calcium stearate และ sodium aluminium silicate ใน dried sucrose ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 85% โดยจะสังเกตเห็น humidity shrinkage ของ conditioned sugar

- cancellation of electrostatic charges and molecular forces

conditioner particle ที่พื้นผิวของ host particle จะมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ powder bulk property ในกรณีที่มี surface coverage เกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ จะไม่สามารถชักกลไกที่กล่าวมา conditioner ทาหน้าที่เป็น solid barrier ในการอธิบายการทำงาน of conditioner ได้ ในกรณีเช่นนี้อาจอธิบายการทำงาน of conditioner โดย conditioner จะช่วย neutralize electrostatic charge หรือช่วยลด superficial molecular attractive forces แรงดึงดูดของประจุระหว่าง powder เป็นสาเหตุหนึ่งของการจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นการใช้ conditioner ที่ทำให้ประจุตรงกันข้ามกับ powder เพื่อ neutralize electrostatic charge สามารถปรับปรุง flowability ของ powder ได้

ประสิทธิภาพของ conditioner ขึ้นอยู่กับลักษณะของ conditioner-host powder system ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ surface compatibility, particle size และ moisture content การใช้ conditioner ในปริมาณที่มากเกินไป นอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาการแยกตัวของ conditioner จากผลิตภัณฑ์ด้วย (Peleg and Hollenbach, 1984) การใช้ aluminium silicate หรือ calcium stearate เป็น anticaking agent ในน้ำตาลซูโครสโดยใช้ในปริมาณเพียง 1% จะสามารถทาหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Hollenbach *et al.*, 1982)

Cal-Vidal และ Falcone (1985) ศึกษาผลของการใช้ tricalcium phosphate (TCP) และ silicon dioxide (ชื่อทางการค้าคือ Syloid 63 FP และ 244 FB) ต่อการดูดความชื้นของผงน้ำตาลเสาวรสปริชชรายด์ ที่เก็บที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้น

สัมพัทธ์ 58% โดยแปรปริมาณการใช้ในช่วง 0-1% (โดยน้ำหนักของปริมาณของแข็งในน้ำเสาวรส) พบว่าการเติม Syloids 244 FB ปริมาณ 0.5% ลงในน้ำเสาวรสก่อนการแช่แข็งจะทำให้อัตราการดูดความชื้นและค่า equilibrium moisture content ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เติม Syloids 244 FB และการเพิ่มปริมาณการใช้เป็น 1% ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของสารนี้เพิ่มขึ้น ส่วนผลของ TCP และ Syloids 63 FP ต่อการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างน้อย ทั้งนี้จากการทำ electron microscopic analysis พบว่า anticaking agent ทั้งสองนี้ปกคลุมรอบๆ อนุภาคของผลิตภัณฑ์ได้น้อยจึงทำให้ประสิทธิภาพต่างนอกจาก anticaking agent จะช่วยรักษา free flowing property ของผลิตภัณฑ์แล้วยังช่วยเพิ่ม bulk density ของผลิตภัณฑ์ด้วย Hollenbach และคณะ (1982) พบว่าการใช้ sodium aluminium silicate, tricalcium phosphate และ calcium stearate เป็น anticaking agent ในน้ำตาลซูโครสจะทำให้ bulk density ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยระดับความเข้มข้นที่ทำให้ anticaking agent เหล่านี้มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.5-1% (โดยน้ำหนัก)

การเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ผงที่ผ่านแห้งแบบเยือกแข็งระหว่างการเก็บ

การเสื่อมเสียเกิดจากสาเหตุที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมเสียของน้ำผลไม้ผงที่ผ่านแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze dried fruit juice powder) จะเป็นปฏิกิริยาแบบที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) โดยจะเกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก มากกว่าจะเกิดจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลอินเวิร์ตกับสารประกอบอะมิโน นอกจากนี้อาจเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายน้ำตาลซูโครสด้วยกรดได้แก่ กรดซิตริก ทำให้มีปริมาณ reducing sugar ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยา non-enzymatic browning มักเกิดควบคู่กับการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากปฏิกิริยา Strecker degradation ของสารประกอบอะมิโนหรือปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ดังนั้นจึงอาจใช้ปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นเป็นเครื่องชี้ให้เห็นถึง browning intensity นอกเหนือจากความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น 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 พวงน้ำเลมอนพรีซครายด์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°C ที่บรรจุแบบ air-packed และ nitrogen-packed ไม่เกิดสีน้ำตาลเมื่อเก็บเป็นเวลานานกว่า 4 เดือน และอัตราการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่อุณหภูมิ 35°C จะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 25°C ถึง 5-6 เท่า สำหรับพวงน้ำเลมอนพรีซครายด์ที่บรรจุแบบ air-packed และสูงกว่า 3-4 เท่า สำหรับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบ nitrogen-packed การควบคุมความชื้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีความสำคัญต่อการเกิดสีน้ำตาล Kopelman, Meydav และ Weinberg (1977) ศึกษาผลของระดับความชื้นในการเก็บรักษาพวงน้ำเลมอนพรีซครายด์ โดยเก็บในระบบที่ควบคุมให้มี water activity คงที่ 4 ค่า คือ $a_w = 0$ โดยใช้ P_2O_5 (powder), $a_w = 0.06$ โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ NaOH, $a_w = 0.11$ โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ LiCl และ $a_w = 0.22$ โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ potassium acetate ในการควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการควบคุมความชื้นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีความสำคัญต่อการเกิดสีน้ำตาล กล่าวคือ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการควบคุมความชื้นให้ต่ำเพียงอย่างเดียวไม่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่เหมาะสม และพบว่า การเก็บพวงน้ำเลมอนพรีซครายด์ในบรรยากาศของก๊าซ N_2 ไม่มีผลต่อการควบคุมการเสื่อมเสียเนื่องจาก browning reaction มากนัก

2. การจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ (caking)

น้ำผลไม้พวงน้ำเลมอนพรีซครายด์มีสมบัติ hygroscopic มากจึงทำให้เกิดปัญหาการจับตัวเป็นก้อน ซึ่งมีผลมาจาก surface dissolution ของอนุภาคทำให้เกิดการเชื่อมร้อยกันของสารละลายเข้มข้นที่จุดนั้น เมื่อส่วนที่เชื่อมร้อยกันนี้กลายเป็นของแข็งก็จะทำให้อนุภาคติดกัน การใช้ fast freezing treatment การใช้ anticaking agent ต่างๆ เช่น tricalcium phosphate, silicon dioxide จะช่วยรักษา free flowing property ของผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า equilibrium moisture content ต่ำลง

(Hollenbach *et al.*, 1982; Cal-Vidal and Falcone, 1985) นอกจากนี้การเก็บผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผลไม้ผง จะต้องควบคุมภาวะในการเก็บให้มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำ (ปราชญ์ ประกิตเตชะกุล, 2525)

3. การสลายตัวของวิตามินซี (Ascorbic acid)

ปริมาณความชื้นและ water activity มีผลอย่างมากต่อการสลายตัวของวิตามินซีของผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงพรีชดรายด์ โดยเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจะมีผลให้อัตราการสลายตัวของวิตามินซีเพิ่มขึ้น ส่วนออกซิเจนมีผลเล็กน้อยต่อการสลายตัวของวิตามินซี มีผู้รายงานว่า การสลายตัวของวิตามินซีในน้ำส้มผงพรีชดรายด์ที่บรรจุแบบ air-packed และ vacuum-packed ไม่แตกต่างกัน (ปราชญ์ ประกิตเตชะกุล, 2525)

กรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบที่เอนไซม์ โดยเมื่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงจะเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสีน้ำตาล (Ammu *et al.*, 1977)

4. การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavor)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือการเปลี่ยนแปลงต่างๆของ essential oils, limonene ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ โดยกลิ่นรสที่ผิดปกตินี้มักเกิดจาก furfural และ diacetyl มีผู้ตรวจพบ furfural ในน้ำส้มผงหลังจากที่เก็บไว้ระยะเวลาหนึ่ง จากงานวิจัยต่างๆพบว่ามี furfural เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแก่สารละลายผสมของฟรุคโตสและกรดแอสคอร์บิก และเกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ส่วน diacetyl สามารถตรวจพบได้ในสารละลายผสมของน้ำตาลและกรดอะมิโน ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเอนไซม์และ/หรือปฏิกิริยาออกซิเดชันของ acetoin diacetyl จะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ในระยะเริ่มแรก (Tatum, Shaw and Bergy, 1967)

สภาวะการเก็บน้ำผลไม้ผงที่แห้งแบบเยือกแข็ง

1. ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุ มีความสำคัญมากต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผงพรีชดรายด์ โดยภาชนะบรรจุต้องมีลักษณะที่สำคัญคือ สามารถป้องกันผลิตภัณฑ์จากความชื้น แสง อากาศ ฝุ่น

ละออง การปนเปื้อนของจุลินทรีย์หรือกลิ่นแปลกปลอมได้ โดยการบรรจุควรกระทำทันทีหลังจากนำผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องทำแห้ง เพื่อป้องกันการดูดความชื้นซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จับตัวเป็นก้อน ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง (Woodroof and Luh, 1975) ปราณี ประกิตเตชะกุล (2525) ทดลองเก็บน้ำมะนาวผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบ spray drying ใน laminated aluminium foil และถุง polyethylene (PE) ทั้งในภาวะสุญญากาศและภายใต้บรรยากาศที่อุดมหมู่มีห้องพบว่า laminated aluminium foil จะรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า ถุง PE กล่าวคือสามารถรักษาปริมาณความชื้นและอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าผลของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวผงที่บรรจุในสภาพสุญญากาศและในบรรยากาศต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ไม่แตกต่างกัน การควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับต่ำมีความสำคัญมากต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากจะช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อน การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Kopelman, Meydav and Weinberg, 1977) การสลายตัวของวิตามินซี (ปราณี ประกิตเตชะกุล, 2525) และการสูญเสียสารให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (Kopelman, Meydav and Wilmersdorf, 1977) โดยทั่วไปน้ำผลไม้ผงส่วนใหญ่จะสามารถเก็บได้นาน 6 เดือนที่ 37°C หรือ 1-2 ปี ที่ 21°C โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้น 1% หรือต่ำกว่า (ปราณี ประกิตเตชะกุล, 2525) ซึ่งการจะทำให้มีความชื้นต่ำในระดับนี้สามารถทำได้โดยใช้ in-package desiccation (IPD) (Notter, Taylor and Walker, 1955)

2. In-package desiccation (IPD)

In-package desiccation ทำโดยบรรจุน้ำผลไม้ผงที่มีความชื้น 3-4% ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทพร้อมด้วย desiccant ในปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถดูดความชื้นที่เหลืออยู่ในน้ำผลไม้ผงได้ desiccant จะถูกบรรจุใน sift-proof moisture permeable paper container ซึ่งยอมให้น้ำไอน้ำแพร่ผ่านจากผลิตภัณฑ์มาสู่ desiccant แต่ไม่ทำให้ desiccant ลงไปปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ desiccant ต้องมีลักษณะที่สำคัญคือ ไม่เป็นพิษ ราคาไม่แพงน้ำหนักได้ง่าย 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, Taylor และ Walker (1955) ทดลองใช้ in-package desiccant (CaO 10% by wt. ของน้ำเลมอนผง) พบว่าสามารถลดความชื้นจาก 1.7% จนต่ำกว่า 1% ได้ภายใน 2 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 27°C โดยไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง การใช้ in-package desiccant ร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิในการเก็บทันทีหลังจากการบรรจุ จะสามารถป้องกันการจับตัวเป็นก้อน และเพิ่มเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการลดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จนอยู่ในระดับที่จะไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน ช่วงเวลาของการควบคุมอุณหภูมิทันทีหลังจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุ พร้อมด้วย in-package desiccant เรียกว่า conditioning period (Notter, Taylor and Brekke, 1958) แม้ว่าอัตราเร็วในการถ่ายเทความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปสู่ desiccant จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส จากการศึกษาพบว่า การ conditioning ผงน้ำส้มประดพรีชตรายต์ควรทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 32°C ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ conditioning ผงน้ำเลมอนพรีชตรายต์โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส สีและวิตามินซีคือ 21-27°C (Van-Arsdel, Copley and Morgan, 1973) rapid conditioning หรือ "cascade" เป็นวิธีการเพิ่มอุณหภูมิในการ conditioning ที่ละน้อยทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง Notter, Taylor และ Brekke (1958) ทดลองใช้ in-package desiccant ร่วมด้วยในการบรรจุผงน้ำส้มพรีชตรายต์ โดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิในช่วงการ conditioning จาก 25°C เป็น 29°C และ 32°C ตามลำดับ พบว่าสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์จาก 2.4-1.7% ให้เหลือเพียง 1.3-0.9% ในเวลาเพียง 63 วันซึ่งจะใช้เวลาน้อยกว่าการทำ conditioning ที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งและไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง Mylne และ Seamans (1954) พบว่าการบรรจุผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงภายใต้ภาวะสุญญากาศ ร่วมกับ IPD จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษาดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบ air-packed เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลดความเข้มข้นของ O₂ ภายในภาชนะ มีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปสู่ desiccant เกิดขึ้นได้ดีและเร็วขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำ เสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บจึงดีขึ้น