บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตาลสดผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเป็นมาและลักษณะทั่วไปของตาลโตนด น้ำตาลสด การอบแห้งแบบพ่นฝอย สารช่วยในการอบแห้ง มอลโตเด็กซ์ตริน และภาชนะบรรจุ ไว้ดังนี้

1. ความเป็นมาและลักษณะทั่วไปของตาลโตนด

ตาลโตนดเป็นพืชตระกูลปาล์ม อยู่ในวงศ์ Palmae สกุล Borassus มีชื่อสามัญว่า Palmyra palm หรือ Toddy palm มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn. [6] มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกาตะวันออก ต่อมาได้แพร่พันธุ์เข้าไปในอินเดีย ศรีลังกา และกลุ่มประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ไทย กัมพูชา มาเลเซีย อินโดนีเซีย นอกจากนี้ยังพบในแอฟริกาตอนกลาง และ ด้านตะวันตก โดยมีชื่อเรียกว่า "Ronier" (*Borassus aethiopum*) [7], [8]

ตาลโตนดเข้ามาสู่ประเทศสยามเมื่อใด ไม่มีหลักฐานแน่นอน แต่อาจปลูกกันมานานเกือบพันปีมาแล้ว ดังปรากฏในประวัติศาสตร์สุโขทัยว่า เมื่อพ่อขุนรามคำแหงมหาราชขึ้นครองราชย์ในปี พ.ศ.1822 ได้โปรดปลูกต้นตาลขึ้นที่กลางเมืองสุโขทัยตามประเพณีที่มีมาแต่โบราณ จึงเป็นไปได้ว่าต้นตาลเป็นพืชที่มีอยู่ก่อนสมัยสุโขทัย และ ในสมัยสุโขทัยก็ยังนิยมปลูกกันอยู่ [9] ต้นตาลโตนดในประเทศไทยมีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น ต้นตาล (ภาคกลาง) ตาลโตนด ต้นโหนด (ภาคใต้) ปอเก๊าะตา (จังหวัดยะลา ปัตตานี) [10]

ตาลโตนดที่พบในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 พันธุ์ คือ ตาลไข่ และ ตาลหม้อ โดยผลตาลสุกของทั้งสองพันธุ์จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ ตาลไข่สีของเปลือกเวลาสุกจะมีสีเหลืองตลอดผิวผล และ มีประเป็นจุด ๆ สีดำทั่วไป เนื้อเยื่อจะมีความชื้นมากให้แป้งน้อย ส่วนตาลหม้อ ลูกจะใหญ่ บางทียาวถึง 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางถึง 53 เซนติเมตร ผลดำสนิทมีสีเหลืองเล็กน้อยบริเวณก้นผลเท่านั้น เนื้อเยื่อมีความชื้นน้อย และ ให้แป้งมาก [11] ต้นตาลโตนดสามารถปลูกได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคกลางมีมากที่

จังหวัดชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี อยุธยา กาญจนบุรี นครปฐม และเพชรบุรี ภาคใต้มีมากที่จังหวัดสงขลา นครศรีธรรมราช ภาคเหนือมีมากที่จังหวัดพิษณุโลก นครสวรรค์ และมีกระจายบ้างเล็กน้อยเกือบทุกจังหวัด [2], [3]

ลักษณะทั่วไปของตาลโตนด

หลวงสมานวนกิจ [12] บรรยายลักษณะทั่วไปของตาลโตนดไว้ว่า เป็นพืชที่ชอบอากาศร้อน เจริญได้ดีในพื้นที่ดินทราย หรือ ดินปนทราย และ ดินเหนียว ในดินที่เปียกแฉะ เช่น ตามทุ่งนา บริเวณที่มีน้ำกร่อยท่วมถึงจะเจริญได้เร็ว และ มีน้ำหวานจัด สามารถเจริญได้ดีในพื้นที่ที่ไม่มีไม้อื่นปกคลุม ต้นตาลโตนดมีลักษณะทางสรีระวิทยา ดังนี้

ลำต้น ตาลโตนดเป็นพืชลำต้นเดี่ยว มีลักษณะชะลูด มีความสูงโดยปกติ 18-25 เมตร (บางต้นอาจสูงถึง 30 เมตร) ลำต้นตรง หรือ โค้งเล็กน้อย โคนต้นอวบใหญ่วัดโดยรอบได้ประมาณ 1 เมตร เมื่ออายุน้อย ๆ ลำต้นจะมีสีดำหุ้มด้วยกาบใบแห้ง เมื่ออายุมากขึ้นลำต้นจะเรียบเหลือเพียงรอยแผลเป็นแคบ ๆ ที่กาบใบร่วงหลุดไป เปลือกลำต้นขรุขระ และ มีสีเทาเป็นวงซ้อน ๆ กัน [13], [10], [14]

ใบ ใบตาลโตนดมีลักษณะยาวใหญ่เป็นรูปพัด (flobellate หรือ fan leaf หรือ palmate leaf) ใบอ่อนมีสีเขียวเข้มเป็นรูปวงกลมรัศมีประมาณ 4 เมตร ใบแก่มีสีน้ำตาล ก้านใบแข็ง ขอบใบมีหนามเหมือนฟันเลื่อยสีดำแข็งและคมมาก ใบแต่ละใบอายุไม่เกิน 3 ปี [10], [13], [14], [15]

ราก รากต้นตาลโตนดเป็นรากฝอย มีลักษณะเป็นเส้นกลมยาว ออกเป็นกระจุกคล้ายรากต้นมะพร้าวแต่หยั่งลึกลงในดิน ไม่แผ่ไปตามหน้าดินเหมือนมะพร้าว [15]

ดอก ตาลโตนดเป็นพืชที่มีดอกแบบไม่สมบูรณ์เพศ (imperfect flower) ดอกเพศผู้ และเพศเมีย แยกกันอยู่คนละต้น (dioecious) จึงเรียก ตาลโตนดต้นตัวผู้ และ ตาลโตนดต้นตัวเมีย ตามชนิดของดอกที่เกิด ลักษณะดอกเป็นช่อแทงออกมาจากต้นระหว่างกาบใบรูปร่างโค้งงอ และปลายค่อนข้างแหลมคล้ายงวง จึงเรียกว่า งวงตาล ตาลตัวผู้จะออกงวงเป็นช่อแต่ไม่มีผล ตาลตัวเมียจะออกงวงเป็นทะลายแล้วเติบโตกลายเป็นผล หรือ ลูกตาล ตาลโตนดจะออกงวงราวเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ [9], [10], [14] ตาลโตนดต้นตัวผู้ต้นหนึ่งมีช่อดอก 3-9 ช่อ ช่อดอกของต้นตัวผู้แตกแขนงออกเป็น 2-4 งวง/ข้อ ยาวงวงละประมาณ 30-40 เซนติเมตร ในแต่ละงวงมีดอกเล็ก ๆ ตาลโตนดต้นตัวเมียจะออกช่อช้ากว่าต้นตัวผู้เล็กน้อย มีประมาณ 10 กว่าช่อ มีขนาดใหญ่ และ ชุ่มน้ำหวานมากกว่า ในแต่ละช่อจะมีดอกน้อยกว่าดอกต้นตัวผู้

ทั้งต้นตัวผู้ และ ตัวเมียจะทยอยออกช่อเรื่อย ๆ แม้จะมีจำนวนน้อย แต่สามารถเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดได้ตลอดปี [16]

ผล ต้นตาลโตนดจะให้ดอก และ ให้ผลได้หลายครั้ง ผลอ่อนมีสีเขียวติดอยู่บนทลาย คล้ายกับมะพร้าว ผลแก่จัดมีสีน้ำตาลเข้ม หรือ สีดำเป็นมัน (แดง) ขนาดของผลจะโตเท่าขนาดผลส้มโอ ลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 15-20 เซนติเมตร หนัก 1.5 กิโลกรัม ภายในเป็นเส้นละเอียด เนื้อสุกจะมีสีเหลืองแก่ เนื้อประกอบด้วยแป้ง และ น้ำตาล ในหนึ่งทลายมีประมาณ 10-15 ผล ในผลหนึ่งจะมี 2-4 เมล็ด โดยทั่วไปมี 3 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแบน มีขนาดประมาณ 3x2x1/2 นิ้ว [12]

ผลิตผลที่สำคัญของตาลโตนด ได้แก่ น้ำตาลสด ลูกตาลอ่อน และ จาวตาล เป็นต้น

2. น้ำตาลสด

น้ำตาลสด (palm juice or palm sap) เป็นน้ำหวานที่ได้จากช่อดอกของต้นตาลโตนด วิบูลย์ ลี้สุวรรณ [9] กล่าวว่า หนังสืออักขราภิธานศรับท์ ฉบับหมอบรัดเล เขียนเมื่อ พ.ศ. 2416 ต้นรัชกาลที่ 5 ได้ให้ความหมายของคำว่า น้ำตาลสด คือ น้ำตาลที่รองมาใหม่ ๆ ยังไม่ได้เคี่ยวให้แห้ง เช่น น้ำตาลในกระบอก ซึ่งสอดคล้องกับพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน [17] ซึ่งอธิบายว่า น้ำตาลสด คือ น้ำหวานที่ออกจากงวงของตาลตัวผู้

2.1 วิธีการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด

เทรบุยล์ กีย์ [13] รายงานว่า ตาลโตนดจะออกช่อดอก หรือ งวง ครั้งแรกเมื่อมีอายุ 15-20 ปี และ จะเริ่มให้น้ำตาลเมื่ออายุได้ประมาณ 12-25 ปี และ สามารถเก็บเกี่ยวน้ำตาลได้นานถึง 80 ปี การเก็บเกี่ยวจะทำได้ตลอดปี โดยจะเก็บวันละ 2 ครั้ง ในช่วงเช้า และ ช่วงบ่าย

ก่อนการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดจากงวงตาล จะมีวิธีการเตรียมงวงตาลก่อน โดยทั่วไปมีหลักการคล้ายคลึงกัน คือ การทำให้ส่วนของช่อดอก หรือ ยอดอ่อนช้ำ ต้นตาลโตนดจะส่งน้ำตาลสดมาตามท่อน้ำตาลเพื่อรักษาอาการบอบช้ำนั้น เมื่อปาดส่วนของช่อดอก หรือ เจาะส่วนยอดก็จะมีน้ำหวานไหลออกมา [12] โดยวิธีการเตรียมงวงตาลเริ่มหลังจากตาลออกงวงได้ประมาณ 15 วัน คนปาดตาลจะนำไม้ไผ่มาทำเป็นพะอง คาดเข้ากับต้นตาล เรียกว่า 'คาดตาล หรือ พาดตาล' เพื่อใช้เป็นบันไดปีนขึ้นไปบนต้นตาล เมื่อขึ้นถึงปลายตาลแล้วจะตัดใบตาล ผ่าบิดเป็นเกลียวเชือกผูกงวงตาลโยงกับทางตาลที่อยู่เหนืองวงตาลขึ้นไป ให้งวงตาลกระดกขึ้น หากเป็น

ตาลตัวผู้จะต้องมัดงวงตาลที่แยกออกจากกันให้รวมกัน แล้วค่อย ๆ โน้มงวงตาลให้โค้งลง เรียกว่า 'ย้ายตาล' จากนั้นจึงเริ่มคาบตาล หรือ นวดตาล โดยใช้ไม้คาบตาลซึ่งมี 2 แบบ คือ ไม้คาบตาลต้นผู้ มีลักษณะแบนขนาดเท่าสองนิ้วมือ ยาวราว 2 ฟุต 2 อัน ปลายข้างหนึ่งผูกเชือกติดกัน ส่วนไม้คาบตาลต้นตัวเมีย เป็นไม้กลมขนาดเท่าด้ามพร้า ยาวราวเมตรเศษ สองอันปลายข้างหนึ่งผูกเชือกติดกัน คนปาดตาลจะใช้ไม้คาบตาลหนีบงวงตาลเป็นจังหวะประมาณ 10 ครั้ง ทำเช่นนี้ใน 2-3 วันแรก วันละสองครั้งเช้าเย็น ต่อไปคาบวันละครั้งอีก 4-5 วัน เพื่อกระตุ้นน้ำหวานของตาลมาคั่งที่งวง แล้วลองใช้มีดปาดตาลปาดตรงปลายงวงเพื่อดูว่าน้ำตาลไหลแล้วหรือยัง ถ้าน้ำตาลไหลชาวบ้านเรียกว่า 'ตั้งถบ' ถ้าไม่ไหลวันต่อไปก็ปาดเหนือรอยปาดเดิมขึ้นมาอีกเล็กน้อย ในขั้นนี้ถ้าเป็นตาลตัวเมียก็ลิดลูกทิ้งให้หมด แต่งงวงให้กลมเรียบ เมื่อเห็นว่าน้ำตาลเริ่มไหลก็นำกระบอกตาลซึ่งทำด้วยไม้ไผ่ไปใส่โคลนเลนมาผูกแช่งวงตาล เรียกว่า 'แช่บอก หรือ แช่ตาล' (ช่วยเร่งให้น้ำตาลไหลเร็วขึ้น และ ช่วยให้แผลที่ปาดผลตาลแห้งสนิท) แช่ไว้หนึ่งวันกับหนึ่งคืนจึงเอากระบอกออก เทน้ำโคลนใส่ยอดตาล (เชื่อว่าทำให้ตาลอ้วน) ทำความสะอาดงวง แล้วปาดตาลให้พ้นรอยน้ำโคลนที่งวงตาลดูดซับไว้ น้ำตาลสดที่ได้จากการเริ่มปาดตาลใหม่ ๆ ในระยะ 2-3 วันแรก เรียกว่า 'ตาลหน้างวง' จะมีน้ำเมือกตาลปนต้องปล่อยทิ้ง หรือ รองไว้ทำน้ำส้ม หลังระยะนี้จึงนำกระบอกตาลอันใหม่ขนาดความจุ 1-3.5 ลิตร ซึ่งลวกทำความสะอาด และ ผ่านการรมควันแล้ว ใส่สะเก็ดไม้เคี่ยม หรือ ไม้พะยอม ที่ตัดเป็นชิ้นขนาด 3-5 กรัม เพื่อกันไม่ให้น้ำหวานเปรี้ยวเร็วมาผูกรองรับน้ำหวานจากงวงตาล หลังจากนี้ตาลงวงนั้นสามารถปาดเอาน้ำหวานได้วันละ 2 เวลา โดยขึ้นปาดตอนเย็นแล้วเก็บน้ำหวานตอนเช้า และ ปาดตอนเช้าเก็บน้ำหวานตอนเย็น ตาลงวงหนึ่ง ๆ สามารถปาดเอาน้ำหวานได้ 2-3 เดือน ทั้งนี้แล้วแต่ความสมบูรณ์ น้ำตาลสดที่เก็บในตอนเช้าจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำตาลสดที่เก็บในตอนบ่าย เนื่องจากเวลากลางคืนมีอุณหภูมิต่ำกว่าในเวลากลางวัน นอกจากนี้พบว่า น้ำตาลสดที่เก็บในตอนเช้า (ระยะเวลารองรับน้ำตาลสดประมาณ 15 ชั่วโมง) จะมีปริมาณ และ มีความหวานสูงกว่าน้ำตาลสดที่เก็บในตอนเย็นที่มีช่วงเวลาการรองรับระหว่าง 08.00 - 16.00 น. ตาลต้นหนึ่ง ๆ สามารถให้น้ำหวานได้ทุกปีติดต่อกันราว 80 ปี หลังจากนั้นให้น้ำตาลน้อย และ ตาลสูงเกินไป ทำให้เกิดภาวะเสี่ยง และ ไม่คุ้มค่า เสียเวลา จึงนิยมโค่นเอาไม้มาใช้ประโยชน์เสียมาก [13], [16], [18], [19]

2.2 องค์ประกอบของน้ำตาลสด

Tirawat et al. [20] รายงานว่า น้ำตาลสดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 16 องศาบริกซ์ พีเอช 5.5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 16.8 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 1.8 และน้ำตาลซูโครสร้อยละ 15.05

Woodroof [21] กล่าวว่า น้ำตาลสดมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ น้ำตาลซูโครสร้อยละ 13-17 โปรตีนร้อยละ 0.02-0.03

สุกัญญา จันทะซุม [2] กล่าวว่า การเก็บเกี่ยวของน้ำตาลสดจากสวนตาลของเกษตรกรในเขตอำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา โดยใช้ไม้เคี่ยมเป็นวัตถุกันเสีย ใช้เวลารองรับประมาณ 14 ชั่วโมง พบว่า น้ำตาลสดที่ได้มี พีเอช 4.69 กรดซิตริกร้อยละ 0.098 น้ำตาลรีดิวซ์ (กลูโคส) ร้อยละ 0.78 น้ำตาลทั้งหมด (น้ำตาลอินเวอร์ท) ร้อยละ 11.54 น้ำตาลรีดิวซ์/น้ำตาลทั้งหมด 0.067 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ 13.93 ± 1.48 องศาบริกซ์

ปราณี จรูญศิริเสถียร [1] ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลสด ดังนี้ พีเอช 4.6 ± 0.30 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ 14.50 ± 0.50 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 2.72 ± 0.05 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 11.53 ± 0.13 ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.23 ± 0.01 (กรดอะซิติก) ปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.048 ± 0.008 ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.20 ± 0.01 ปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 0.00

กนก ติระวัฒน์ [22] รายงานว่า น้ำตาลสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11.6 องศาบริกซ์ พีเอช 5.5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 16.8 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 1.8 และน้ำตาลซูโครสร้อยละ 15.0 ความถ่วงจำเพาะที่ 29 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.058-1.077 เถ้า 0.1-0.41 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร โปรตีน 0.23-0.32 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร

Child [23] วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำตาลสด ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 1

ตาราง 1 องค์ประกอบของน้ำตาลสด

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	1.058 - 1.077
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (กรัม/100 มิลลิลิตร)	15.2 - 19.7
น้ำตาลซูโครส (กรัม/100 มิลลิลิตร)	12.3 - 17.4
เถ้า (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.11 - 0.41
โปรตีน x 6.25 (กรัม/100 มิลลิลิตร)	0.23 - 0.32

ที่มา : Child [23]

ตาราง 2 เปรียบเทียบองค์ประกอบของน้ำตาลสดที่เก็บตอนเช้าและตอนเย็น โดยใส่และไม่ใส่ไม้เคี่ยมเพื่อชะลอการเสื่อมเสียระหว่างการรองรับน้ำตาลสด

ชนิดของน้ำตาลสด	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	พีเอช	%ความเป็นกรดในรูปกรดน้ำส้ม	%น้ำตาลอินเวอร์ท (A)	%น้ำตาลทั้งหมด (B)	A/B
น้ำตาลสดเช้า						
- ใส่ไม้เคี่ยม	12.0	5.2	0.072	0.662	10.569	0.063
- ไม่ใส่ไม้เคี่ยม	12.2	4.9	0.144	0.835	10.324	0.081
น้ำตาลสดเย็น						
- ใส่ไม้เคี่ยม	12.0	5.3	0.072	0.503	11.15	0.045
- ไม่ใส่ไม้เคี่ยม	12.4	4.5	0.228	0.773	10.961	0.071

ที่มา : ชาคริตส์ พืชพันธ์ และ วีรศักดิ์ ยอดปรีดา [18]

2.3 ผลผลิตน้ำตาลสด

ผลผลิตของน้ำตาลสดขึ้นกับฤดูกาลและสภาพดิน ฟ้า อากาศ Browing & Symons [24] รายงานว่า ถ้าทำการรองน้ำตาลวันละ 1 ครั้ง จะได้ผลผลิตเฉลี่ย 600-1,200 มิลลิลิตร/ต้น/วัน ถ้ารองวันละ 2 ครั้ง ผลผลิตจะอยู่ในช่วง 600-3,000 มิลลิลิตร/ต้น/วัน ผลผลิตรวมของน้ำตาลสดจากเริ่มต้นจนสิ้นสุดเฉลี่ยประมาณ 16-18 ลิตร/งวง หรือ ประมาณ 270 ลิตร/ต้น ในช่วงเวลาการรองรับน้ำตาลสด 8 เดือน [25] นอกจากนี้ Child [23] รายงานว่า ในประเทศศรีลังกาผลผลิตรวมของน้ำตาลสดจากเริ่มต้นจนสิ้นสุดเฉลี่ยประมาณ 13.16-65.8 ลิตร/งวง หรือ 225.6 ลิตร/ต้น ในช่วงของการรองรับน้ำตาลสด 8 เดือน ต้นตาลที่ดีควรมีผลผลิตประมาณ 1,350-1,600 มิลลิลิตร/วัน [25] รัชนีพร หงสยาภรณ์ [3] รายงานว่า ที่อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก มีการปลูกต้นตาลประมาณ 2,500 ต้น มีต้นตาลที่ให้ผลผลิตประมาณ 618 ต้น เกษตรกรสามารถผลิตน้ำตาลสดได้ 1,854 ลิตร/วัน ส่วนในเขตอำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา สามารถเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดที่รองรับช่วงเช้าได้ประมาณ 2.5 ลิตร/ต้น/วัน และ น้ำตาลสดที่รองรับช่วงบ่าย (8.00 – 16.00 น.) 1.6 ลิตร/ต้น/วัน สารานุกรมวัฒนธรรม ภาคใต้ [16] กล่าวว่า เฉพาะที่อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลาแห่งเดียวมีต้นตาลโตนดถึงประมาณห้าแสนต้น คนขึ้นตาลคนหนึ่งอาจจะขึ้นตาลได้เฉลี่ยประมาณวันละ 20 ต้น ได้น้ำตาลสดประมาณ 180 ลิตร/คน/วัน

2.4 จุลินทรีย์ในน้ำตาลสด

Child [23] รายงานว่า น้ำตาลสดที่เก็บในเวลา 07.00 น. ถ้าไม่ใส่ภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจะมีแอลกอฮอล์ร้อยละ 2.9 โดยน้ำหนัก และ มีน้ำตาลที่สามารถหมักได้ร้อยละ 9.58 การหมักจะดำเนินต่อไปจนได้แอลกอฮอล์สูงสุดร้อยละ 8.2 หลังจากการหมัก 45 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้ภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วน้ำตาลสดที่เก็บในระยะเวลา 07.00 น. จะไม่มีแอลกอฮอล์เลย การหมักจะเกิดขึ้นช้า ๆ หลังจาก 9 ชั่วโมงผ่านไปแล้ว และ เมื่อมีการเติมเปลือกไม้ Hal bark (*Vateria acuninate*) ในภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วผลที่ได้คล้ายกันมาก Faparusi & Bassir [26] ศึกษาการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำตาลสดที่ปล่อยให้เกิดการหมักเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ภายใน 24 ชั่วโมงแรกของการหมักจุลินทรีย์ที่มีบทบาทมาก คือ *Lactobacillus* spp., *Leuconostoc* sp., *Saccharomyces cerevisiae* หลังจาก 48 ชั่วโมง จะตรวจพบเชื้อ *Acetobacter* sp. หลังจากการหมักผ่านไป 72 ชั่วโมง จะเริ่มตรวจพบเชื้อยีสต์อีกกลุ่มหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย *Pichia* sp., *Schizosaccharomyces pombe.*, *Candida mycoderma* นอกจากนี้

ยังพบเชื้อราพวก *Aspergillus flavus*, *Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp. ในช่วง 72 ชั่วโมงของการหมัก ปกติน้ำตาลสดมีพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.2 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus* sp., *Leuconostoc* sp. ดังนั้น จึงตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดได้โดยทั่วไป ในน้ำตาลสดภายใน 24 ชั่วโมง พีเอชจะลดลงเหลือ 4.5 สภาวะนี้ *Saccharomyces cerevisiae* จะเจริญได้ดีที่สุด แต่หลังจากหมักได้ 3 วัน แอลกอฮอล์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยยีสต์จะมีมากเพียงพอทำให้ *Acetobacter* sp. เจริญได้ดี เมื่อถึงระยะนี้ *Acetobacter* sp. จะเพิ่มจำนวนมาก น้ำตาลสดจะเปรี้ยว และ กลายเป็นน้ำส้มสายชูหมัก

2.5 การป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด

เนื่องจากการรองรับน้ำตาลสดจากต้นตาลจะต้องใช้เวลานานกว่า 10 ชั่วโมง และ ไม่ได้ใช้เทคนิคปลอดเชื้อ ดังนั้น จึงมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนหลายชนิด เช่น ยีสต์ แบคทีเรียและรา และเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่รองรับน้ำตาลทำให้เกิดการเสื่อมเสีย มีรสเปรี้ยว ขุ่นเป็นเมือก เกิดฟอง และ ปริมาณน้ำตาลลดลง สภาพที่ทำให้น้ำตาลสดเสียเร็วขึ้น คือ กระบอกรองรับน้ำตาลสด และ ช่อดอกไม่สะอาด รวมทั้งความร้อนขณะรองรับน้ำตาลสด [27] วิธีที่ง่ายที่สุดในการป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด คือ การทำความสะอาดภาชนะที่ใช้รองรับน้ำตาล อาจใช้วิธีรมควัน หรือ ลวกน้ำร้อน เกษตรกรนิยมลวกด้วยน้ำตาลที่เคี่ยวแล้วเดือดลวก และ คว่ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันแมลง หรือ มดรบกวน [28] นอกจากนี้ อาจใช้เปลือกไม้บางชนิด เช่น ไม้เคี่ยม (*Colylecobium lanceolatam*) ใส่ในกระบอกไม้ไผ่ 4-5 กรัมต่อน้ำตาลสด 1 ลิตร สารประกอบแทนนินในไม้เคี่ยมจะช่วยป้องกัน และ ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ [20] ในประเทศศรีลังกาใช้ Hal bark (*vateria acuminate*) ในประเทศฟิลิปปินส์ใช้ผงของเปลือกไม้โกงกาง เช่น Rhizophora muronata Lam. Ceriops togal ในการยับยั้งการหมักของน้ำตาลสด [23] ประเทศไทยใช้ไม้เคี่ยม (*Colylecobium lanceolatam*) ไม้พะยอม (*Shorea floribunda*) ไม้ตะเคียน (*Hopea odcrata*) และ ไม้มะเกลือ (*Diosyros mollis*) [28] การใช้สารเคมีในการชะลอการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด เช่น กรดเบนโซอิกร้อยละ 0.2 สามารถยับยั้งการหมักแอลกอฮอล์ และ กรดอะซิติกได้อย่างสมบูรณ์ แต่การใช้ในระดับนี้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค [23] นอกจากนี้ น้ำตาลสดสามารถเก็บรักษาได้โดยการใช้ซัลฟานิลาไมด์ 10-60 พีพีเอ็ม แต่มีข้อเสียคือ เกิดรสขมในเครื่องดื่มจึงไม่เป็นที่ยอมรับ [21] Tirawat et al. [20] ศึกษาผลของการใช้เกลือโซเดียมเบนโซเอต โปแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ และ ปูนขาว เปรียบเทียบกับการใช้ไม้เคี่ยมของเกษตรกร ในการถนอมรักษาคุณภาพของน้ำตาลสด พบว่า คุณภาพทางเคมีของน้ำตาลสด

ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปูนขาว และ สารผสมระหว่างโซเดียมเบนโซเอต และโปแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสารอื่น การใช้ปูนขาวเป็นวัตถุกันเสียจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำตาลสดมีคุณภาพด้อยลง อย่างไรก็ตาม Okafor [29] พบว่าการใช้วิธีพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ได้ผลดีกว่าการใช้สารเคมีทุกชนิด จากการทดลองนี้ผู้วิจัยได้แนะนำว่า ถ้าใช้วิธีการพาสเจอร์ไรซ์ก่อนแล้วเติมด้วยกรดซอร์บิก จะป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสดได้ดี

3. **การทำแห้ง** (drying)

การทำแห้ง คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ คือ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (water activity, A_w) ต่ำกว่า 0.7 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน [30]

ในกระบวนการทำแห้งไม่ว่าวัตถุดิบจะอยู่ในรูปของเหลว หรือ ของแข็งก็ตาม จะต้องผ่านกระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง เช่น การระเหยน้ำออกเพื่อทำให้เข้มข้นขึ้น การอุ่นวัตถุดิบให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจาก เครื่องอบแห้งแต่ละอย่างต้องการวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติ และ สภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องแตกต่างกัน ดังนั้น การเลือกกระบวนการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสมจะช่วยทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งออกมามีคุณภาพดีขึ้น [31] นอกจากนี้ ในขั้นตอนการเลือกกรรมวิธีการทำแห้งของผลิตภัณฑ์อาหารยังต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของวัตถุดิบ ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ และ คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการซึ่งสามารถกำหนดได้จากลักษณะการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์นั้น ๆ วิธีการทำแห้งที่ดีที่สุด คือ การทำแห้งที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะ และ คุณภาพตามที่ต้องการได้ โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด [32] ปัจจุบันนี้มีวิธีการทำแห้งโดยใช้เครื่องมือที่มีความทันสมัยอยู่หลายวิธี ได้แก่ การทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) เป็นต้น

4. **การทำแห้งแบบพ่นฝอย** (spray drying)

การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้ความร้อนสูง แต่ใช้ระยะเวลาสั้นในการแปลงของเหลวซึ่งอาจเป็นสารละลาย หรือ ของเหลวข้น ให้เป็นผงแห้งในขั้นตอนเดียว โดยอาศัยหลักการพื้นฐาน คือ อาหารเหลวจะถูกฉีดให้เป็นละอองฝอย และให้สัมผัสกับลมร้อนที่ไหลเข้ามา ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากละอองฝอยมีพื้นที่ผิวมาก หลังจากนั้นจะได้ผงแห้งตกลงมา และ ผงนี้จะถูกแยกออกจากลมร้อน เพื่อนำไปบรรจุต่อไป [33]

การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีข้อดี คือ วงจรการอบแห้งจะเร็ว เวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องอบแห้งสั้น อาจจะเป็น 3 ถึง 10 วินาที จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีคุณภาพใกล้เคียงกับสภาพสดมาก และ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายพร้อมที่จะบรรจุทันทีขณะที่ออกจากเครื่องอบแห้ง สามารถใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงที่จุดเข้าของห้องอบแห้ง โดยมิก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ สามารถผลิตอาหารแบบต่อเนื่องในปริมาณมากได้ ใช้แรงงานต่ำ การใช้ และ การดูแลรักษาง่าย [4], [5] ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีลักษณะสม่ำเสมอ คือ มีขนาด รูปร่าง และ ปริมาณความชื้นเหลืออยู่น้อยในปริมาณใกล้เคียงกันในทุก ๆ อนุภาคของผลิตภัณฑ์ [31] ซึ่งการทำผลิตภัณฑ์ในรูปผงนี้ Kareem & Brennan [34] กล่าวว่า เป็นการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความเข้มข้น มีการใช้งานได้สะดวก นำไปใช้งานได้มากชนิดขึ้น สามารถเก็บรักษาไว้ได้โดยไม่ต้องใช้ความเย็น ง่ายต่อการจับถือ การขนส่ง สามารถเก็บไว้ได้นานถ้าเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม [35]

การทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวได้ดีที่สุด และ ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทนต่อความร้อน หรือ ไวต่อความร้อน เช่น นม กาแฟ และ น้ำผลไม้ เป็นต้น [5], [36] โดยตัวอย่างอาจอยู่ในรูปของสารละลายเจล อีมัลชั่น หรือ อาหารข้น (slurry) มีเนื้ออาหารที่เป็นของแข็งอยู่สูงกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 50 หากของเหลวมีน้ำมากจะต้องเคี่ยวให้น้ำงวดบางส่วนภายใต้เครื่องระเหยแบบสุญญากาศเพื่อทำให้มีปริมาณของแข็งตามกำหนด เช่น นมผงทำจากนมสดนำมาระเหยน้ำให้เข้มข้นไม่เกินร้อยละ 40 แล้วทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) ก่อนเข้าเครื่องควรอุ่นตัวอย่างให้ร้อนประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ยกเว้น อาหารโปรตีนที่ไม่ทนความร้อน เช่น ไข่ขาว หากเก็บในตู้เย็นมาก่อน ไม่ต้องอุ่น ให้วางไว้ข้างนอกจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง [30], [37] การทำแห้งแบบนี้จะได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือไม่ ขึ้นกับประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองเล็ก ๆ และ ขึ้นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของการสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับอากาศร้อนเป็นสำคัญ กล่าวคือ ขึ้นกับสภาวะที่เลือกใช้ในการอบแห้งนั่นเอง [38]

4.1 ขั้นตอนของการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ [38]

ขั้นตอนที่ 1 การทำให้ของเหลวมีขนาดเล็กหรือเป็นละอองฝอย
(atomization stage)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญมาก เนื่องจากทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหย ซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวสูงก็จะสามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้รวดเร็ว นอกจากนี้ การทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง ตลอดจนความหนาแน่น เนื่องจากของเหลวมีขนาดเล็กลงซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน และ การถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การทำให้อาหารเหลวกลายเป็นละออง เริ่มจากการป้อนอาหารเหลวซึ่งอาจใช้แรงดันจากเครื่องสูบอาหารเหลว (feed pump) หรือจากเครื่องอัดอากาศ (air compressor) แล้วผ่านเข้าเครื่องทำละออง (atomizer) ซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ กัน คือ [39]

1. เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดจานหมุน (rotary disc atomizer) ของเหลวที่สามารถใช้ได้อาจเป็นเนื้อเดียวกัน หรือ ไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็ได้ ลักษณะของหัวฉีดคล้ายจานหมุน อาหารจะถูกส่งไปยังศูนย์กลางของวงล้อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้อาหารเหลวกระจายเป็นแผ่นบาง ๆ บนผิวของวงล้อ แล้วถูกเหวี่ยงออกจากจานหมุนเป็นละอองฝอยขนาดเล็กมากตั้งแต่ 30-120 ไมโครเมตร ประสิทธิภาพของหัวฉีดแบบนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวที่นำมาอบแห้งด้วย เช่น ความเข้มข้น ความหนืด อุณหภูมิของของเหลว เป็นต้น ปรีชาพล วรรณไกรโรจน์, วรพล แซ่เซียว และ วรวิทย์ เจียรากร [40] รายงานว่า เครื่องทำละอองแบบจานหมุนมีข้อดี คือ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จะไม่เปลี่ยนแปลงมาก แม้ว่าปริมาณที่ป้อนของเหลวจะแปรเปลี่ยน และสามารถพ่นฝอยได้แม้กระทั่งของเหลวที่มีความหนืดสูง อย่างไรก็ดี เนื่องจากหยดของเหลวที่ฉีดออกมามีระยะทางวิ่งในแนวระดับค่อนข้างไกล ดังนั้น เส้นผ่าศูนย์กลางของหออบแห้งจึงต้องมีขนาดโตมาก โดยมีขนาดของละอองที่ได้จากจานหมุน ดังนี้ อัตราการไหลสูงละอองที่ได้มีขนาดใหญ่ ความเร็วรอบสูงละอองที่ได้มีขนาดเล็ก แรงตึงผิว และ ความหนืดของของเหลวมีค่าสูงละอองที่ได้มีขนาดใหญ่ Master & Mohtadi [41] ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยแบบจานหมุน พบว่า ความเร็วของจานหมุน อัตราการป้อนสาร และ อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อขนาด และ การกระจายของการพ่นเกาะติดที่ผนังของหออบแห้งต่าง ๆ กัน จากการศึกษาตัวแปรทั้งสาม อัตราการไหลของอากาศมีผลต่อการเกาะติดผนังของหออบแห้งมากที่สุด ซึ่งแสดง

ให้เห็นว่า ขนาดของการเกาะติดผนังของหออบแห้งโดยทั่ว ๆ ไปจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของจานหมุนลดลง และ อัตราการป้อนสารเพิ่มขึ้น

2. เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดัน (pressure nozzle) ของเหลวจะถูกอัดให้มีความดันสูงไหลผ่านรูออริฟิส (orifice) พร้อมกับแตกตัวเป็นละออง เป็นหัวฉีดที่ใช้สำหรับการอบแห้งที่มีกำลังการผลิตมาก ๆ จะให้ละอองของเหลวที่มีรูปร่างสม่ำเสมอ (uniform) กว่าหัวฉีดแบบ two-fluid nozzle เหมาะสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง

3. เครื่องทำละอองแบบหัวฉีด 2 หัวพร้อมกัน (two-fluid nozzles) เป็นระบบที่ใช้อากาศมาช่วยในการป้อนวัตถุดิบให้กระจายเข้าไปในห้องอบแห้ง (drying chamber) ประกอบด้วย ช่องเปิดให้ของเหลวไหลออก และ ช่องเปิดอีก 2 ช่องข้าง ๆ เพื่อให้อากาศที่มีความดันสูงพุ่งออกมาพาเอาของเหลวกลายเป็นละอองเล็ก ๆ จะใช้กับการอบแห้งที่ต้องการอัตราการอบแห้งต่ำ หัวฉีดที่ฉีดด้วยความดันไม่เหมาะกับของเหลวที่มีความข้นสูง เนื่องมาจากอาจเกิดการอุดตันที่รูออริฟิส (orifice) ได้ [40]

เครื่องทำละอองเหล่านี้มีข้อได้เปรียบเสียเปรียบ และ ให้ลักษณะละอองอาหารเหลวแตกต่างกัน (ดังตาราง 3) [42] ในการเลือกชนิดของเครื่องทำละอองจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ผงที่ต้องการ และ ลักษณะการกระจายของขนาดผลิตภัณฑ์ผง (particle size distribution) ที่ต้องการ Tamsma, Kontson & Pallansch [43] พบว่า การเพิ่มความดันในเครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดัน หรือ การเพิ่มรอบในการหมุนของเครื่องทำละอองแบบจานหมุน หรือ การเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อน และ อาหารเหลวในเครื่องทำละอองแบบหัวฉีดสองหัวพร้อมกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีขนาดเล็กลงแต่มีความหนาแน่นรวม (bulk density) สูงขึ้น

ตาราง 3 การเปรียบเทียบเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) ที่ใช้เครื่องทำละอองแบบจานหมุน และ แบบหัวฉีดแรงดัน

ปัจจัยที่พิจารณา		เครื่องทำละออง	
		หัวฉีดแรงดัน	หัวฉีดจานหมุน
เงื่อนไขของอาหารเหลว	ของเหลวแขวนลอย แป้งเปียก	พอใช้ได้	ใช้ได้
	ของที่ไหม้เกรียม,ติดไฟง่าย,เกาะติด	ใช้ได้	พอใช้ได้
	การแปรเปลี่ยนของความหนืด	ยาก	ค่อนข้างยาก
	การแปรเปลี่ยนของปริมาณที่อบแห้ง	ค่อนข้างใช้ได้	ใช้ได้
การป้อนอาหารเหลว	ปั๊มความดันสูง	มี	ไม่มี
	การบำรุงรักษา	ยาก	ง่าย
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	ราคา	ถูก	แพง
	กำลังที่ใช้เดินเครื่อง	น้อยสุด	ปานกลาง
	การบำรุงรักษา	ยาก	ง่าย
หออบแห้ง	ทิศทางการไหลของลมร้อน	ขนาน, สวนทาง	ขนาน
	เส้นผ่าศูนย์กลางหออบแห้ง	เล็ก	ปานกลาง
	ความยาวหออบแห้ง	ยาว	สั้น
ผลิตภัณฑ์	ขนาดอนุภาค	หยาบ	ละเอียด
	ความหนาแน่นปรากฏ	หนัก (เบา)	เบา(เบามาก)
	ความชื้นในผลิตภัณฑ์	มาก	น้อย
	ความสม่ำเสมอของอนุภาค	ดี	ดี

ที่มา : เรียวโช โทเอ [42]

ขั้นตอนที่ 2 การสัมผัสระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อน (spray-air contact stage)

ขั้นตอนนี้หยดของเหลวจะสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้น้ำในอาหารได้รับความร้อนทำให้เกิดการระเหยออกไป การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมาก [39] โดยทิศทางการสัมผัสกันระหว่างละอองอาหารเหลวกับลมร้อนสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. การให้ละอองอาหารเหลวไหลไปในทิศทางเดียวกับลมร้อน (co-current flow) ซึ่งเหมาะกับอาหารที่ไวต่อความร้อนมาก เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำได้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก [38]

2. การให้ละอองอาหารเหลวไหลสวนทางกับลมร้อน (counter-current flow) เริ่มจากหยดของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเท่ากับอุณหภูมิอากาศร้อน ลักษณะแบบนี้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก [39] เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูง และต้องการความร้อนมาก เพื่อให้ได้ลักษณะ หรือ คุณภาพบางอย่างที่ต้องการ เช่น ความโปร่ง (porosity) ของผลิตภัณฑ์ผง

3. การให้ละอองอาหารเหลวไหลไปทางเดียว และ สวนทางพร้อม ๆ กันกับลมร้อน (mixed flow) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะหยาบ และ นิยมใช้กับวัสดุที่ทนต่อความร้อนได้สูง [40]

อากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้จากความร้อน 2 ประเภท คือ การทำให้ร้อนโดยตรง เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อากาศร้อน หรือ ได้จากขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อนกับอากาศ หรือ การให้อากาศผ่านเครื่องทำความร้อน (heater) [38] การให้ความร้อนแก่อากาศโดยผ่านเครื่องทำความร้อนมีข้อดีคือ มีการสูญเสียความร้อนน้อย ป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้ามาเกาะติดกับผลิตภัณฑ์ เช่น พวก carbon ฝุ่นจากการเผาไหม้ และ ป้องกันอาหารไปสัมผัสกับสิ่งสกปรกซึ่งอาจจะมีกลิ่นแทรกซ้อนที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น ส่วนการทำให้ร้อนโดยทางอ้อม ได้จากการให้อากาศไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากไอน้ำซึ่งจะมีการสูญเสียความร้อนมาก [40]

ขั้นตอนที่ 3 ช่วงการระเหย (evaporation stage)

การระเหยของการทำแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ให้อัตราการระเหยคงที่ (constant rate period) ซึ่งเกิดเมื่อความชื้นภายในละอองอาหารเหลวมีอยู่มากพอที่จะกระจายไปที่ผิวของละอองอาหารเหลวอย่างคงที่จนเกิดภาวะอิ่มตัว และ ช่วงอัตราการระเหยไม่คงที่ (falling rate period) ซึ่งเกิดเมื่อปริมาณความชื้นลดต่ำกว่าภาวะอิ่มตัว และ เข้าสู่จุดวิกฤต (critical point) ผิวของละอองอาหารเหลวจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายความชื้นผ่านผิวนอกที่แห้ง ซึ่งความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา เกิดเปลือกแข็ง (case hardening) หุ้มผิวนอกของละอองอาหารเหลวในขณะที่อบแห้ง อัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง [39] เมื่อการอบแห้งเริ่มเข้าในช่วงที่อัตราการระเหยช้าลง อุณหภูมิของหยดของเหลวจะพุ่งพรวดขึ้นจนถึงจุดเดือด ทำให้ความดันภายในหยดของเหลวเพิ่มสูงขึ้น ผลก็คือ มักเกิดการพองตัวของหยด หรือ การแตกร้าวของหยดการเปลี่ยนแปลงสภาวะดังกล่าวของหยดของเหลวระหว่างการอบแห้งจะมีผลอย่างมากต่อความหนาแน่นปรากฏ ความสามารถในการละลาย (solubility) ของอนุภาคที่แห้งแล้ว [40] Tamsma et al. [43] รายงานว่า ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ความเข้มข้นของอาหารเหลว โดยการเพิ่มความเข้มข้นของอาหารเหลวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีอนุภาคใหญ่ และ มีค่าความหนาแน่นรวมสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าโดยที่อัตราการไหลของอาหารเหลวเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ จะทำให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ผงลดลง และ มีความโปร่งมากขึ้น เนื่องจากอัตราการระเหยน้ำเกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้ Bhandari et al. [44] พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าอย่างรวดเร็วในการทำแห้งแบบพ่นฝอยให้แก่ละอองอาหารเหลวจะทำให้เกิดเปลือกแข็งเป็นชั้น ๆ บนผิวของละอองอาหารเหลว เกิดเป็นอนุภาคผลิตภัณฑ์ผง สารระเหยที่ให้กลิ่นรสในอาหารเหลวไม่สามารถผ่านออกมาได้ ทำให้มีปริมาณสารระเหยที่ให้กลิ่นรสเหลืออยู่ถึงร้อยละ 84

ขั้นตอนที่ 4 การแยกอาหารผงออกจากระบบการอบแห้ง
(product recovery stage)

Masters [39] อธิบายว่า ระบบในการแยกเอาอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงที่ลอยตัวอยู่ในห้องอบแห้งออกจากลมร้อนมี 2 ระบบ คือ ระบบการแยกภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นการแยกผลิตภัณฑ์ผงที่มีขนาดใหญ่ออกจากลมร้อน ส่วนผลิตภัณฑ์ผงที่มีขนาดเล็กจะไหลออกจากเครื่องพร้อมกับอากาศ และ สามารถแยกออกจากลมร้อนด้วยระบบไซโคลน (cyclone separator) ซึ่งสามารถแยกเอาอากาศกับอนุภาคของแข็งออกจากกันได้ โดยอาศัยแรงเหวี่ยง และ การถ่ายเทโมเมนตัม [45] ไซโคลน (cyclone) จะมีลักษณะเป็นรูปกรวย ซึ่งอากาศจะพุ่งเข้าไปขนานกับฝาของไซโคลน และ หมุนเวียนลึกลงไปที่ฐานของไซโคลน และ หมุนวนขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง อากาศจะออกไปทางรูระบายอากาศที่อยู่ด้านบน ผงของผลิตภัณฑ์ในอากาศหมุนจะตกลงสู่ส่วนล่างของไซโคลน ข้อดีของวิธีนี้คือ มีการสูญเสียผลิตภัณฑ์น้อย การปนเปื้อนจากอากาศภายนอกมีน้อย ใช้ได้ในทุก ๆ อุณหภูมิ ต้นทุนต่ำ การดูแลไม่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม อากาศหมุนที่ไหลออกไปทางรูระบายอากาศนั้นจะยังคงมีผลิตภัณฑ์หลงเหลือปนอยู่ด้วย ซึ่งอาจเก็บผลิตภัณฑ์เหล่านั้นได้โดยใช้เครื่องกรองแบบถุง (bag filter) หรือ เครื่องจับอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงแบบเปียก (wet scrubber) ในกรณีที่มุมของกรวยมีขนาดโตมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์หล่นลงมากองที่ผนังหออบแห้งมาก ดังนั้น ต้องเลือกใช้เครื่องสั่น (vibrators) เครื่องกวาด (rotating scraper) หรือ ลมกวาด (air sweeper) มาช่วยในการกวาดผลิตภัณฑ์ ระบบการแยกอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงอีกระบบหนึ่งคือ ระบบการแยกภายนอกเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ และลมร้อน จะไหลออกจากเครื่องทำแห้งพร้อม ๆ กัน โดยการแยกอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงออกจากลมร้อนจะใช้เครื่องเก็บอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงเช่นเดียวกับระบบแรก หรือ อาจใช้เครื่องเก็บอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงแบบอาศัยไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitation) [40]

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น มีผู้วิจัยและทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด อาทิเช่น

เบ็ญจรัก วายุภาพ [46] ศึกษาการผลิตน้ำอ้อยผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำอ้อยผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ความดันลมออก 50-60 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิลมเข้า 120 องศาเซลเซียส โดยเติมเด็กซ์ตรินที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จะได้น้ำอ้อยผงที่ได้รับการยอมรับในด้านรสหวาน และ ความชอบโดยรวม เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 5-hedonic scale โดยนำน้ำอ้อยผงมาละลายน้ำในอัตราส่วน 1 : 5 และ นำมาเปรียบเทียบกับน้ำอ้อยสด พบว่า จะได้รับการยอมรับด้านรสหวาน

แต่ความชอบในด้านสี กลิ่น และ ความชอบโดยรวม จะน้อยกว่าน้ำอ้อยสด เนื่องจากเด็กซ์ตรินมีผลต่อสี และ กลิ่นของน้ำอ้อยผงคืนรูป

สุขใจ ชูจันทร์ และ พรวิมล จารุธนวัฒน์ [47] ศึกษากระบวนการ และ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเสาวรสชนิดผง โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า อุณหภูมิลมเข้า และ อุณหภูมิลมออกที่เหมาะสมที่สุด คือ 120 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ ศึกษาอายุการเก็บ โดยเก็บในภาชนะบรรจุ PE-Al-PE laminate ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วัน พบว่า ค่าความเป็นกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และ พีเอชไม่เปลี่ยนแปลง ค่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ และ ปริมาณวิตามินซี (โดย HPLC) ลดลงร้อยละ 66.7 ตรวจไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) รวมทั้งยีสต์และรา (PDA count) นอกจากนี้พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะผงเป็นที่ยอมรับมากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาจากน้ำเสาวรสเข้มข้นชนิดหวาน 30 องศาบริกซ์ โดยอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ผง : น้ำ (1:2, 1:3 และ 1:4) ไม่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิทยาศาสตร์การบริการ [48] ได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์อาหารผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ น้ำกระเจี๊ยบผง โดยนำกระเจี๊ยบมาสกัดน้ำ และ ทำให้เข้มข้นจนถึง 40-42 องศาบริกซ์ ผ่านเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ส่วนการทำน้ำมะม่วงผง โดยนำมะม่วงสุกเอาเนื้อมาบดให้ละเอียด กรองเอากากออก ผ่านเครื่องให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส แล้วผ่านเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180-190 องศาเซลเซียส และ ทำน้ำมะเขือเทศผง โดยการคั้นน้ำมะเขือเทศ แล้วทำให้เข้มข้น 7-12 องศาบริกซ์ นำเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180-185 องศาเซลเซียส

ก่องกาญจน์ อังสุภานิช และคณะ [49] ศึกษากรรมวิธีการผลิตว่านหางจระเข้ผงเปรียบเทียบระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ การใช้ตู้อบแบบถาด โดยนำน้ำว่านหางจระเข้มาปรับปริมาณของแข็งโดยเติมมอลโตเด็กซ์ตรินให้น้ำว่านหางจระเข้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 2 และ 3 จากนั้นระเหยน้ำออกจนน้ำว่านหางจระเข้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 5 และ นำมาอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมเข้า 150 และ 200 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิลมออกที่ 95 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของหัวฉีดเท่ากับ 6,400 รอบ/นาที ส่วนการใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดทำที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ผงว่านหางจระเข้ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสามารถในการกระจายตัวต่ำ และ มีการสูญเสียในระหว่างการทำแห้งมากกว่าการทำแห้งโดยใช้ตู้อบแบบถาด และพบว่า กระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมทำโดยการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในน้ำว่านหางจระเข้ให้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 2 ระเหยน้ำออกไป

บางส่วน แล้วนำไปทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้ผงร้อยละ 0.4 ของใบว่านหางจระเข้สด โดยมีความสามารถในการกระจายตัวร้อยละ 77.25 ค่าสี L, a และ b เท่ากับ 88.34, -2.30 และ 14.55 ตามลำดับ ค่าความหนืด 31.38 เซ็นติพอยส์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 285 โคโลนี/กรัม ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนี/กรัม

ศุกฤตย์ ไทยอุดม [50] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อผลิตน้ำบัวบกผงสำเร็จรูป โดยแปรอุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 135, 155 และ 175 องศาเซลเซียส แปรปริมาณสารไซโคลเดกซ์ตรินในน้ำบัวบกสดเป็น 0.33, 0.66 และ 0.99 กรัมต่อน้ำบัวบกสด 100 มิลลิลิตร และ แปรอัตราการไหลของน้ำบัวบกสดเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็น 9.67, 21.50 และ 33.33 มิลลิลิตร/นาที ตามลำดับ ใช้การทดลอง Box-Behnken design พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำบัวบกผง คือ อุณหภูมิลมเข้า 150 องศาเซลเซียส ปริมาณสารไซโคล-เดกซ์ตริน 0.665 กรัมต่อน้ำบัวบกสด 100 มิลลิลิตร และ อัตราการไหลของน้ำบัวบกสด 12.77 มิลลิลิตร/นาที

Malundo et al. [51] ศึกษาการผลิตครีมเทียมจากถั่วลิสงสกัดโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่สภาวะอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 200 องศาเซลเซียส ใช้หัวฉีดแบบจานหมุนที่ความเร็วรอบ 15,000, 25,000 และ 35,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนที่ 0.6, 1.2 และ 1.8 ลิตร/ชั่วโมง และ ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับครีมเทียมทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาด โดยทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส คุณสมบัติที่พิจารณา คือ สี ความสามารถในการละลาย และปริมาณความชื้น พบว่า ครีมเทียมที่ผลิตจากน้ำถั่วลิสงสกัดมีคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสต่ำกว่าครีมเทียมที่ขายทั่วไป และ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 จากการทดลองยังพบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำครีมเทียมจากนมถั่วลิสงสกัดโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ ที่สภาวะอุณหภูมิลมร้อนเข้า 200 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบหัวฉีดในช่วง 15,000 – 29,000 รอบ/นาที และ อัตราการป้อนมากกว่า 1.8 ลิตร/ชั่วโมง

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [52]

การอบแห้งแบบพ่นฝอย มีตัวแปรที่สามารถเลือกสภาวะการใช้งานได้หลายค่า ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามต้องการต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2.1 การทำให้เกิดหยดของเหลวขนาดเล็ก (atomization) การเพิ่มพลังงานในการทำให้เกิดอนุภาคฝอย จะทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กลงเมื่ออัตราการป้อนคงที่ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเร็วรอบ หรือ ความดันของหัวฉีด หรือ อัตราส่วนการไหลระหว่างอากาศกับของเหลวในหัวฉีด จะได้อนุภาคฝอยที่มีขนาดเล็กลง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูง นอกจากนี้ King [53] ศึกษาผลของการฉีดพ่นฝอยที่มีผลต่อการสูญเสียรสชาติ และ กลิ่นของผลิตภัณฑ์ พบว่า การเปลี่ยนรูปร่าง และ การถ่ายเทมวลของละอองในระหว่างการฉีดฝอย และ การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป เป็นสาเหตุของการสูญเสียรสชาติ และ กลิ่นของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น การเลือกรูปแบบการกระจายตัวของละอองในการฉีดพ่นให้เหมาะสม จะลดปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้ได้

4.2.2 คุณสมบัติของสารป้อน ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ จะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่อปริมาณของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการระเหยน้ำยังคงเดิม ดังนั้น อัตราส่วนความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่าในกรณีที่ปริมาณของแข็งในสารละลายป้อนต่ำ ผลที่ได้ตามมา คือ ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง

4.2.3 อัตราการป้อน การเพิ่มอัตราการป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ด้วย และความหนาแน่นจะต่ำ และ เมื่อเพิ่มอัตราการป้อน โดยที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้า และปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่ มีผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

4.2.4 ชนิดของหัวฉีด หัวฉีดแบบ rotary และ nozzle ที่แตกต่างกันมีความสามารถพ่นฝอยได้อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับการออกแบบ และ ลักษณะเฉพาะของแต่ละเครื่อง หัวฉีดแบบ rotary สามารถใช้งานได้ทั่ว ๆ ไป ส่วนหัวฉีดแบบ nozzle จะให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังนั้น การเลือกใช้งานขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตว่ามีลักษณะเช่นใด

4.2.5 การออกแบบหัวฉีด ในหัวฉีดแต่ละชนิดมีอุปกรณ์หลายส่วนที่สามารถออกแบบให้ใช้งานได้แตกต่างกันไป เช่น ระยะห่างระหว่างซี่ (vane) จำนวนซี่ ความสูง และความกว้างของซี่ในหัวฉีดแบบ rotary มีผลทำให้ได้อนุภาคที่พ่นฝอยออกมามีลักษณะแตกต่างกัน

4.2.6 การไหลของอากาศ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อเวลาที่อยู่ในห้องอบแห้ง (residence time) ของอนุภาค หรือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยตรง ถ้าอัตราการไหลของอากาศลดลงทำให้เวลาที่อยู่ในห้องอบแห้งของอนุภาค หรือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกระเหยมีมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง

4.2.7 อุณหภูมิในการอบแห้ง ที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิอากาศเข้า และ อุณหภูมิอากาศออก มีผลต่ออุณหภูมิในการอบแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้าเป็นการเพิ่มแรงขับ (driving force) ของน้ำในอนุภาคที่จะระเหยออกไป เป็นผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น และ เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) ของการอบแห้ง ในสภาพการทำงานจริง ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายค่าหนึ่งเท่านั้นเพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพ และ ทางเคมีตามต้องการ ดังนั้น อุณหภูมิอากาศออกต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แน่นอน ในบางกรณีต้องเลือกสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิอากาศออกต่ำซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันการรวมตัว หรือ ดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ Al-Kahtani & Hassan [54] ศึกษาการอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำกระเจี๊ยบ พบว่า อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ต่ำส่งผลให้การสูญเสียโปรตีน และ วิตามินซีของน้ำกระเจี๊ยบผงน้อยลง และ น้ำกระเจี๊ยบผงมีค่าการละลายที่ดี แต่ผลิตภัณฑ์น้ำกระเจี๊ยบผงที่ได้จะมีการติดผนังเครื่องอบแห้ง โดยเฉพาะเมื่อน้ำกระเจี๊ยบมีความเข้มข้น และ ใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้าที่สูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมักเกิดปัญหาในเรื่องการสูญเสียกลิ่นรส และ การจับตัวเป็นก้อนทั้งในระหว่าง และ หลังการทำแห้ง การแก้ปัญหาเหล่านี้ทำได้โดยการเติมสารช่วยในการทำแห้ง และ กักเก็บกลิ่นรส [55]

5. สารช่วยในการทำแห้ง (drying aid agent)

สารช่วยในการทำแห้ง และ กักเก็บกลิ่นรส เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการทำแห้งอย่างสมบูรณ์ ช่วยรักษาสารให้กลิ่นในกระบวนการทำแห้ง และ ช่วยห่อหุ้มส่วนประกอบของอาหาร [56] ช่วยลดการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้ง และ ช่วยลดการจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ [57] และ เมื่อนำอาหารผงนั้นไปคืนตัวโดยผสมกับน้ำ สีหรือกลิ่นรสของอาหารเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้สี กลิ่นรส ของอาหารหลังการคืนตัว มีลักษณะคล้ายวัตถุดิบสดก่อนนำมาทำแห้ง [58] นอกจากนี้ สารช่วยในการทำแห้งยังทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับอาหารก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อความประหยัดเวลาในการทำแห้ง เช่น น้ำผลไม้ซึ่งมีปริมาณของแข็งต่ำ และ ของแข็งเหล่านั้นส่วนใหญ่ คือ น้ำตาล หากทำแห้งจนเป็นผงแล้วน้ำตาลเหล่านี้จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นมาก และ ดูดความชื้นกลับได้อย่างรวดเร็วเหนียวติดภาชนะ หรือ ไม่สามารถทำให้เป็นผงได้ เนื่องจากมีการเกาะติดบริเวณผนังห้องทำแห้ง และ ดูดความชื้นกลับจนเหนียวเยิ้ม ดังนั้น ถ้ามีสารช่วยในการทำแห้งอยู่ด้วย สารช่วยในการทำแห้งจะไปทำหน้าที่เจือจางปริมาณน้ำตาลในผงให้มีความเข้มข้นลดลง สารที่มีคุณสมบัติเป็น

สารช่วยในการทำแห้ง ได้แก่ มอลโตเด็กซ์ตริน เด็กซ์ตริน และ นมผงขาดมันเนย เป็นต้น [59] นอกจากนี้ สารช่วยในการทำแห้งยังช่วยป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย หรือ เปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง [60] Bhandari [61] ได้ทำการศึกษาการอบแห้งแบบพ่นฝอยของผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลมาก พบว่าปัญหาคือ ที่สภาวะความชื้นสูง ส่วนที่เป็น amorphous ของผงจะทำให้เกิดการละลายของน้ำตาล เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว และ อุณหภูมิ glass transition จะทำให้มีปัญหาที่เกิดจากความเหนียวหนืด การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการเติมสารทำให้แห้ง การออกแบบเครื่องมือให้เหมาะสม และ การควบคุมอุณหภูมิ ซึ่ง กัลยาณี โสมนัส [59] ได้ใช้มอลโต-เด็กซ์ตริน และ นมผงขาดมันเนยเป็นตัวพาในการผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ตัวอย่างที่ใช้นมผงขาดมันเนยเป็นตัวพา ให้ความชื้น ความหนืด และ สีเข้มมากกว่าเมื่อใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นตัวพา และมีกลิ่นกล้วยน้อยกว่าเพราะมีกลิ่นนมไปกลบ

6. มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin)

มอลโตเด็กซ์ตริน $(C_6H_{10}O_5)_n.H_2O$ คือ สารโพลิเมอร์ของแซคคาไรด์ หรือ ส่วนผสมแซคคาไรด์ ที่มีคุณค่าทางอาหาร และ ทำให้บริสุทธิ์แล้ว ประกอบด้วย D-glucose หลาย ๆ หน่วยมาต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-4 และ มีค่าสมมูลเด็กซ์โตส (dextrose equivalent หรือ DE) ต่ำกว่า 20 [62], [63], [64] เตรียมได้จากการไฮโดรไลซิสอย่างไม่สมบูรณ์ของสตาร์ชข้าวโพดด้วยกรด และหรือ เอนไซม์ ในลักษณะเดียวกับ corn syrup ยกเว้นกระบวนการเปลี่ยนแปลงจะหยุดที่ขั้นตอนที่เร็วกว่า โดยมีการดึงเอาน้ำออกจนได้ปริมาณของแข็งร้อยละ 95-97 มอลโตเด็กซ์ตรินมักจะผลิตออกมาในรูปผงแห้งมากกว่าสารละลาย มอลโตเด็กซ์ตรินมีการแบ่งชนิดตามค่า DE มีความหวานเล็กน้อย หรือ ไม่หวานเลยขึ้นอยู่กับค่าสมมูลย์เด็กซ์โตส แต่โดยพื้นฐานแล้วไม่หวานและ หมักไม่ได้ มีความสามารถในการละลายพอใช้ ทำงานเป็นสาร bodying, สาร bulking, สารปรับเนื้อสัมผัส, ตัวพา และ ตัวยับยั้งการเกิดผลึก [62], [65], [66]

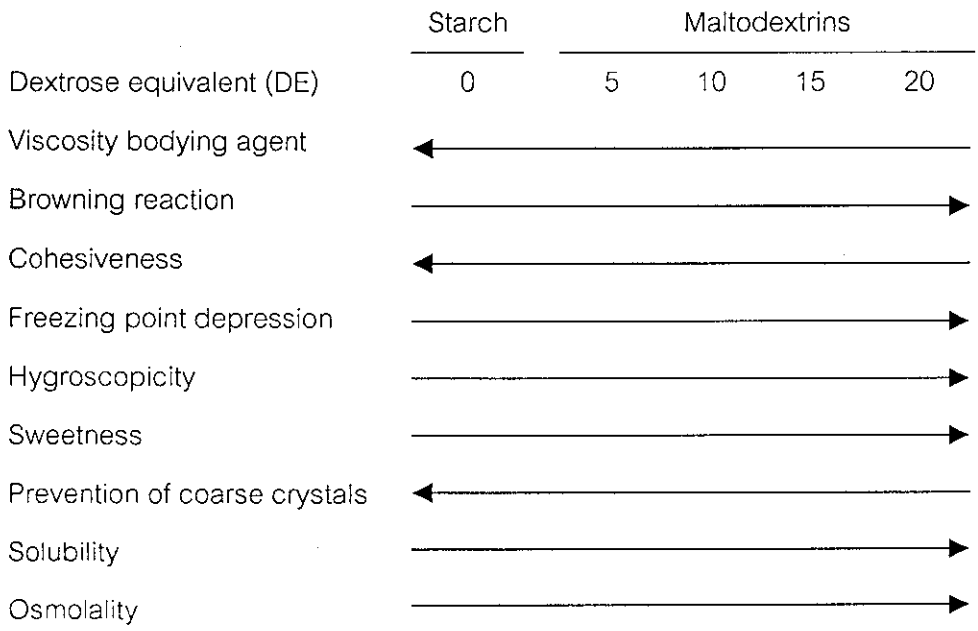
ค่าสมมูลย์เด็กซ์โตส เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งโดยน้ำหนักแห้ง และ ยังบ่งบอกถึงปริมาณของแป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์ไป แสดงถึงน้ำหนักโมเลกุลของสายกลูโคสโพลิเมอร์ในมอลโตเด็กซ์ตริน นั่นคือ เมื่อปริมาณแป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์มาก น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยจะลดลง และ ค่าสมมูลย์เด็กซ์โตสจะเพิ่มขึ้น [45] เช่นเดียวกับ กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ [67] กล่าวว่า ค่าสมมูลย์เด็กซ์โตส (dextrose equivalent) หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในตัวอย่าง

ป
TP
377
ส783ก
2542

4740371
30 มิ.ย. 2547
สำนักหอสมุด

6.1 คุณสมบัติของมอลโตเด็กซ์ตริน

มอลโตเด็กซ์ตรินผงมีลักษณะเป็นผงร่วน สีขาว มีลักษณะ free-flowing มีรสชาติอ่อน ๆ มีความหวานเล็กน้อย หรือ ไม่มีความหวานเลย ขึ้นอยู่กับค่า DE มีความชื้นประมาณร้อยละ 3-5 มีความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) อยู่ในช่วง 0.31-0.61 กรัม/มิลลิลิตร สามารถใช้มอลโต-เด็กซ์ตรินได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของอาหาร และ หน้าที่ของมอลโตเด็กซ์ตรินในอาหารนั้น (generally recognized as safe, GRAS) [68], [69], [70] มอลโตเด็กซ์ตรินมีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) โดยเฉพาะพวกที่มีค่า DE ต่ำ ๆ มีจุดเยือกแข็งคงที่ และ สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดสีน้ำตาลน้อยลงมาก สามารถละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้อาจใส หรือ ขุ่น ขึ้นอยู่กับชนิดของมอลโตเด็กซ์ตรินที่นำมาใช้ สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (body) และความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน นอกจากนี้ ยังสามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ซุป นม น้ำผลไม้ และ ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่เป็นสารละลายน้ำได้เป็นอย่างดี โดยอาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรง หรือ นำมาละลายในน้ำก่อน [63] คุณสมบัติต่าง ๆ ของมอลโตเด็กซ์ตรินที่ขึ้นกับค่าสมมูลย์เด็กซ์โตส แสดงดังภาพ 1 [66]



ภาพ 1 คุณสมบัติของมอลโตเด็กซ์ตริน

ความสามารถในการละลายของมอลโตเด็กซ์ตรินขึ้นอยู่กับค่า DE และ ชนิดของอาหารที่นำไปใช้ การละลายเพิ่มขึ้นเมื่อค่า DE มากขึ้น ส่วนค่าความหนืดของมอลโตเด็กซ์ตริน ซึ่งเป็นดัชนีบอกถึงลักษณะความเป็นเนื้อของมอลโตเด็กซ์ตริน จะมีค่าลดลงเมื่อค่า DE สูงขึ้น ขึ้นกับปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินในสารละลายนั้น ๆ ด้วย หากมีปริมาณสูงความหนืดของสารละลายที่ได้ก็สูงตามไปด้วย [59], [64] และขึ้นกับปริมาณของแข็งด้วย หากปริมาณของแข็งสูง ความหนืดจะสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ มอลโตเด็กซ์ตรินยังมีคุณสมบัติให้ลักษณะความเป็นเนื้อ (body) แก่ผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายประเภท [62]

6.2 การใช้ประโยชน์จากมอลโตเด็กซ์ตริน

มอลโตเด็กซ์ตรินสามารถนำมาใช้เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนที่จะนำเข้าเครื่องทำแห้ง โดยไม่มีผลต่อความหวานของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินมีความหวานเพียงเล็กน้อย หรือ ไม่มีความหวานเลย [70] มอลโตเด็กซ์ตรินยังช่วยลดการดูดความชื้นกลับในผลิตภัณฑ์ผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น น้ำผลไม้ผง เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สามารถไหลได้ (free flowing) โดยสะดวก นัยวิท เฉลิมนนท์ [64] กล่าวว่า ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีอัตราการดูดความชื้นต่ำ มักใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินมีค่าการดูดความชื้นที่ต่ำ โดยค่า DE ยิ่งต่ำก็ยิ่งดูดความชื้นจากอากาศได้น้อยลง นอกจากนี้ การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในผลิตภัณฑ์จะทำให้เกิดลักษณะความเป็นเนื้อ (bodying effect) ในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เนื่องมาจาก มอลโตเด็กซ์ตรินมีส่วนประกอบที่เป็น higher sugar อยู่มาก รุ่งนภา ประดิษฐ์พงษ์ [71] รายงานว่า มอลโตเด็กซ์ตริน มีคุณสมบัติเหมาะที่จะใช้เป็นสารตัวพากลิ่นรส หรือ ใช้เป็นสารเอนแคปซูล (encapsulating agent) ห่อหุ้มกลิ่นรส เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารที่ไม่มีกลิ่นรส ไม่ดูดความชื้นจากอากาศ สามารถเกิดแผ่นฟิล์มได้ มีความหนืดต่ำ จึงเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงได้ มีการละลายน้ำดี ปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสที่อยู่ภายในออกมาได้ง่าย ทำให้แห้งโดยกระบวนการพ่นฝอยได้ง่าย บริษัท Grain processing corporation [69] ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตมอลโตเด็กซ์ตริน ตรามอลทริน (Maltrin) แนะนำให้ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE 9-12 เป็นตัวพาในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำผลไม้และ ไซรัป ในช่วง DE นี้ มอลโตเด็กซ์ตรินมีความสามารถในการละลายสูงที่สุด (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ประมาณร้อยละ 40 (น้ำหนักแห้ง) และ สารละลายที่ได้มีความหนืดประมาณ 60 เซ็นติพอยส์ [59] ซึ่งสอดคล้องกับ Macrae et al. [68] ได้แนะนำให้ใช้มอลโตเด็กซ์ตริน DE 10 เป็นสารช่วยทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจาก มีการกระจายตัว และ การละลายน้ำได้ดี กระจายตัว

ในไขมัน ดูดความชื้นจากอากาศได้ต่ำ มีสมบัติเทไหลได้ (free flowing) ไม่มีกลิ่นรส นิยมใช้เป็นสารตัวกลางของสารให้กลิ่นรส สารให้ความหวาน กรดไขมัน และ อิมัลซิไฟเออร์ เป็นต้น โดยมักใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการห่อหุ้มสารเหล่านี้ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นต่ำและ พื้นที่ผิวมาก

กัลยาณี โสมนัส [59] ได้ใช้มอลโตเด็กซ์ตริน และ นมผงขาดมันเนยเป็นตัวพาในการผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ตัวอย่างที่ใช้นมผงขาดมันเนยเป็นตัวพาให้ความชื้น ความหนืด และ สีเข้มมากกว่าเมื่อใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นตัวพา มีกลิ่นกล้วยน้อยกว่าเพราะมีกลิ่นนมไปกลบ ในกล้วยทั้ง 2 ระยะการสุกควรเลือกมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นตัวพาที่อัตราส่วนของแข็งในกล้วยลวกต่อของแข็งในสารละลายตัวพาเป็น 60:40

Bhandari et al. [44] ศึกษาการอบแห้งสารระเหยผสมระหว่าง Citral และ Linalyl acetate ในสัดส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก และ ใช้สารที่ช่วยในการห่อหุ้มอนุภาค คือ กัมอาราบิก (gum arabic) และมอลโตเด็กซ์ตรินในสัดส่วนที่ต่างกัน โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย leaflash พบว่า การทำให้สารระเหยสัมผัสกับอากาศร้อนในระยะเวลาอันสั้น ไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของสารระเหยเปลี่ยนแปลงไป ถึงแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงถึง 300-400 องศา-เซลเซียส ก็ตาม โดยปริมาณของแข็งของสารระเหยเริ่มต้นที่ร้อยละ 60 และ ที่ระดับปริมาณของแข็งนี้สัดส่วนของสารห่อหุ้มอนุภาคที่เหมาะสม คือ ระดับที่ปริมาณของกัมอาราบิกน้อยกว่ามอลโตเด็กซ์ตริน โดยสามารถรักษาปริมาณสารระเหยได้ถึงร้อยละ 84

Onwulata et al. [72] ศึกษากระบวนการอบแห้งไขมันนมแบบพ่นกระจาย โดยไขมันนมที่ใช้ คือ butter oil และ ครีม ที่มีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 สารห่อหุ้มที่ช่วยในการอบแห้ง คือ สารประเภทคาร์โบไฮเดรตชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ซูโครส, แป้งอเนกประสงค์ (n-starch) และ แป้งดัดแปลง (m-starch, modified starch) และ สารที่ทำให้เกิดอิมัลชั่น ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และ นมผงขาดมันเนย พบว่า ปริมาณความชื้นของไขมันนมผงอยู่ในช่วงร้อยละ 1-4 ปริมาณไขมันอิสระที่ต่ำที่สุดที่พบ คือ ร้อยละ 10 ได้จากไขมันนมที่ใช้ซูโครสเป็นสารห่อหุ้ม จากการทดลองนี้พบว่า ความหนาแน่นปรากฏของผงขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ห่อหุ้ม และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคของผงอยู่ในช่วง 20-120 ไมโครเมตร ซึ่งร้อยละ 90 ของอนุภาคผงมีขนาดเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร และ ไขมันนมผงที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ ไขมันนมผงที่ได้จาก butter oil ที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 40-50 และ ใช้ซูโครสเป็นสารห่อหุ้ม

Bhandari [73] ศึกษาการอบแห้งน้ำแบล็คเคอเรนท์ น้ำแอพพริคอท และ น้ำราสเบอรี่เข้มข้น โดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในปริมาณที่แตกต่างกันเป็นสารที่ช่วยในการอบแห้ง โดยพิจารณาสัดส่วนของน้ำผลไม้ และ ค่าสมมูลย์เด็กซ์โตสของมอลโตเด็กซ์ตริน พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับน้ำแบล็คเคอเรนท์ต่อมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่าสมมูลย์-เด็กซ์โตสเท่ากับ 6 คือ 65/35 น้ำแอพพริคอทเท่ากับ 60/40 สำหรับน้ำราสเบอรี่เท่ากับ 55/45 ที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 60-160 องศาเซลเซียส โดยคำนึงถึงร้อยละของผลผลิต และ ราคาของวัตถุดิบเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน

วันเพ็ญ ศิลาวานิชยกุล และ อุตรานุช เปรมสมาน [74] ศึกษาการพัฒนากระบวนการและ หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำผลไม้ผสมชนิดผง พบว่า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่เหมาะสมต่อการอบแห้งน้ำผลไม้ผสมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 20 องศาบริกซ์ คือ ร้อยละ 15 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 80 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิลมร้อนออก 65-75 องศาเซลเซียส

7. การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง [50]

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำพอที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้ แต่การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวเคมี และ ทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บ การเปลี่ยนแปลงที่พบระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ได้แก่

7.1 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง หรือ อาหารผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์น้อย เนื่องจาก ปริมาณความชื้นในระดับต่ำทำให้อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ลดลง [75]

7.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยา non-enzymatic browning

ปฏิกิริยา non-enzymatic browning เกิดได้จากปฏิกิริยาเคมี 3 แบบ คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือ โพลีฟีนอล (polyphenol) เปลี่ยนไปเป็นสารประกอบพวกโพลีคาร์บอนิล (polycarbonyl compounds) ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน (caramelization) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพวกโพลีไฮดรอกซีคาร์บอนิล (polyhydroxycarbonyl compounds) ที่อุณหภูมิสูง และ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับหมู่คาร์บอนิลสามารถเกิดได้ง่าย เนื่องจากเป็นปฏิกิริยา

จำพวก autocatalytic และ ใช้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย [75], [76] Mc Weeny [76] พบว่า การเพิ่มเวลา ปริมาณความชื้น และ อุณหภูมิทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3-4 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านสี กลิ่นรส และ ปริมาณสารอาหาร [77]

7.3 **การเกิดกลิ่นอับ** (staleness) **และ กลิ่นหืน** (rancidity)

การเกิดกลิ่นอับของอาหารแห้ง เกิดได้จากการรวมกลุ่มของสารระเหยที่ให้กลิ่นรสที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบอื่นที่ให้กลิ่นรสแตกต่างออกไปจากกลิ่นรสเดิม เรียกว่า off-flavour โดยส่วนมากเกิดจากปฏิกิริยาของไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ [78] ส่วน Luh & Woosdroof [79] พบว่า ปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวเพียงร้อยละ 0.3 สามารถทำให้เกิดกลิ่นอับในมันฝรั่งแห้งชนิดเกล็ด และ เม็ดได้ สำหรับกลิ่นหืนเกิดจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวได้อนุมูลอิสระ (free-radicle) และ เปอร์ออกไซด์เกิดสารจำพวกอัลดีไฮด์ คีโตน และ กรดไขมัน [75] Karel [80] พบว่า แสง ความชื้น และ อุณหภูมิ จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหาร การป้องกันการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำได้โดยการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ไอน้ำ แสง และออกซิเจนได้ [75]

8. **ภาชนะบรรจุ** (packaging)

ภาชนะบรรจุ หมายถึง ภาชนะ หรือ โครงสร้างใด ๆ ที่ใช้เพื่อบรรจุห่อหุ้ม และ รวบรวมผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วย เพื่อนำส่งผลิตภัณฑ์ถึงผู้บริโภคในสภาพที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ ยังรวมถึงฉลาก หรือ อุปกรณ์สำหรับการมัด หรือ ปิดภาชนะบรรจุด้วย [81]

ภาชนะบรรจุของเครื่องดื่มผงสำเร็จรูปซึ่งถือเป็นอาหารแห้งที่มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 3 [82] ควรมีสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถป้องกันความชื้น หรือ ไอน้ำ จากสภาวะอากาศรอบ ๆ ไม่ให้ผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับอาหาร หรือ ทำให้อาหารชื้น สามารถป้องกันอากาศ ป้องกันออกซิเจนจากสภาวะอากาศ ถ้ามีออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในอาหารเร็วขึ้น อายุการเก็บสั้นลง และ สามารถทนทานต่อการกด บีบ และ เสียดสี [83] ดังนั้น ภาชนะบรรจุของเครื่องดื่มผง มักนิยมใช้ flexible pouch เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ทำให้ง่ายต่อการบรรจุ และการขนส่ง [84] flexible pouch ที่นิยมใช้เป็นพลาสติกที่ผ่านการลามิเนตเพื่อให้ได้ภาชนะบรรจุที่มีสมบัติในการป้องกันความชื้น แสง และ ออกซิเจนได้ พลาสติกที่นิยมนำมาลามิเนต ได้แก่

polyethylene หรือ polypropylene โดยนำมารีดเป็นแผ่นบางลามิเนตกับ aluminum foil [85] สำหรับถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีน (polyethylene, PE) และ โพลีโพรพิลีน (polypropylene, PP) มีความปลอดภัยต่อการใช้กับอาหารและยา โดยพลาสติกโพลีเอทธิลีน (polyethylene, PE) นิยมใช้มากในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติโปร่งแสง นิ่ม และ ยืดหยุ่น มีความเหนียวสูง ทนต่อกรดเบสได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และ ไอน้ำได้ดี ดูดซึมน้ำได้ต่ำมาก ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ และ ไขมัน หรือ น้ำมัน ได้ต่ำ พลาสติกโพลีเอทธิลีนชนิด Low Density Polyethylene (LDPE) นิยมใช้ในรูปของฟิล์ม ถุง หรือ ใช้เป็นชั้นฟิล์มสำหรับปิดผนึกด้วยความร้อน จึงมักใช้เคลือบวัสดุที่ผนึกด้วยความร้อนไม่ได้ เช่น กระดาษ พลาสติก และ แผ่นเปลวอลูมิเนียม โดยให้ LDPE อยู่ชั้นในสุด [86] ส่วนถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน (polypropylene, PP) เป็นพลาสติกที่มีความสามารถทนต่อความร้อนได้สูง มีคุณสมบัติทั่วไปใกล้เคียงกับพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน แต่มีความแข็งแรงกว่า และ สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และ ไขมันดีกว่า ทนทานความร้อนได้สูง สามารถบรรจุอาหารที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อ (retort) มีความใสดีมาก นอกจากนี้ ฟิล์มโพลีโพรพิลีนที่ผ่านกระบวนการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบในระหว่างการผลิต ซึ่งเรียกว่า Oriented Polypropylene (OPP) จะมีความใส และ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ป้องกันการซึมผ่านของความชื้น และ กลิ่นได้ดี และ เป็นวัสดุสำหรับการพิมพ์ที่ดี จึงนิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักของการทำซองบรรจุอาหารแห้ง ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น [86] แต่ฟิล์มประเภท OPP มีการจัดเรียงโมเลกุลในทิศทางเดียวกันจึงทำให้ไม่สามารถเชื่อมติดได้เลย [87] ส่วนถุงอลูมิเนียมฟอยด์ มีคุณสมบัติทึบแสง และ ปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ไม่ทำปฏิกิริยากับไขมัน และ ตัวทำละลายหลายชนิด ทนร้อนได้ถึง 176.57 องศาเซลเซียส ทนแดดได้ดี พับตามรอยพับได้ง่าย [88] นอกจากนี้ยังพบว่า มีการลามิเนตพลาสติกกับพลาสติกที่ผ่านการ metallization เช่น metallized polyester [89] เพื่อเพิ่มสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อากาศ และ แสง ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ Jayaraman et al. [90] พบว่า ผลิตภัณฑ์แกงผงสำเร็จรูปผสมผักโยเกิร์ต และ มะพร้าวผง ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย บรรจุในถุง polypropylene ที่หุ้มด้วย metallized polyester มีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส เท่ากับ 12 และ 4 เดือน ตามลำดับ ซึ่งให้อายุการเก็บมากกว่าการเก็บในถุง polypropylene อย่างเดียว อย่างไรก็ตาม การลามิเนตระหว่าง aluminum foil หรือ metallized polyester กับ พลาสติกพวก polyethylene หรือ polypropylene มักมีปัญหาในเรื่องการร่อนออกของส่วนลามิเนต [91] Olafsson et al. [92] พบว่า การลดปัญหาการร่อนออกของส่วนที่ลามิเนตทำได้โดยการเพิ่มแรง

ยึดติด (adhesion) ระหว่างผิวของพลาสติกกับส่วนที่ใช้ลามิเนต โดยการใช้ ethylene acrylic acid (EAA) เป็นตัวเพิ่มประจุเพื่อให้เกิด copolymerization ระหว่างผิวของพลาสติกกับส่วนที่ลามิเนต นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ภาชนะบรรจุด้วย ตัวอย่าง flexible pouch ได้แก่ OPP/PE/AL/PE Laminate film เป็นต้น