บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่แช่เยือกแข็ง

ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีหลายชนิด ได้แก่ ขนมปังต่าง ๆ บิสกิต แครกเกอร์ คุกกี้ เค้ก พาย โดยมีการปรับปรุงรูปแบบแตกต่างกันออกไป ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นในรูปแบบหนึ่ง คือ นำผลิตภัณฑ์ขนมอบเหล่านี้ไปแช่เยือกแข็งเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เรียกว่า ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่แช่เยือกแข็ง (Frozen Dough) แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่แช่เยือกแข็งที่ใช้สารเคมีที่ช่วยให้ขึ้นฟู ได้แก่ เค้ก มัฟฟิน คุกกี้ พายและผลิตภัณฑ์เบเกอรี่แช่เยือกแข็งที่ใช้ยีสต์ ได้แก่ ขนมปังชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

ประเภทของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่แช่เยือกแข็ง ทำได้ 2 ประเภท คือ ผลิตภัณฑ์ดิบและผลิตภัณฑ์ที่อบสุกแล้ว สำหรับผลิตภัณฑ์ดิบ จะเป็นลักษณะโดขนมปังที่ได้ทำเป็นก้อนหรือแผ่นมาแล้ว (sold in block) เวลาใช้จะรีดเป็นแผ่นอีกครั้งหนึ่งให้ได้ขนาดความหนาตามต้องการ โดยอาจจะมีการตัดแต่ง หรือทำรูปร่างเรียบร้อยแล้ว ผลิตภัณฑ์ดิบแบ่งออกเป็นชนิดเติมไส้ (filling) และไม่เติมไส้ (without filling) แต่ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้ผ่านการพักขึ้นเป็นสองเท่า เวลาใช้ต้องนำมาทำให้ขึ้นเป็นสองเท่าก่อนนำไปอบ อีกประเภทหนึ่งคือ ผลิตภัณฑ์ที่อบสุกแล้ว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบในระยะสั้น ๆ มาก่อน (partbaked frozen product) หรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบหรือทอดมาเรียบร้อยแล้ว โดยอาจจะมีไส้หรือไม่มีก็ได้ซึ่งเวลารับประทานจะต้องอุ่นโดยอาจทำให้ร้อนด้วยไมโครเวฟหรือทอดอีกครั้ง (Brcwn,1992)

ในการทำขนมปังวัตถุดิบพื้นฐานที่ใช้โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย แป้ง ยีสต์ น้ำตาล เกลือ น้ำ ไขมัน ซึ่งมีหน้าที่ต่าง ๆ กัน คือ

แป้งสาลี เป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบทุกชนิด องค์ประกอบสำคัญที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแป้งสาลีคือ โปรตีน ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์บ่งชี้ความเหมาะสมที่จะนำแป้งสาลีไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่าง ๆ สำหรับแป้งทำขนมปังจะเป็นแป้งที่มีโปรตีนสูง คือ ร้อยละ 12 -14 (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2525) โดยโม่จากข้าวสาลีชนิดแข็ง จำพวก hard red spring หรือ hard red winter ใช้ในการผลิตขนมปังจืด ขนมปังหวาน และผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด โดยทั่วไปองค์ประกอบของแป้งสาลีที่ได้จากการโม่แยกเอา

ส่วนของแป้งในเอนโดเสปิร์มออกแล้วจะมีองค์ประกอบโดยเฉลี่ยดังนี้ คือ ความชื้นร้อยละ 12-14 โปรตีน ร้อยละ 7.5 -15 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 68- 76 ไขมันร้อยละ 1.0-1.5 เถ้าร้อยละ 0.3 - 1.0 (Samual, 1960)

น้ำตาล ที่เติมในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับยีสต์ ในกระบวนการหมัก แต่ถ้ามีการใช้น้ำตาลในปริมาณสูงเกินไปจะขัดขวางกระบวนการหมัก ด้วยผลทางออสโมซิส หน้าที่ของน้ำตาลนอกจากจะให้ความหวานและรสชาติแก่ขนมปังแล้วยังมีผลต่อความนุ่มของเนื้อในของขนมปัง ทำให้ขนมปังที่อบแล้วเก็บความชื้นได้มากและนุ่มนาน ไม่แห้ง มีผลให้อายุการเก็บของขนมปังดีขึ้น (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2525) หน้าที่อีกประการหนึ่งคือ ในระหว่างการอบจะทำให้ผิวนอกของขนมปังเกิดเป็นสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) และคาราเมลไลเซชั่น (caramelization) อีกด้วย

เกลือ ทำหน้าที่ให้รสชาติ โดยช่วยเน้นความหวานของน้ำตาลให้เด่นชัดขึ้นและควบคุมการทำงานของยีสต์ และควบคุมอัตราการหมัก โดยมีผลทางออสโมซิสต่อเซลล์ยีสต์ กล่าวคือ ถ้ามีแรงดันออสโมติคสูงขึ้น อัตราเร็วในการหมักด้วยยีสต์จะลดลง เนื่องจากยีสต์ขาดน้ำและมีผลกระทบต่อกระบวนการเมตาบอลิสม (metabolism) (ศิริลักษณ์ สินธวาลัย, 2525)

น้ำ ทำหน้าที่ละลายส่วนผสมต่าง ๆ ให้เข้ากันและทำให้แป้งสาลีรวมตัวกันเป็นกลูเตน และทำให้สตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์ในระหว่างการอบ คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการทำขนมปังโดยทั่วไปจะใช้น้ำที่มีพีเอชเป็นกลาง เนื่องจากน้ำที่มีพีเอชค่อนข้างเป็นด่าง เช่น น้ำที่ประกอบด้วยแคลเซียมและแมกนีเซียมอิออนจะทำให้ก้อนแป้งผสมนวดยากไม่ค่อยขึ้นฟู แต่ถ้าน้ำอ่อนจะทำให้ก้อนแป้งผสมติดมือและนวดยาก (จิตธนา แจ่มเมฆ และกรอนงค์ นัยวิกุล, 2525)

ไขมัน ทำให้เนื้อในขนมปังละเอียดและนุ่ม ช่วยให้เปลือกขนมปังนุ่ม ช่วยเพิ่มปริมาตรของขนมปัง ทั้งนี้เนื่องจากไขมันช่วยในการหล่อลื่นจึงทำให้กลูเตนสามารถขยายตัวได้มาก ปริมาตรของขนมปังจึงเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้ไขมันมากเกินไปทำให้ก้อนโดขนมปังมีขนาดเล็กเนื้อแน่นไม่ขึ้นฟูเท่าที่ควรเนื่องจากไขมันทำให้โดขนมปังมีลักษณะหนักกว่าปกติ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถดันให้ขึ้นฟูได้

2.2 การทำขนมปัง

การทำขนมปัง ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ เริ่มจาก ขั้นตอนการผสมแป้งและเกิดโด ขั้นหมักโด ขั้นไล่อากาศออกจากโด ขั้นพักโดในพิมพ์ ขั้นอบ

ขั้นตอนการผสม วิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การผสมแบบขั้นตอนเดียว (straight dough) และการผสมแบบสองขั้นตอน (sponge dough) ในการผสมแบบขั้นตอนเดียว

พลสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะผสมแป้ง ยีสต์ ในเครื่องผสมโดยใช้ความเร็วต่ำต่อไปจนเข้ากันดี จึงเติมของเหลวที่ประกอบด้วยน้ำตาล เกลือ น้ำ ให้ละลายเข้ากันก่อนและผสมจนแป้งเริ่มดูดซึมน้ำจับตัวเป็นก้อนแป้ง จึงเติมไขมันลงไปผสมด้วยความเร็วปานกลางจนได้ก้อนแป้งที่เนียนได้ที่ การที่ไม่ใส่ไขมันลงไปพร้อมกับแป้ง เพราะว่าไขมันจะทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของก้อนแป้งต่ำลงทำให้ต้องใช้เวลาในการผสมนานกว่าปกติ (จิตธนา แจ่มเมฆและอรอนงค์ นัยวิกุล, 2525) และวิธีการผสมแบบสองขั้นตอน แบ่งการผสมออกเป็นสองช่วง คือ ในช่วงแรกใช้แป้งประมาณร้อยละ 80 ของแป้งทั้งหมดที่ใช้ในสูตร ผสมกับน้ำและยีสต์ให้เข้ากัน พักไว้ให้มีการหมักก้อนแป้งขึ้นจนได้ที่ ส่วนผสมส่วนแรกนี้เรียกว่า สปันจ์ (sponge) หลังจากหมักสปันจ์ได้ที่แล้ว นำแป้งและส่วนผสมที่เหลือ (ร้อยละ20) ผสมเข้าด้วยกันจนก้อนแป้งเนียนได้ที่เหมือนกับผสมแบบขั้นตอนเดียว

สำหรับอีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นการผสมโดยไม่มีการผ่านขั้นตอนการหมัก เรียกว่า การผสมแบบทุ่นเวลา (no-time dough) เป็นการผสมที่คล้ายกับการผสมแบบขั้นตอนเดียวแต่จะไม่มีการพักโด โดยหลังจากที่ผสมเป็นก้อนแป้งจนได้ที่แล้วก็จะนำมาตัดแบ่งปั้นเป็นก้อน ตัดแต่งก้อนโดตามที่ต้องการนำลงพิมพ์ แล้วปล่อยให้ฟูจนเต็มพิมพ์จึงนำเข้าอบ

กลไกของการเกิดโดเริ่มจากการโม่ข้าวสาลี ชนิดแข็ง พวก hard red spring หรือ hard red winter ให้เป็นแป้ง เม็ดสตาร์ชบางส่วนจะชำรุดเสียหายเป็นผิวขรุขระ ซึ่งสตาร์ชที่ชำรุดเสียหายนี้จะถูกย่อยด้วยเอ็นไซม์ในแป้งสาลีได้ง่ายและเป็นการเพิ่มการดูดซับน้ำอีกด้วย ซึ่งถ้าเป็นเม็ดสตาร์ชที่สมบูรณ์ จะทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาและเบต้าอะไมเลส ในระหว่างการผสมโปรตีนไกลอะดีนและกลูเตนิน จะทำปฏิกิริยากันได้สารประกอบเชิงซ้อนกลูเตน กลูเตนที่เกิดขึ้นจะประสานกันด้วยพันธะอิออนิก พันธะไฮโดรเจน และแรงวันเดอวาวล์ เมื่อประสานตัวกันมากขึ้นก็จะเกาะกันเป็นกลุ่มใหญ่แข็งแรงมากขึ้น

ขั้นผสมนี้เป็นขั้นที่สำคัญต่อการเกิดร่างแหกลูเตน การผสมที่พอเหมาะคือการทำให้สตาร์ชและโปรตีนที่มีทั้งหมดดูดน้ำได้ โดจะถูกผสมจนถึงจุดที่พอเหมาะจนได้ก้อนแป้งที่มีความเหนียว (cohesive) และความยืดหยุ่น (elastic) เนื่องจากโปรตีนที่สำคัญในแป้งสาลีคือ ไกลอะดิน (gliadin) และกลูเตนิน (glutenin) ทำให้มีผลในการอบ คือ ให้สมบัติในการอุ้มก๊าซและพองตัวได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กลูเตนที่ดีจะมีความยืดหยุ่นและสามารถทำหน้าที่กักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยีสต์ผลิตขึ้นได้ดี (Pyler, 1952) ดังนั้นเมื่อมีน้ำล้อมรอบโปรตีนและอนุภาคของแป้งจะทำให้เกิดโครงสร้างเป็นกลูเตนขึ้น ทำให้ก้อนแป้งมีความเหนียวหนืด (stickiness) เพิ่มขึ้น จุดนี้เรียกว่าการเกิดโด โดที่เกิดขึ้นจะมีความยืดหยุ่น มีแรงต้านทานต่อการดึงยืด ลักษณะของ กลูเตนที่เกิดขึ้นสามารถยืดออกเป็นแผ่นได้ การนวดจะทำให้อนุภาคแป้งและโปรตีนถูกล้อมรอบด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีการนวดต่อไปเรื่อย ๆ จะทำให้โครงสร้างแตกออกหรือเกิด

การสลายโครงสร้างที่เป็นร่างแห ทำให้ไม่สามารถนำมาทำเป็นขนมปังได้ นอกจากนั้นในขั้นตอนการผสมโดจะมีการจับอากาศไว้ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญก้อนแป้งผสมเกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กเรียกว่า เกิดเซลล์อากาศ (air cell) ทำให้เกิดการเก็บรักษาก๊าซไว้ในโดซึ่งมีผลต่อช่วงการหมัก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหมักของยีสต์สามารถแพร่เข้าไปในเซลล์อากาศเหล่านี้ ทำให้ปริมาตรของโดขนมปังเพิ่มขึ้น การเกิดโดโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวสาลีและสภาวะแวดล้อมในการปลูก ปริมาณและชนิดของโปรตีนในแป้งสาลีโดยเฉพาะกลูเตนิน แป้งสาลีที่มีโปรตีนต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 12) ไม่เหมาะที่จะนำมาทำขนมปัง เพราะมีปริมาณโปรตีนในการเกิดกลูเตนน้อย สารเคมีบางชนิด ถ้าเป็นสารพวกออกซิไดซ์ ทำให้เวลาในการผสมนานขึ้น เนื่องจากสารเหล่านี้จะไปเติมความแข็งแรงให้กับพันธะไดซัลไฟด์ ในทางกลับกัน ถ้าเป็นสารพวกรีดิวซ์ เช่น ซีสทีนไบซัลไฟด์ (cystine bisulfide) สารจำพวกนี้จะไปตัดทอนพันธะไดซัลไฟด์ในกลูเตนให้สั้นหรือแตกออก ทำให้เวลาในการผสมสั้นลง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2529)

ขั้นหมักโด หลังจากที่ผสมจนถึงจุดที่เหมาะสม เม็ดสตาร์ชจะดูดซับน้ำ (absorbtion) ทำให้พองตัวมากขึ้น (swollen) ในแป้งสาลีมีเอนไซม์ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ อัลฟาอะไมเลส (α- amylase) และ เบต้าอะไมเลส (β-amylase) โดยอัลฟาอะไมเลสจะย่อยสลายแป้งให้เป็นเดกซ์ ทริน (dextrin) และ เบต้าอะไมเลสจะย่อยสลายสตาร์ชให้เป็นน้ำตาลมอลโตส ซึ่งยีสต์จะใช้เป็นอาหารในการเจริญเติบโตพร้อมกับสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลแอลกอฮอลล์ เอสเทอร์ต่าง ๆ พลังงาน กิจกรรมของยีสต์นี้จะทำให้โดมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย มีผลช่วยให้เกิดพันธะต่าง ๆ ขึ้นอีก ทำให้พันธะเหล่านั้นเกาะเกี่ยวกันอย่างแข็งแรง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก ไม่ได้ทำให้เกิดเซลล์อากาศใหม่แต่จะทำให้เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นในช่วงการผสมขยายตัว สำหรับเนยขาวหรือชอร์ทเทนนิ่งมีส่วนป้องกันไม่ให้ก๊าซรั่วออกนอกโด ตามที่ Baker และ Mize (1937) ได้อธิบายปรากฏการณ์ การกักเก็บก๊าซของไขมันแข็ง โดยตั้งเป็นทฤษฎี "Plugging Holes" ไว้ว่า ไขมันจะช่วยอุดช่องว่างระหว่างแผ่นโปรตีนหรือเมิดสตาร์ชที่มีอยู่ได้ ไขมันช่วยเป็นตัวพยุงเสริมแผ่นฟิล์มของน้ำมัน ให้มีความแข็งแรงทำให้สามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้ภายในเซลล์ โครงสร้างของกลูเตนจะถูกดันให้ยืดขยาย โดยทั่วไปถือว่าการหมักเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของปริมาตรเดิม (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2529)

ขั้นไล่อากาศออกจากโด โดที่หมักได้ที่แล้วสามารถพิจารณาได้โดยการใช้นิ้วมือกดลงไป ถ้าเป็นรอยนิ้วจาง ๆ แสดงว่าใช้ได้แต่ถ้าเป็นรอยปุ่มอยู่แสดงว่าหมักนานเกินไป และถ้ากดลงไปแล้วไม่มีรอยแสดงว่าการหมักยังไม่ได้ที่ (จิตธนา แจ่มเมฆและอรอนงค์ นัยวิกุล, 2525) ก้อนแป้งจะต้องนำมากดลงเพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และให้ก้อนแป้งมีอุณหภูมิสม่ำเสมอเท่ากันและเป็นการกระจายตัวเซลล์อากาศใหม่อีกครั้งให้สม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนโด (ศิริลักษณ์

สินธวาลัย, 2525) ในขั้นตอนนี้เม็ดสตาร์ชที่ชำรุดจะถูกย่อยอย่างต่อเนื่องต่อไปซึ่งทำให้โดมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากขึ้น การไล่อากาศออกจากโดครั้งที่ 2 โดจะมีลักษณะคล้ายกับขั้นแรกแต่จำนวนเซลล์อากาศจะขยายตัวเพิ่มขึ้นจากการสะสมก๊าซอย่างต่อเนื่องและเซลล์อากาศที่เกิดขึ้นใหม่จะกระจายอยู่ทั่วไป (สุวรรณ สุทธิชจรกิจการ, 2528)

ขั้นพักโดในพิมพ์ เมื่อการหมักเสร็จสิ้นลง นำก้อนแป้งมาตัดแบ่งออกเป็นก้อนให้ได้ขนาดและน้ำหนักตามต้องการ มีการม้วนขึ้นรูปและบรรจุลงพิมพ์ ขั้นตอนนี้เป็นการพักโดในพิมพ์เพื่อให้โครงสร้างของกลูเตนถูกพัฒนาขึ้นอย่างสมบูรณ์ เกิดโครงร้างสามมิติที่คล้ายฟองน้ำของโด (Freeman และ Shelton,1991) ซึ่งก้อนแป้งที่บรรจุลงพิมพ์แล้วนั้น ก่อนนำเข้าอบต้องมาหมักอีกครั้งเพื่อให้ก้อน แป้งฟูจนได้ที่เสียก่อนเรียกว่า การพักโด (Pyler, 1952)

ขั้นอบ การอบทำให้โครงสร้างของโดเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมี ชีวภาพ โดยไม่อาจย้อนกลับได้ อุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาในการอบจะมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ (สุวรรณ สุทธิชจรกิจการ, 2528) ความร้อนจากเตาอบจะทำให้เกิดการขยายตัวของปริมาตรและเกิดการสร้างเปลือกขึ้นห่อหุ้มขนมปัง ซึ่งในระยะแรกในช่วงนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีผลยับยั้งและฆ่ายีสต์หยุดการทำงานของเอนไซม์ โปรตีนก็เริ่มเปลี่ยนสภาพจับตัวเป็นก้อนแข็งและสตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชั่น ความร้อนจะทำให้เกิดไอน้ำและจะมีส่วนร่วมในการขยายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้เกิดการเพิ่มขนาดของโดอย่างรวดเร็ว ทำให้โดเกิดการขึ้นฟูซึ่งเรียกว่า เกิดการสปริงตัว (oven spring) ต่อมาระยะที่สองของการอบจะเป็นระยะที่กลูเตนเกิดการอยู่ตัว สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ ภายในโครงสร้างของกลูเตนและเกิดการดึงน้ำบางส่วนออกจากกลูเตนทำให้โครงสร้างของขนมปังเริ่มอยู่ตัว และสุดท้ายจะเข้าสู่ระยะการอบซึ่งโครงสร้างของขนมปังจะเริ่มอยู่ตัวและสีของเปลือกเริ่มเป็นสีน้ำตาล (Freeman และ Shelton, 1991)

2.3.การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหารได้เป็นเวลานาน จัดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ในการรักษากลิ่น รส สี และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไว้ได้ดีมาก ส่วนด้านเนื้อสัมผัสของอาหารจะรักษาไว้ได้ปานกลาง การแช่เยือกแข็งประกอบด้วย ปรากฏการณ์ 2 ส่วน คือ การเกิดนิวเคลียส (nucleation phase) ในช่วงแรกเป็นช่วงที่โมเลกุลของน้ำรวมตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เกิดเป็นผลึกเล็กที่ค่อย ๆ ก่ออนุภาคเป็นขนาดใหญ่ต่อไป ช่วงที่สองคือช่วงการเติบโตของนิวเคลียสเป็นผลึก (crystal growth phase) เป็นการเพิ่มขนาดของผลึก ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเพิ่มขนาดของผลึกคืออัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอาหาร การเกิดผลึก

น้ำแข็งโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่จากส่วนที่เป็นของเหลว (liquid phase) ไปสู่ผิวของผลึกที่เกิดขึ้นและโมเลกุลของตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่ออกจากผลึก ดังนั้น ถ้าอัตราการดึงความร้อนออกไปอย่างรวดเร็วจะทำให้ผลึกเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงการเกิดนิวคลียสเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นแม้ว่าจะมีขนาดเล็กแต่ได้จำนวนมากจึงก่อเป็นผลึกน้ำแข็งสมบูรณ์ในอาหาร การแช่เยือกแข็งแบบช้าจะทำให้เกิดผลึกขนาดใหญ่ และเกิดขึ้นในบริเวณภายนอกเซลล์ (extracellular) โดยเซลล์จะหดตัวลง แต่ถ้าทำการแช่เยือกแข็งในอัตราเร็วสูงขึ้นและอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกทั้งแบบภายนอกเซลล์และภายในเซลล์ (intracellular) โดยมีขนาดและการกระจายตัวสม่ำเสมอ จึงไม่ทำให้เซลล์หดตัว (Poulsen , 1977)

2.3.1 กลไกการแช่เยือกแข็งและอิทธิพลของอัตราการแช่เยือกแข็ง (Reid, 1993)

การเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ในภาวะการแช่เยือกแข็ง ผนังเซลล์จะเป็นตัวปกป้องผลึกน้ำแข็ง โดยสารละลายในเซลล์จะถูกดึงความร้อนออก น้ำรอบๆ เซลล์ก็จะเป็นผลึกน้ำแข็ง เรียกว่า ice metrix

การที่ผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นและจะทำลายเซลล์ ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของอัตราเร็วในการดึงความร้อนออกและความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในอาหาร จำแนกได้เป็น 3 กรณีใหญ่ ๆ คือ

2.3.1.1 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วในการดึงความร้อนออกอย่างช้ากับความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในเซลล์ต่ำหรือสูง (slow rate of heat rernoval with low or high water permeability) เนื่องจากอัตราการแช่เยือกแข็งเป็นแบบ ช้า ทำให้ของเหลวหรือน้ำในเซลล์จะยังไม่เกิดผลึกน้ำแข็ง ดังนั้นน้ำในเซลล์จะถูกดึงออกมาสู่ภายนอกเซลล์ ทำให้ภายในเซลล์มีน้ำน้อยยากต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งและน้ำที่ถูกดึงออกมาก็จะเป็นผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้สามารถปกป้องเซลล์ให้รอดพ้นจากการเกิดผลึกน้ำแข็งในเซลล์ได้ การแช่เยือกแข็งแบบช้าที่มีอัตราการลดอุณหภูมิต่ำกว่า 1 องศาเซลเซียส / นาที สำหรับอาหารประเภทต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเนื้อเยื่อพืช เนื้อเยื่อสัตว์ หรือสารแขวนลอยของเซลล์ เช่น จุลินทรีย์ เป็นต้น จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์

2.3.1.2 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วในการดึงความร้อนออกอย่างเร็วกับความสามารถในการแพร่ผ่านของน้ำในเซลล์ต่ำ (fast rate of heat removal with low water permeability) เนื่องจากอัตราการดึงความร้อนออกจากเซลล์เป็นไปอย่างรวดเร็วแต่การซึมผ่านของน้ำต่ำ ทำให้สารละลายในเซลล์เกิดผลึกน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งการแช่เยือกแข็ง

ต้นฉบับไม่มีหน้านี้
NO THIS PAGE IN ORIGINAL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวกลาง จะมีการเปลี่ยนสถานะของตัวกลางด้วย โดยตัวกลางจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวหรือของแข็งเป็นก๊าซ การเปลี่ยนสถานะของตัวกลางนี้ต้องการความร้อนจำนวนหนึ่ง ดังนั้นตัวกลางจะดึงความร้อนส่วนนี้ออกมาจากอาหารทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ตัวกลางที่ใช้มักจะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ ซึ่งถูกนำมาทำให้เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวหรือของแข็งที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปคือ ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว อุณหภูมิที่เกิดจากการแช่เยือกแข็งจะต่ำมาก โดยแต่เดิมจะต้องกำหนดว่าต้องต่ำกว่า - 129 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาวะเช่นนี้สามารถทำได้โดยไนโตรเจนเหลวเท่านั้น ปัจจุบันถือว่า การแช่เยือกแข็งที่จัดว่าเป็นไครโอจินิค จะต้องมีการเปลี่ยนสถานะของตัวกลางจึงสามารถใช้ตัวกลางหลายชนิด ซึ่งการแช่เยือกแข็งมักทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า - 60 องศาเซลเซียส (Fennema,1975, กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ , 2535) วิธีการใช้มีหลายวิธี เช่น การจุ่มอาหารลงในไนโตรเจนเหลว การพ่นไนโตรเจนเหลวลงบนชิ้นอาหารและการเป่าก๊าซไนโตรเจนที่เย็นจัดลงบนอาหาร การใช้ไนโตรเจนมีข้อดี คือ มีการสูญเสียความชื้นน้อยมาก คือ น้อยกว่าร้อยละ 1 เนื่องจากอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูง ช่วยลดการสัมผัสของออกซิเจนกับอาหาร ซึ่งสามารถลดปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่ต้องการ คุณภาพของอาหารซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วจะดีมาก เนื่องจากเนื้อสัมผัสไม่ถูกทำลายมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแช่เยือกแข็งแบบช้า

2.3.3 การแช่เยือกแข็งในอุตสาหกรรมการอบ(Stauffer,1992) แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

2.3.3.1 การแช่เยือกแข็งโดยใช้เพลท (plate freezing) มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการบรรจุในภาชนะแบนราบ ซึ่งจะประกอบด้วย เพลท วางเรียงซ้อนกัน เป็นชั้น ๆ ในแนวราบ และจะมีตัวกลางให้ความเย็นหมุนเวียนรอบ ๆ ทำให้ผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้รับความเย็นทั้งบนและล่าง ประโยชน์ของระบบคือ ประหยัดพื้นที่ในการแช่เยือกแข็ง แต่มีข้อเสียคือขาดความยืดหยุ่นในการทำงาน กรณีที่ผลิตภัณฑ์มีขนาดชิ้นต่างกัน

2.3.3.2 การแช่เยือกแข็งแบบไครโอจินิค (cryogenic Freezing) เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับอาหารทั่วไป ซึ่งผลิตภัณฑ์จะมีการสัมผัสกับตัวกลางให้ความเย็นโดยตรง ประโยชน์ของระบบคือ สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างไม่ว่าจะเป็นในเรื่องขนาดหรือชนิด เนื่องจากใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งสั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีคุณภาพดีแต่ผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วซึ่งผลิตภัณฑ์ที่อบออกมาจะมีรอยแตก (cracks)

2.3.3.3 การแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น (air blast freezing) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ ปกติมีการออกแบบขนาดความจุตามที่ต้องการโดยเฉพาะ

ถ้าปริมาณของผลิตภัณฑ์และขนาดความจุของตู้แช่เยือกแข็งไม่เหมาะสมกันก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพ ในการทำงานและต้นทุนการผลิต อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียคือ ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแช่เยือกแข็งเกิดเส้นรอยบนผิวหน้าโต เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายพบว่าวิธีไครโอจินิค มีค่าใช้จ่ายสูงสุด โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนได้ดังนี้คือ เพลท : ลมเย็น : ไครโอจินิค เท่ากับ 1 : 2 : 4

2.4 ภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง

อาหารสำเร็จรูปจะเก็บไว้ได้นานในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม โดยวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุจะต้องมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำ และป้องการซึมผ่านของออกซิเจนได้ หากเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณผิวหน้าของอาหาร (มยุรี ภาคสำเจียก, 2535) โดยทั่วไปการเสื่อมคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งมาจาก สาเหตุหลายประการ ดังนี้ 1) การสูญเสียน้ำ (dehydration) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้ง ถ้าผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำในระหว่างการแช่เยือกแข็งมากและเป็นเวลานาน จะเกิดภาวะเรียกว่า " freezer burn" ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป 2) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ถ้าอาหารนั้นมีไขมันสูงสามารถเร่งให้ปฏิกริยาออกซิเดชั่นเกิดได้เร็วขึ้น 3) ความเสียหายทางกายภาพ เนื่องจากการถูกกดทับการกระแทกในระหว่างการขนส่ง ทำให้เกิดการแตกร้าวได้

ดังนั้น คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับอาหารแช่เยือกแข็งต้องมีความทนทานต่ออุณหภูมิแช่เยือกแข็ง คือต่ำกว่า -30 องศาเซลเซียส โดยไม่เสื่อมสภาพใด ๆ ไม่เป็นพิษหรือก่อสารปนเปื้อนที่เป็นพิษในการบริโภค ไม่ทำให้กลิ่นหรือรสชาติผิดปกติ สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้ดี ทนต่อความชื้นและน้ำได้ดี ป้องกันแสงสว่างได้ มีความเหนียวซึ่งสามารถต้านทานการทิ่มแทงทะลุได้สูง ไม่ปริแตกหรือรั่วในระหว่างการจัดจำหน่าย และสามารถใช้กับเครื่องจักรอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติได้

บรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบมาสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งนั้นมีหลายรูปแบบ ได้แก่

Vacuum pack เป็นลักษณะที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปเนื่องจากเป็นรูปแบบที่นำมาใช้ได้ง่ายสำหรับอาหารทุกชนิด ลักษณะเป็นถุงพลาสติก 4 ด้าน หรือเป็นถุงพลาสติกแบบเปิดปากถุง ทำด้วยฟิล์มพลาสติกหลายชั้น ที่สามารถกันก๊าซได้ดีและมีความเหนียวสูง เช่น Nylon / PE เป็นพลาสติกที่ได้จากการลามิเนทของไนล่อนและโพลีเอทธิลลีน เนื่องจากไนล่อนสามารถทนต่อสารเคมี รวมถึงไขมันและน้ำมัน ทนความร้อนสูง มีความเหนียวและความอ่อนตัวสูง สมบัติเด่นหลายประการเหล่านี้ จึงนิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุ แต่ข้อเสียคือ มีความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ต่ำ การใช้งานจึงนำมาลามิเนทกับวัสดุอื่นตาม

ความเหมาะสม, Nylon/Surlyn เป็นพลาสติกที่ได้จากการลามิเนทของไนล่อนและเซอร์ลีน ซึ่งเซอร์ลีนเป็นพลาสติกที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอิออนของโลหะ (metal ion) กับโพลีเอทธิลีนเรียกว่า ไอโอโนเมอร์ แต่มีชื่อทางการค้าว่า เซอร์ลีน สมบัติของพลาสติกชนิดนี้มีความเหนียวสูงทำให้ทนทานต่อการแตกหักได้ดี ความสามารถในการให้ไอน้ำซึมผ่านได้ปานกลาง (วุฒิชัย นาครักษา, 2533) PET/PE หรือ PET/Surlyn ซึ่ง polyethylene terephthalate เป็นพลาสติกชนิดที่ทนต่อแรงกระแทกและความทนทานต่อความเย็นสูง เมื่อใช้กับโพลีเอทธิลีนหรือเซอร์ลีน ทำให้เหมาะสำหรับอาหารแช่เยือกแข็ง ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น ภาชนะบรรจุเหล่านี้สามารถลดการสูญเสียของน้ำในอาหาร ลดการเกิดผลึกน้ำแข็งบริเวณผิวในของฟิล์มพลาสติก และสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นของอาหาร

Vacuum skin pack เป็นลักษณะที่บรรจุในถาดโพลีสไตรีน (polystyrene,PS) โดยพลาสติกชนิดนี้จะทนความร้อน และสามารถอ่อนตัวโค้งงอได้ จึงเหมาะสมต่อการดัดแปลงขึ้นรูปเป็นภาชนะต่าง ๆ ได้ง่าย (วุฒิชัย นาครักษา, 2533) เมื่อบรรจุอาหารแล้วหุ้มด้วยฟิล์มยืด (shrinkable films) เป็นแผ่นฟิล์มมาห่อผลิตภัณฑ์แล้วใช้ลมร้อนเป่า ความหนาของแผ่นฟิล์มที่ใช้ส่วนมากอยู่ในช่วง 0.5 -1 มิลลิเมตร (วุฒิชัย นาครักษา, 2533) โดยการบรรจุต้องทำให้ฟิล์มร้อนขณะหุ้มผลิตภัณฑ์พร้อมทั้งดูดอากาศออก ทำให้เกิดสุญญากาศฟิล์มจะแนบไปกับอาหารแล้วจึงปิดผนึกข้างใต้ถาด เหมาะกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เช่น ไก่หรือเนื้อแช่เยือกแข็ง วิธีนี้นอกจากจะยืดอายุการเก็บได้แล้วยังสามารถป้องกันการเกิด freezer burn ได้ดี (มยุรี ภาคลำเจียก ,2535)

Boil in bag เป็นถุงที่สามารถนำมาต้มทั้งถุงได้ทันทีหลังจากแช่เยือกแข็ง เพื่อให้เกิดความสะดวกในการอุ่นอาหารโดยไม่ต้องมีการแกะถุงออก ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ คือ PET/HDPE เป็นพลาสติกที่ลามิเนทระหว่าง polyethylene terephthalate และโพลีเอทธิลีนที่มีความหนาแน่นสูง PET/Al/HDPE เป็นพลาสติกที่ลามิเนท 3 ชั้น ระหว่าง polyethylene terephthalate อะลูมิเนียม และโพลีเอทธิลลีนที่มีความหนาแน่นสูง อาจใช้ Nylon แทน PET ได้และบรรจุในกล่องกระดาษแข็งอีกชั้นหนึ่ง เพื่อความสวยงาม ดึงดูดใจผู้บริโภค

Zipper pouch เป็นถุงพลาสติกที่ปากถุงเป็นซิปซึ่งเปิดได้สะดวก ฟิล์มพลาสติกที่ใช้เป็นส่วนของเอทธิลลีนไวนิล อะซีเตต (EVA) เป็นพลาสติกในรูปโคโพลิเมอร์ มีสมบัติในการยืดหดตัว (elastic) และนิ่ม (soft) มากกว่าพลาสติกประเภทโพลีเอทธิลลีนและทนความเย็นจัดได้ดี ทนต่อการฉีกขาดได้ดี (วุฒิชัย นาครักษา, 2533) เหมาะกับอาหารทะเลแบบไอคิวเอฟ (IQF) และผลไม้

Microwavable pack โดยอยู่ในลักษณะถาดที่ทำด้วย CPET (crystalline polyethylene terephthalate) ทนอุณหภูมิได้ในระหว่าง - 40 ถึง 220 องศาเซลเซียส สามารถนำเข้าอบได้ทันที

2.5 การผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็ง

กระบวนการผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็งที่ใช้ยีสต์จะไม่มีขั้นตอนการหมัก (bulk fermentation) เพราะไม่ต้องการให้มีการหมัก เกิดขึ้น การผลิตโดขนมปัง แบบทุ่นเวลาส่วนใหญ่จะต้องปรับปรุงสูตรโดยลดปริมาณน้ำตาลจากเดิม เช่น จากเดิมร้อยละ 6 จะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 3 เนื่องจากน้ำตาลเป็นอาหารของยีสต์ เมื่อลดอาหารให้กับยีสต์กิจกรรมของยีสต์จะน้อยลง เพิ่มปริมาณยีสต์ 2-3 เท่าจากเดิมหรือมากกว่าแล้วแต่ชนิดของโดขนมปัง การเพิ่มปริมาณยีสต์มีจุดประสงค์เพื่อให้ยีสต์สร้างก๊าซได้มากขึ้นและเวลาที่ใช้ในการพักโดจะลดลง เพิ่มปริมาณสารออกซิแดนท์ เพื่อลดปริมาณสารรีดิวซ์ที่ยีสต์ปล่อยออกมา (Stauffer,1992)

2.5.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำโดขนมปังแช่เยือกแข็ง

ในการผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็ง จำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนก่อนการแช่เยือกแข็ง แบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ชนิดคือ ปัจจัยเนื่องจากวัตถุดิบ และปัจจัยเนื่องจากกระบวนการผลิตได้แก่ การหมักก่อนการแช่เยือกแข็ง วิธีการแช่เยือกแข็ง การละลาย และ ภาวะการเก็บภายหลังการแช่เยือกแข็ง

2.5.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมปัง โดยทั่วไปผลึกน้ำแข็งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลูเตนซึ่งเกี่ยวข้องกับแป้งและยีสต์เป็นหลักโดยมีความสำคัญ ดังนี้

2.5.1.1.1 แป้งสาลี ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของการผลิตขนมปังและผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ชนิดอื่น เมื่อทำโดขนมปังแช่เยือกแข็ง ผลิตภัณฑ์ต้องผ่านภาวะต่าง ๆ คือ การแช่เยือกแข็ง การเก็บ การละลาย ภาวะเหล่านี้จะทำลายโครงสร้างของกลูเตนได้ Neyreneuf และ Van der Plaat (1991) ศึกษาเปรียบเทียบการทำโดแช่เยือกแข็งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน 2 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 11.1 และ 12.8 พบว่าโดที่ทำจากแป้งที่มีโปรตีนสูง (ร้อยละ 12.8) จะให้ความคงตัวดีกว่าโดที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (ร้อยละ 11.1) ให้ผลสอดคล้องกับ Inoue และ Bushuk (1992) ศึกษาแป้งสาลีที่นำมาใช้ในโดขนมปังแช่เยือกแข็ง โดยแป้งที่มีปริมาณร้อยละโปรตีนต่างกัน 4 ชนิด และนำโดที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ เมื่อประเมินคุณภาพภายหลังการอบโดยวัดปริมาตรจำเพาะ พบว่าแป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนสูงเหมาะสม

สำหรับการทำโดแช่เยือกแข็ง เพราะว่าจะทำให้คุณภาพภายหลังการอบได้ดีกว่าแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ เนื่องจากว่าแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างกลูเตนสูงขึ้น มีผลดีต่อโดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมาแล้วเมื่อนำมาอบจะได้ขนมปังที่มีการสปริงตัว(oven spring) สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมสารปรับปรุงคุณภาพอาจช่วยเสริมความแข็งแรงของโดได้ แต่ต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม

Berglund Shelton และFreeman (1991) กล่าวว่า เซลล์อากาศในเนื้อขนมปัง (air cell interface) ซึ่งมีผลต่อความยืดหยุ่นของโดสามารถถูกทำลายได้ง่าย เนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้โดยนำแป้งที่มีโปรตีนสูงมาใช้ในการทำโดขนมปังแช่เยือกแข็ง หรือเพิ่มความแข็งแรงของกลูเตนโดยเติมสารปรับปรุงคุณภาพในแป้งสาลี

สาเหตุที่กลูเตนเสื่อมสภาพมี 2 ประการ คือ 1) เนื่องจากยีสต์ถูกทำลายในระหว่างการเก็บ (storage) ปริมาณยีสต์ที่ตายส่วนหนึ่งก่อนการนำมาใช้ในการทำขนมปังและปริมาณยีสต์ที่ตายเพิ่มขึ้นจากการแช่เยือกแข็งและการเก็บ จะมีผลให้ยีสต์สามารถปลดปล่อยสารรีดิวซ์ (reducing substance) สารรีดิวซ์เหล่านี้จะมีผลทำให้พันธะไดซัลไฟด์ในกลูเตนแตกออก 2) การเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ (recrystallization) โดยผลึกน้ำแข็งที่ก่อตัวขึ้นระหว่างการเก็บจะทำลายโครงสร้างของกลูเตน (Stauffer, 1992) ซึ่งเมื่อผ่านขั้นตอนการละลายและการพักโด ทำให้โครงสร้างร่างแหของกลูเตนไม่แข็งแรงพอที่จะกักเก็บก๊าซไว้ได้ ลักษณะของโดขนมปังเมื่อผ่านการอบพบว่าด้านบนของขนมปังมีลักษณะแบน และเนื้อในขนมปังที่ได้จะมีลักษณะหยาบ

2.5.1.1.2 ยีสต์ ที่ใช้ทำขนมปังเป็นสายพันธุ์ Saccharomyces cerevisiae ในประเทศไทยนิยมใช้ยีสต์ชนิดแห้ง (instant dried yeast) ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 92 แต่ในบางประเทศนิยมใช้ในรูปชนิดอัดเป็นก้อน (compressed yeast) ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 70 ในขนมปัง ยีสต์จะใช้สารอาหาร ในการเกิดปฏิกิริยาการหมักเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู (จิตรนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2525) และมีกลิ่นรสเฉพาะตัวสำหรับอาหารชนิดนั้น Neyreneuf และ Van der Plaat (1991) รายงานว่ากระบวนการทำแห้งของการผลิตยีสต์มีผลให้ยีสต์ถูกทำลายโครงสร้างและเยื่อหุ้มเซลล์ของยีสต์ถูกทำลาย และเมื่อเก็บไว้นานขึ้นปริมาณยีสต์ที่ตายจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ยีสต์แห้งถูกทำลายง่ายขึ้นจากสภาวะการแช่เยือกแข็ง ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับยีสต์ที่สามารถทนทานต่อการแช่เยือกแข็ง Hino, Takano และ Tanaka (1987) พบว่า ยีสต์ที่สามารถทนต่อการแช่เยือกแข็งนั้นจะต้องได้รับการหมักในระยะเวลาหนึ่งก่อน ซึ่งจะขัดแย้งกับ

กระบวนการที่กล่าวข้างต้นว่า ในการทำโดแช่เยือกแข็งต้องไม่ผ่านสภาวะในการหมัก ลักษณะของการใช้ยีสต์ประเภทนี้คือจะนำโดมาหมักก่อน จากนั้นจึงจะนำไปแช่เยือกแข็ง เมื่อนำมาละลายและใช้งานจะพบว่า ต้องนำมาขึ้นรูปใหม่ โดยอาจต้องนำมารีดม้วนโดขนมปังอีกครั้ง ซึ่งโดยปกติแล้วการรีดม้วนใหม่อีกครั้งนั้นจะไม่นิยมทำกันเนื่องจากโดขนมปังจะมีการสูญเสียโครงสร้างของกลูเตน

ปริมาณยีสต์ที่ใช้ขึ้นกับชนิดของขนมปัง โดยทั่วไปนิยมใช้ในปริมาณร้อยละ 2 - 5 เพื่อเป็นการชดเชยปริมาณยีสต์ที่ตายไป การทำโดขนมปังแช่เยือกแข็ง ส่วนใหญ่นิยมใช้ยีสต์สด และยีสต์ที่ใช้สำหรับการแช่เยือกแข็งมีชื่อทางการค้าว่า 3FY® ซึ่งเป็นยีสต์ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์โดขนมปังแช่เยือกแข็งโดยเฉพาะ สำหรับพวกยีสต์แห้งจะไม่นิยมใช้เพราะจะทำให้โดขนมปังแช่เยือกแข็ง มีอายุในการเก็บสั้นประมาณ 1 สัปดาห์ ในขณะที่โดขนมปังแช่เยือกแข็งที่ใช้ 3FY ® หรือยีสต์สด สามารถเก็บได้นานกว่า (U.S. Wheat Associates, 1996)

การวัดเสถียรภาพ (stability) ของโดขนมปังแช่เยือกแข็ง สามารถดูได้จากการนำโดขนมปังมาละลายจับเวลาที่สามารถพักโด จนได้ระดับที่ต้องการเพื่อนำไปเข้าอบและภายหลังการอบจะนำมาวัดปริมาตรเช่นเดียวกับขนมปังปรกติ รวมทั้งสังเกตลักษณะขนมปัง เสถียรภาพของโดแช่เยือกแข็งนั้นสัมพันธ์กับคุณภาพของยีสต์ กลุ่มซัลไฟดริลซึ่งเกิดจากการปลดปล่อยของยีสต์ ภาวะการหมักก่อนที่จะนำไปแช่เยือกแข็ง (Godkin และ Cathcart 1949 , Merrit 1960) ยีสต์ที่ตายลงไปเนื่องจากภาวะการเก็บ ทำให้เกิดสารรีดิวซิ่งมากขึ้น มีผลต่อเนื่องคือต้องใช้เวลาในการพักโดมากขึ้นกว่าปกติ

สาเหตุที่ยีสต์ถูกทำลายมีข้ออธิบาย 2 ข้อ (Stauffer, 1992) คือ 1) ในระหว่างการแช่เยือกแข็งผลึกน้ำแข็งจะล้อมรอบเซลล์ยีสต์และในชั้นของไซโตพลาสม (cytoplasm) ผลึกน้ำแข็งซึ่งส่วนใหญ่อยู่ภายในจะสามารถทิ่มแทงออกจากผนังเซลล์เมมเบรน ทำให้เซลล์ยีสต์สูญเสียส่วนไซโตพลาสมิค (cytoplasmic content) และตายในที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ที่มีแอคติวิตี กับเซลล์ที่ไม่ผ่านการหมักมาก่อน (dormant cell) จะพบว่าเซลล์ที่ไม่ผ่านการหมักมาก่อนจะมีผนังเซลล์เมมเบรนที่หนาทำให้มีความทนทานต่อการถูกทำลายได้มากกว่าเซลล์ที่มีแอคติวิตีมาก่อน 2) ผลจากการหมักของยีสต์ นอกจากจะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วยังสร้างผลิตภัณฑ์อื่นขึ้นมา (metabolic products) เช่น เอทธานอล กรดอะซิติค กรดแลคติค (เกิดจากการหมักของแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถแทรกขึ้นมาได้) กลุ่มเอสเทอร์ เช่น เอทธิลอะซีเตท เอทธิลแลคเตท ซึ่งในระหว่างการแช่เยือกแข็งสารเหล่านี้ที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มข้นสูงมากจนไม่เกิดการเป็นผลึกน้ำแข็ง (อยู่ในโดชั้น aqueous phase) องค์ประกอบของสารอินทรีย์เหล่านี้จะทำให้ยีสต์เกิดการย่อยสลายตัวเอง (autolysis) เช่น

เมื่อเซลล์เมมเบรนเกิดเสียหาย (rupture) และตายในที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่า เซลล์ที่มีแอคติวิตีสามารถถูกทำลายได้ง่ายเนื่องมาจากภาวะของการย่อยสลายตัวเอง (autolytic action) (Hsu, Hosney และ Seib, 1979 b)

สำหรับยีสต์ที่ใช้ผลิตขนมปังคือ Saccharomyces cerevisiae ซึ่งมีหลายสายพันธุ์และมีความสามารถในการหมักที่แตกต่างกันไป (Hsu และคณะ, 1979 b)

Kline และ Sugihara (1968) พบว่า เซลล์ยีสต์จำนวนหนึ่งที่ตายในระหว่างการแช่เยือกแข็ง มีผลให้โดเก็บกักก๊าซได้น้อยในระหว่างการพักโด เพราะโครงสร้างของโดขนมปังอ่อนลง เนื่องจากว่ามีสารรีดิวซ์ การปลดปล่อยสารรีดิวซ์จากเซลล์ยีสต์ที่ตาย เช่น กลุ่มของกลูตาไทโอน (glutathione) ซึ่งสามารถแยกออกมาได้จากเซลล์ยีสต์แห้ง และมีผลต่อวิทยากระแส (rheology) ของโดและสมบัติของขนมปังภายหลังการอบ คือความยืดหยุ่นของโดลดลง และปริมาตรภายหลังการอบน้อยลงกว่าขนมปังที่ทำจากโดปกติ

Wolt และ D' Appolonia (1984 a) รายงานว่า การแช่เยือกแข็งโดขนมปังในกรณีของยีสต์จะต่างกับการที่นำยีสต์ไปแช่เยือกแข็งโดยตรง เนื่องจากยีสต์ที่อยู่ในโดจะมีภาวะของแรงดันออสโมติค (osmotic pressure) และเมื่อยีสต์ได้รับอาหาร เช่น น้ำตาล ทำให้ยีสต์อยู่ในขั้นตอนที่มีแอคติวิตีพร้อมที่จะเกิดการหมัก ทำให้เมื่อนำโดขนมปังไปแช่เยือกแข็งแล้ว

Hsu และคณะ (1979 b); Tanaka (1980); Oda, Uno และ Otha (1986) รายงานว่า เนื่องจากปริมาณของโปรตีนและน้ำตาลที่สะสมในเซลล์ยีสต์ จะมีความสัมพันธ์ต่อการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความอยู่รอดของเซลล์ยีสต์ เหตุผลคือการสะสมน้ำตาลทรีฮาโลส ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของยีสต์ที่ประกอบด้วยลิปิดสามารถทนต่อผลึกน้ำแข็ง อยู่ได้และลดการดูดซึมของน้ำ ซึ่งผนังเซลล์ก็จะคงตัวอยู่ได้ โดยที่ตัวเซลล์ยีสต์ไม่ถูกทำลาย

ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง (cryoresistance) หมายถึง ความสามารถของยีสต์ในการดำรงตนให้รอดพ้นจากสภาวะไม่ปกติ โดยแสดงในรูปอัตราการรอดชีวิตหลังจากที่ยีสต์ถูกแช่เยือกแข็งแล้วใน suspension (Meric,1995) โดยมีรายงานว่าความคงทนของเซลล์ยีสต์นั้นขึ้นกับปริมาณน้ำตาลทรีฮาโลส น้ำตาลทรีฮาโลสเป็นน้ำตาล non-reducing disaccharide ประเภท α-D-glucopyranosye-α-D-glucopyranoside และเป็นไอโซเมอร์ของมอลโตส แหล่งที่พบ มักจะพบในกลุ่มของยีสต์ รา เป็นต้น สำหรับในองค์ประกอบของยีสต์ น้ำตาลทรีฮาโลสทำหน้าที่เป็นแหล่งให้พลังงาน (energy source) และมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ยีสต์ถูกทำลาย โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ (water placement) (Cleggและคณะ,1982) เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลทรีฮาโลส จะปกป้องเซลล์เมมเบรนโดยการทำปฏิกิริยากันของกลุ่มไฮดรอกซิล ของหมู่ฟอสโฟลิปิด กล่าวคือ ในขณะที่เยื่อหุ้มเซลล์อยู่ใน

สภาวะปกติจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไฮโดรเจนของน้ำและออกซิเจนของหมู่ฟอสเฟตของฟอสโฟลิปิด ซึ่งจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของยีสต์คงสภาพอยู่ได้ แต่เมื่อใดก็ตามที่เกิดสภาวะไม่ปกติทำให้หมู่ฟอสเฟตมารวมตัวกัน เยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนสภาพทำให้ความคงทนน้อยลง แต่เมื่อมีน้ำตาลทรีฮาโลสอยู่ก็จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ - OH ของน้ำตาลทรีฮาโลสกับหมู่ฟอสเฟตของฟอสโฟลิปิดขึ้น ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของยีสต์คงสภาพปกติได้ (Croweและคณะ, 1982)

Nakagawa และ Ouchi (1994) ศึกษาการปรับปรุงยีสต์สดเพื่อทำโดแช่เยือกแข็งโดยใช้วิธีให้ความร้อนกับโดขนมปังก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 44-46 องศาเซลเซียส เวลา 10 และ 20 นาที พบว่าในภาวะที่เหมาะสมคือ 44 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และ 46 องศาเซลเซียส 10 นาที ปริมาตรจำเพาะของขนมปังภายหลังการอบเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้ความร้อนช่วยบ่มทำให้เร่งภาวะการสะสมน้ำตาลทรีฮาโลสในเซลล์ยีสต์ มีผลให้เซลล์ยีสต์ทนทานต่อการแช่เยือกแข็งได้ดี

Tanaka (1980) ; Hsu และคณะ (197b) ศึกษาการนำยีสต์มาแช่เย็นก่อนนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ เนื่องจากภาวะการแช่เย็นก่อนนั้นจะชะลอการแตกหน่อของเซลล์ยีลต์ ทำให้ลดการเจริญของยีสต์ ในขณะเดียวกัน เมื่อยีสต์อยู่ในภาวะที่ไม่พร้อมต่อการหมัก จะทำให้ปริมาณเซลล์ยีสต์ที่ตายลดน้อยลง การเกิดสารรีดิวซิ่งต่างๆ ก็จะลดลง ทำให้สามารถลดความอ่อนแอของเซลล์ยีสต์ที่อยู่ในโดนั้นได้

Oda และคณะ (1986) ได้คัดเลือกสายพันธุ์ของ S. cerevisiae เพื่อทำขนมปัง จาก จำนวน 300 สายพันธุ์ พบว่ามีเพียง 11 สายพันธุ์ที่สามารถปรับปรุงเป็นยีสต์ที่มีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งได้ ซึ่งพบว่าสายพันธุ์เหล่านั้นมีความเข้มข้นของปริมาณทรีฮาโลสมากกว่ายีสต์ปกติทั่วไปที่ใช้ในทางการค้า (commercial baker's yeast) และยีสต์เหล่านั้นจะแสดงสมบัติการเป็นยีสต์ที่มีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งได้เมื่ออยู่ในโดขนมปังหวานซึ่งมีร้อยละของปริมาณน้ำตาลมากกว่า 30 แต่ในโดขนมปังที่มีร้อยละของปริมาณน้ำตาลต่ำจะมีคุณภาพลดลง

จากการทดลองของ Neyreneuf และ Van der Plaat (1993) ได้เปรียบเทียบชนิดของยีสต์ที่ใช้ในการทำโดขนมปังฝรั่งเศสแช่เยือกแข็ง พบว่า ยีลต์สดจะให้ผลดีที่สุด โดยจากการทดลองนำยีสต์ทั้ง 3 ชนิด ดังนี้ ยีสต์สด (cake yeast) ซึ่งมีส่วนของเซลล์ยีสต์แห้งร้อยละ 30.85 semi-dried yeast มีเซลล์ยีสต์แห้งร้อยละ 75.65 และ dried yeast มีเซลล์ยีสต์แห้งร้อยละ 93.90 โดยเปรียบเทียบดูผลของปริมาตรจำเพาะ พบว่า ที่ร้อยละ 93.90 ซึ่งเป็นยีสต์แห้งทั้งหมด จะให้ผลของค่าปริมาตรจำเพาะน้อยกว่ายีสต์สด เนื่องมาจากการทำแห้งยีลต์นั้นมี

ผลต่อโครงสร้างและหน้าที่ของไซโตพลาสมิคเมมเบรน (structure and functional of cytopasmic membrane) ซึ่งสอดคล้องกับ Van der Plaat (1988) และมีผลทำให้เซลล์ยีสต์อ่อนแอถูกทำลายได้ง่ายขึ้น (sensitivity) เมื่อถูกแช่เยือกแข็ง (Kline และ Sugihara,1968 และ Wolt และ D' Appolonia, 1984 b)

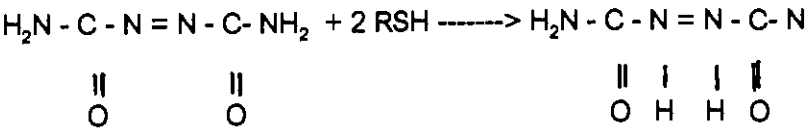
2.5.1.1.3 สารปรับปรุงคุณภาพ

2.5.1.1.3.1 หน้าที่ของสารปรับปรุงคุณภาพ สารปรับปรุงคุณภาพมีหน้าที่เพิ่มความคงตัวของโด คือ ทำให้แป้งสาลีมีคุณภาพในการเกิดก้อนแป้งดีขึ้น โดยจะเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของขนมปัง ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงสามารถกักเก็บก๊าซได้ดีขึ้น โดยขนมปังที่ได้จะมีลักษณะเซลล์อากาศที่เล็กสม่ำเสมอ และช่วยเพิ่มปริมาตรให้กับขนมปัง และช่วยในการเปลี่ยนแปลงของพันธะซัลไฟด์ทำให้โครงสร้างของกลูเตนมีความแข็งแรงมากขึ้น

2.5.1.1.3.2 ชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพ สารเคมีที่ใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ โพแทสเซียมโบรเมต (potassium bromate) โพแทสเซียมไอโอเดต (potassium iodate) อะโซไดคาร์โบนาไมด์ (azodicarbonamide) กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ซึ่งสารเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาในขณะที่เกิดก้อนโด สารออกซิไดส์ที่ให้ปฏิกิริยาเร็ว คือ โพแทสเซียมไอโอเดต อะโซไดคาร์โบนาไมด์ เป็นสารที่ให้ผลเร็ว จะให้ผลตั้งแต่ช่วงผสมจนตลอดการหมัก โพแทสเซียมโบรเมต จะมีผลในช่วงของการหมัก ซึ่งเกิดจากการที่พีเอชลดลง เพราะว่าสารตัวนี้สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วงพีเอชต่ำ

กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) จะให้ผลเร็วขึ้นกับปริมาณที่ใช้และระยะเวลา เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถสลายตัวได้เร็ว จึงมีการใช้ในปริมาณมาก นอกจากนั้น กรดแอสคอร์บิกจะใช้ได้ในภาวะที่ได้รับออกซิเจนซึ่งกรดแอสคอร์บิกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นดีไฮโดรแอสคอร์บิค ที่สามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่ม -SH group ได้ดี

อะโซไดคาร์โบนาไมด์ มีคุณสมบัติช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปัง โดยเมื่อผ่านการอบจะทำให้ขนมปังมีปริมาตรที่ดี รวมทั้งมีลักษณะปรากฏของเนื้อขนมปังที่ดี คือ เซลล์มีการจัดเรียงตัวสม่ำเสมอ เนื้อขนมปังมีความเหนียวนุ่ม และช่วยให้โครงสร้างกลูเตนมีความคงตัวดี (Joiner, Vidal, และ Marks, 1963) ปฏิกิริยาของอะโซไดคาร์โบนาไมด์ ต่อสารรีดิวซ์มีดังนี้



Tsen (1963) ศึกษาคุณสมบัติของอะโซไดคาร์โบนาไมด์ เมื่อผสมลงในแป้งที่ระดับต่าง ๆ กัน คือ 0,0.1,0.2 และ 0.4 ไมโครโมลต่อแป้ง 1 กรัม โดยการตรวจสอบความคงทนต่อการยืดของโด พบว่าเมื่อให้ปริมาณถึง 0.2 ไมโครโมล จะมีความคงทนต่อแรงยืดถึง 1000 B.U (Brabender Unit) เมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นค่าความคงทนก็จะมากขึ้น (เติม 0.4 ไมโครโมล ค่าความคงทนมากกว่า 1000 B.U) แต่ถ้าเติมมากกว่านี้ก็จะทำให้เกิดภาวะได้รับปริมาณสารมากเกินไป ซึ่งแสดงได้ชัดเมื่อผ่านการอบ ขนมปังมีลักษณะไม่ดี เช่น ด้านข้างยุบ เนื่องจากเกิดการล้มของโครงสร้างกลูเตน หรือขนาดเล็กมากทำให้ขนมปังมีความแน่นเหนียวมากขึ้น เนื่องจากสารปรับปรุงคุณภาพทำให้โครงสร้างของ กลูเตนมีความเหนียวมากไปจะมีผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นแพร่เข้าไปในเซลล์อากาศแล้วไม่สามารถดันโครงสร้างของโดให้เกิดการยืดตัวออกมาได้ ทำให้ใช้เวลาในการพักโดนาน และปริมาตรภายหลังการอบจะลดลง โดยดูได้จากแป้งที่มีความคงทนต่อค่าการยืดของโดที่สูงมาก

2.5.1.1.3.3 ผลของการใช้สารปรับปรุงคุณภาพ

Kline และ Sugihara (1968) ;l.orenz (1974) พบว่าเมื่อศึกษาคุณภาพด้านประสาทสัมผัส การยอมรับรวมของขนมปังจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของสารปรับปรุงคุณภาพ สำหรับการทำโดขนมปังแซ่เยือกแข็ง และ Jones , Phillip และ Hird(1974) รายงานว่า การใช้สารปรับปรุงคุณภาพร่วมกันของโปแตสเซียมโบรเมตและกรดแอสคอร์บิกสามารถขัดขวางการเกิดกลูตาไทโอนได้ดีกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกหรือโปแตสเซียมโบรเมตเพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นเกิดประสิทธิผลที่ดีในการใช้โปแตสเซียมโบรเมตกับกรดแอสคอร์บิกร่วมกัน (synergist) โดยโบรเมต จะเป็นตัวคะตะไลสต์ ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดแอสคอร์บิกได้เร็วขึ้น นอกเหนือจากที่ตัวมันเองเป็นการปรับปรุงคุณภาพอยู่แล้ว ดังนั้น โปแตสเซียมโบรเมตและกรดแอสคอร์บิก เป็นตัวเสริมซึ่งกันและกันของการเกิดออกซิเดชั่น -SH group ในโด ปริมาณการใช้สารปรับปรุงสภาพจะใช้ในระดับ 20-40 ส่วนในล้านส่วน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพในแต่ละตัว สารปรับปรุงคุณภาพนี้มีผลทำให้เนื้อขนมปังมีความยืดหยุ่นและจะใช้เติมในการผลิตขนมปังแบบทุ่นเวลา

2.5.2 ปัจจัยของวิธีการผลิตต่อการทำโดขนมปังแช่เยือกแข็ง

2.5.2.1 ผลของการหมักก่อนการแช่เยือกแข็ง

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงสำหรับโดแช่เยือกแข็งที่ผ่านการละลายแล้วนั้น คือ ความสามารถในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยีสต์ ความสามารถในการเก็บกักก๊าซ (gas retention) อันเนื่องมาจากภาวะของโดที่หมักก่อนแช่เยือกแข็ง อัตราการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง และผลการเก็บรักษา ถ้าโดขนมปังมีการหมักก่อนที่จะแช่เยือกแข็ง เช่น ขั้นตอนการพักโด ซึ่งขั้นตอนเหล่านั้นจะทำให้ยีสต์ทำงานเป็นผลให้เมื่อผ่านภาวะการแช่เยือกแข็ง ความสามารถในการผลิตก๊าซและการเก็บกักก๊าซลดน้อยลง (Merritt,1960) เมื่อยีสต์ผ่านการหมักเซลล์เมมเบรนของยีสต์จะอ่อนแอลงซึ่งง่ายต่อการถูกทำลายโดยภาวะแช่เยือกแข็งมากกว่าเซลล์เมมเบรนของยีสต์ที่อยู่ในภาวะการพักเซลล์ นอกจากนี้การปลดปล่อยสารระเหยต่าง ๆ ของเซลล์ยีสต์เช่น เอทธานอล สารอินทรีย์อื่น ๆ ก็จะมีผลทำให้เซลล์ยีสต์บางส่วนมีแอคติวิตีลดต่ำลง เพื่อที่จะลดอัตราการสูญเสียแอคติวิตีซึ่งจะเกิดการหมักขึ้นได้ในระหว่างที่มีการผสมจึงควรให้โดมีอุณหภูมิประมาณ 20 - 22 องศาเซลเซียส และเมื่อปรับแต่งโดเสร็จเรียบร้อยให้รีบนำไปแช่เยือกแข็งในทันที (Tanaka,1981)

2.5.2.2 ผลของอัตราการแช่เยือกแข็งและอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว โดยทั่วไปเป็นข้อดีสำหรับการแช่เยือกแข็งอาหารทั่วไป เพื่อป้องกันเซลล์และเนื้อเยื่อภายในถูกทำลายเนื่องจากผลึกน้ำแข็ง แต่สำหรับในกรณีของโดแช่เยือกแข็งจะต่างออกไป การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วจะเป็นการทำลายแอคติวิตีของยีสต์ Hsu และคณะ (1979 b) ซึ่งสอดคล้องกับ Neyreneuf และ Delpuech (1993) พบว่ากิจกรรมของยีสต์ จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่ออัตราการแช่เยือกแข็งเพิ่มขึ้น จาก 0.978 องศาเซลเซียส / นาที เป็น 1.565 องศาเซลเซียส / นาที สำหรับสาเหตุของการถูกทำลาย Mazur (196t) อธิบายว่า เนื่องมาจากในระหว่างที่แช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วจะเกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ซึ่งการเกิดผลึกจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดการทำลายผนังเซลล์เมมเบรนของยีสต์ แต่ถ้าเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้า เมื่อของเหลวภายในเซลล์เกิดเย็นตัวอย่างยิ่งยวด จะมีความดันไอที่ต่างกันของของเหลวภายในและภายนอกเซลล์ ทำให้น้ำหรือของเหลวในเซลล์ออกมายังภายนอกเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้น การที่น้ำในเซลล์ถูกดึงออกภายนอกมีผลให้น้ำในเซลล์ยีสต์ลดปริมาณลงคงเหลืออยู่น้อยทำให้ไม่สามารถที่จะเป็นผลึกน้ำแข็งได้ ดังนั้นเซลล์จึงมีอัตราการรอดชีวิตได้มากกว่า

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Hsu และคณะ,(1979 b); Neyreneuf และ Delpuech (1993) รายงานว่า การแช่เยือกแข็งโดควรใช้อัตราความเร็วต่ำคือน้อยกว่า 2 องศาเซลเซียส / นาที ซึ่งจะสามารถรักษาเซลล์ยีสต์ ให้อยู่รอดได้มากกว่าซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะปรากฏใกล้เคียงขนมปังสด เนื่องจากผลึกน้ำแข็งทำให้ผนังเซลล์ยีสต์เสียหาย ซึ่งมีผลให้โครงสร้างของกลูเตนที่เป็นร่างแหเกิดการเสื่อมสภาพ ดังนั้นความสามารถในการเก็บกักก๊าซจะลดน้อยลง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับที่Hsu และคณะ (1979 b); Neyreneuf และ Van der Plaat,(1991) ได้ทดลองไว้ สำหรับวิธีการแช่เยือกแข็งแบบช้ามีข้อเสียคือ ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ซึ่งจะทำลายโครงสร้างของกลูเตนโดยได้มากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (Potter,1986)

Meritt (1960) ได้กล่าวถึงการลดปริมาณแอคติวิตี ของยีสต์ก่อนที่จะแช่เยือกแข็ง เป็นปัจจัยสำคัญ และในการแช่เยือกแข็งควรใช้วิธีแบบช้ามากกว่าแบบเร็ว นั่นคือเมื่อเปรียบเทียบการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ - 20 และ -40 องศาเซลเซียส จะพบว่า -20 องศาเซลเซียส ดีกว่า

จากการศึกษาของ Gelinas Lagimoniere และ Dubord (1993) พบว่าอัตราการแช่เยือกแข็งแบบช้า (1 องศาเซลเซียส / นาที) โดยไม่คำนึงถึงภาวะการเก็บรักษาจะไม่มีผลทำให้เซลล์ยีสต์ลดแอคติวิตี แม้ว่าจะศึกษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ -20, -25, -30 และ -40 องศาเซลเซียส ก็พบว่าถ้าให้อัตราของการแช่เยือกแข็งต่ำ อัตราการรอดชีวิตของยีสต์จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าเก็บไว้เป็นระยะ 2-3 เดือน จะเกิดการลดลงของปริมาณยีสต์ แม้ว่าสายพันธุ์ของยีสต์จะแตกต่างกัน ในขณะที่ถ้าเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (8.2 องศาเซลเซียส / นาที) อัตราการรอดชีวิตของเซลล์ยีสต์ จะลดลงเหลือร้อยละ 24-32 เมื่อเทียบกับโดที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง เมื่อเก็บรักษาโดที่ทำจากการแช่เยือกแข็งแบบช้าไว้ที่ - 23 องศาเซลเซียส อัตราการรอดชีวิตของยีสต์มากกว่า คืออยู่ในช่วงร้อยละ 48-61 จากเหตุผลที่กล่าวมาสามารถบอกได้ว่าการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วจะทำลายเซลล์ยีสต์ได้มากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้าในยีสต์ทุกสายพันธุ์

2.5.2.3 ผลของการละลายน้ำแข็ง

การละลายน้ำแข็ง สามารถทำได้หลายวิธี โดยทั่วไปภาวะการละลายน้ำแข็งที่ใช้ แบ่งออกได้ดังนี้ 1) การใช้ตู้ป่มโดยนำโดออกมาละลายทันทีในตู้พักโด (proofer) ด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงกว่า 28 องศาเซลเซียส 2) การนำโดมาละลายที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาสั้น ๆ หลังจากนั้นนำไปหมักในตู้พักโด 3) วิธีละลายสองขั้นตอน คือ นำโดที่ออกมาจากการแช่ เยือกแข็งซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณ -18 องศาเซลเซียส มาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เรียกช่วง

นี้ว่า ทำให้เย็น (chilling) และจากนั้นต้องทำให้โดมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 20 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านั้น ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้การพักโด เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

2.5.2.4 ผลของการเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บโดขนมปังแช่เยือกแข็งเป็นเวลานาน แอคติวิตีของยีสต์จะลดลง (Kline และ Sugihara,1968) การวัดแอคติวิตีของยีสต์ที่หายไป (loss of yeast actiivity) สามารถวัดได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงคือ นับจำนวนเซลล์ที่ยังคงมีชีวิตอยู่หรือ การวัดโดยทางอ้อม คือ วัดความสามารถในการผลิตกาซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อนำโดมาละลายหรือการวัดเวลาที่ใช้ในการพักโดหรือพิจารณาความสูงของโดที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง แอคติวิตีของยีสต์จะลดลง เนื่องจาก สาเหตุที่กล่าวข้างต้นแล้ว คือ ผนังเมมเบรนของยีสต์ถูกทำลาย โดยผลึกน้ำแข็งและโดยการแพร่ผ่านของน้ำเข้าไปในเซลล์ (intra cellular moisture) ในระหว่างการเก็บโดขนมปังแช่เยือกแข็ง ยีสต์จะถูกทำลายเนื่องจากการเก็บมีหลายสาเหตุ เช่น ภาวะของอุณหภูมิไม่คงที่ หรือเก็บนานขึ้นผลึกน้ำแข็งแกิดการรวมตัวเป็นผลึกใหญ่ขึ้น การประเมินผลของการเก็บจะดูได้จาก เวลาที่ใช้ในการพักโด ปริมาตรของขนมปัง ลักษณะเนื้อขนมปัง Charls และ Van Duyne (1953) รายงานว่า จำนวนยีสต์ที่เหลือรอดของโดแช่เยือกแข็ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จนกระทั่งผ่านไป 9 สัปดาห์ แต่คุณภาพของโดจะต่ำลงตลอดระยะเวลาเก็บ และเมื่อวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดต่ำลงตั้งแต่สัปดาห์แรกของการเก็บ แม้ว่าการนับโคโลนี (โดย plate count) ไม่ได้สนับสนุนไปด้วยกันกับการวัดปริมาตรจำเพาะ (baking tests) แต่สามารถกล่าวได้ว่า เซลล์ยีสต์อาจหยุดการเพิ่มจำนวนเซลล์หรือหยุดการเจริญเติบโต (loss reproductiive ability) แต่ยังคงมีความสามารถในการหมักได้อยู่ (fermentative activity) ในระหว่างที่มีการเก็บ ซึ่ง Godkin และCathcart (1949) พบว่าหลังจากที่เก็บ 21 วัน คุณภาพของ roll dough ยังคงให้ค่าปริมาตรที่ดีอยู่แต่อัตราการเหลือรอดของยีสต์ลดน้อยลงตลอดการเก็บผลิตภัณฑ์

ผลของการเปลี่ยนแปลงทางวิทยากระแสเมื่อนำโดที่แช่เยือกแข็งมาละลายน้ำแข็ง โดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาละลายน้ำแข็ง พบว่าความสามารถในการผลิตก๊าซและความสามารถในการเก็บกักก๊าซลดน้อยลง การวัดความสามารถในการเก็บกักก๊าซดูได้จากค่าความคงทนต่อการยืดของโด (InoueและBushuk,1991) เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ความคงทนต่อการยืดของโดลดลงอย่างมีนัยสำคัญและนอกจากนี้เมื่อนำไปพักโดจะพบว่าใช้เวลาในการพักโดมากขึ้น และมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องไปถึงปริมาตรภายหลังการอบที่ได้ก็จะลดลง

2.5.2.5 การบรรจุ ภายหลังการแช่เยือกแข็ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นของก้อนโดระหว่างการแช่เยือกแข็ง เพราะว่าที่อุณหภูมิต่ำจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำไปด้วย ผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาบรรจุควรมีอุณหภูมิประมาณ -12 ถึง -18 องศาเซลเซียส การเก็บผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้วไว้ที่อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส (± 2 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาในการเก็บที่ดีที่สุดคือประมาณ 2-6 สัปดาห์เท่านั้น Sunderlin, Cllins และ Acheson (1940) ได้ทดลองนำ rolled dough แช่เยือกแข็งที่ - 22.5 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาที่ -18 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ยังให้คุณภาพเป็นที่ยอมรับแต่เมื่อเก็บไว้นานกว่านั้น จะให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะในเรื่องกลิ่น รส

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีแนวโน้มว่าจะตาย เมื่ออยู่ในภาวะที่ต่ำกว่าการแช่เยือกแข็ง ซึ่ง Berry (1940) พบว่า แบคทีเรียหลายชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ 0 องศาเซลเซียส และจุลินทรีย์ทุกชนิด มีแนวโน้มที่จะตายเมื่อภาวะการแช่เยือกแข็ง ที่ - 9.5 องศาเซลเซียส หรือ 15 องศาฟาเรนไฮต์

2.6 การตรวจสอบคุณภาพของขนมปัง (Pyler, 1952 ; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2529)

การตรวจสอบคุณภาพของขนมปังทำได้โดยการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ขนมปังที่ได้จะนำมาประเมินโดยการให้คะแนน โดยพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ การให้คะแนนมักขึ้นกับการตัดสินใจของแต่ละบุคคล โดยอาจเปรียบเทียบกับขนมปังที่ยึดไว้เป็นมาตรฐาน การประเมินทางประสาทสัมผัสไม่สามารถบอกคุณลักษณะที่แท้จริงได้ เนื่องจากผู้บริโภคที่แตกต่างกันก็ต้องการขนมปังที่แตกต่างกัน การให้คะแนนของผู้ชิมแต่ละแห่งก็แตกต่างกันไป คุณภาพที่ถือว่าดีของผู้บริโภคแห่งหนึ่งอาจจะไม่ใช่คุณภาพที่ดีของผู้บริโภคอีกแห่งหนึ่ง การให้คะแนนปกติแล้วจะไม่มีแบบแผนตายตัว โดยปกติแล้วมักมีการให้คะแนนทั่วๆไปของขนมปังตามมาตรฐาน

ปริมาตรของก้อนขนมปัง

โดยทั่วไปจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของขนมปัง จะมีค่าเฉพาะค่าหนึ่งที่ทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสและลักษณะเนื้อขนมปังเป็นที่น่าพอใจ ปริมาตรจะวัดออกมาเป็นหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตรโดยวิธีแทนที่ด้วยเมล็ดพืชขนาดเล็ก เช่น เมล็ดฝิ่น เมล็ดแมงลัก เป็นต้น ปริมาตรที่วัดได้อาจมากไป น้อยไป หรือพอดี ถ้าปริมาตรที่มากไปจะมีผลให้เนื้อขนมปังมีลักษณะร่วน ปริมาตรที่ต่ำเกินไปจะทำให้เนื้อขนมปังเหนียวมากหรือร่วนแห้งขึ้นอยู่กับคุณภาพของกลูเตน การพิจารณาปริมาตรของขนมปังต้องพิจารณารูปร่างของก้อนขนมปังด้วย ความกว้าง ความยาว

ควรมีความสัมพันธ์กัน รูปร่างที่สมส่วนอาจจะขึ้นกับการออกแบบแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสม อาจจะดูจาก ส่วนบนของก้อนขนมปังว่าแบนหรือสูงเกินไป ถ้าแบนเกินไป ก็เนื่องมาจากคุณภาพของกลูเตนอ่อนแอ การเกิดสปริงตัวของขนมจึงน้อย

สีของเปลือก

ปกติแล้วสีของเปลือกขนมปังมีตั้งแต่สีเหลืองทองเข้มตรงส่วนบน ของก้อนขนมปังหรือตรงส่วนที่เรียกว่า กะโหลก จนถึงสีเหลืองทองอ่อนของบริเวณด้านข้างของก้อนขนมปัง

สีของเปลือกนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบ และน้ำตาลที่เหลือในโด ดังนี้

1.ปริมาณน้ำตาลในโดจะขึ้นกับเวลาการหมัก ถ้าหมักนานเกินไป จะได้ขนมปังที่มีเปลือกสีซีด และเปราะเนื่องมาจากมีปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่น้อย ในทางกลับกันถ้าการหมักยังไม่ดีคือยีสต์ยังทำงานไม่เต็มที่ก็จะให้ลักษณะของเปลือกมีสีเข้ม แข็งและหนา

2.สภาพในการอบมีผลต่อสีของเปลือก เช่น อุณหภูมิต่ำเกินไป มีผลให้เปลือกมีสีด้าน (dull color) หรือการกระจายความร้อนของตู้อบที่ไม่สม่ำเสมอบางครั้งก็มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่ไม่สม่ำเสมอ

ลักษณะเนื้อในของขนมปัง

การพิจารณาเนื้อในขนมปังจะพิจารณาจากรูปร่างและความหนาบางของเซลล์ขนมปัง เช่น เซลล์ที่มีลักษณะกลมหรือเป็นรูปยาวรี ขนาดผนังเซลล์บางหรือหนา ถ้าผนังเซลล์บางจะทำให้เนื้อขนมปังละเอียด ถ้าผนังเซลล์หนาจะได้เนื้อขนมปังที่หยาบ เป็นต้น

เมื่อตรวจดูจากการสัมผัส เนื้อสัมผัสตรงบริเวณผิวหน้าของแผ่นขนมปังนั้น มีลักษณะนุ่ม เป็นใยคล้ายใยไหม (velvety) ยืดหยุ่นนุ่ม (elastic) หรือให้ความรู้สึกหยาบ (harsh) โดยทั่วไปถ้าเป็นผนังเซลล์บาง (thin cell wall) จะมีความรู้สึกนุ่มกว่าและมีความยืดหยุ่นที่ดีกว่า ในทางตรงกันข้าม ถ้าเป็นเซลล์หนา จะให้ความรู้สึกหยาบ (coarse grain)

ดังนั้นถ้าในลักษณะที่ไม่ดีของขนมปัง คือจะให้ลักษณะผนังเซลล์หนาและเนื้อหยาบหรือเป็นรู

ในกรณีที่เป็นโพรง (hole) นั้นเนื่องมาจากการรีดโด โดยใน ช่วงที่มีการขึ้นรูปไม่ดีพอ

ลักษณะเนื้อสัมผัส

เป็นการแสดงถึงความยืดหยุ่นหรือความนุ่มเนื้อของเนื้อขนมปัง (elasticity or softness) ซึ่งผู้ทดสอบมักจะให้ความสับสนระหว่างการชิม จึงให้ยึดหลักว่า เมื่อเข้าปากแล้วให้ความรู้สึกนุ่มเหนียวหรือ มีความรู้สึกหยาบ ร่วน (harsh texture) แต่ส่วนหนึ่งของความรู้สึกจะรวมถึงคุณภาพในการเคี้ยวของขนมปังด้วย ขนมปังควรเคี้ยวแล้วมีความนุ่ม ยุ่ยง่าย ไม่รวมกันเป็นก้อนในปาก ซึ่งทำให้กลืนยาก

กลิ่น

คุณภาพของขนมปังนอกจากรูปร่าง เนื้อในของขนมปังแล้ว ยังขึ้นกับความรู้สึกที่เกิดจากกลิ่น (aroma) ที่บอกลักษณะของกลิ่นแป้ง (wheaty) กลิ่นยีสต์ กลิ่นหมัก กลิ่นเปรี้ยว(sour) กลิ่นอับ กลิ่นหืน (rancid) เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย