บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.การวิเคราะห์คุณภาพแป้งสาลี

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลี แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบทุกชนิด องค์ประกอบโดยทั่วไปได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และเถ้า แต่องค์ประกอบสำคัญที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแป้งสาลี คือ โปรตีน ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหลัก การกำหนดความเหมาะสมที่จะนำแป้งสาลีไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดอื่น ๆ (Pyler,1963) โดยทั่วไปแป้งสาลีที่ใช้ทำขนมปังจะมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 12-14 โดยแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะช่วยให้โครงสร้างของกลูเตนมีความแข็งแรงมากขึ้นและช่วยให้กลูเตนมีการสปริงตัว ภายหลังการอบสูงขึ้น (Neyreneuf และ Van Der Plaat ,1991) งานวิจัยนี้เลือกใช้แป้งสาลีที่มีปริมาณโปรตีนสูง ชนิด hard red spring wheat ซึ่งเป็นแป้งสาลีที่ผลิตในประเทศแคนาดา เรียกว่า Canadian Western Red Spring เป็นแป้งสาลีที่ได้จากข้าวสาลีในฤดูใบไม้ผลิ ลักษณะของเมล็ดข้าวแข็งใส ซึ่งแป้งสาลีที่ได้จะมีปริมาณโปรตีนสูง ในช่วงร้อยละ 9-18 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2529) และเนื่องจากงานวิจัยโดขนมปังแช่เยือกแข็งนี้ ใช้วิธีทำแบบทุ่นเวลาซึ่งต้องเติมสารปรับปรุงคุณภาพในปริมาณหนึ่ง และศึกษาผลของการเติมสารปรับปรุงคุณภาพจึงเลือกใช้แป้งสาลีชนิดที่ไม่เติมสารปรับปรุงคุณภาพ (plain flour) แป้งสาลีที่ใช้เมื่อวิเคราะห์สมบัติของแป้งทางเคมี (ตารางที่ 4.1) พบว่ามีปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.99 ซึ่งอยู่ในช่วงเหมาะสมที่จะใช้ทำขนมปัง

สมบัติของแป้งสาลีในการเกิดโด เป็นการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของการเกิดก้อนแป้งโดยใช้ Farinograph และ Extensigraph ค่า Farinograph สามารถบ่งชี้คุณภาพของในการดูดซึมน้ำ จากการทดลองพบว่า ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งสาลีชนิดนี้ มีค่าเท่ากับร้อยละ 68 (ตารางที่ 4.2) ซึ่งการดูดซึมน้ำของแป้งที่นำมาใช้ทำขนมปังแช่เยือกแข็งควรอยู่ในช่วงร้อยละ 65-75 (Inoue และ Bushuk,1991 b) เพราะว่าถ้าก้อนแป้งสามารถดูดซึมน้ำได้สูงเกินไปจะทำให้เมื่อนำไปแช่เยือกแข็ง น้ำที่อยู่ในโดจะเกิดเป็นผลึกน้ำแข็งซึ่งจะทำลายโครงสร้างของกลูเตนได้ง่าย

เมื่อพิจารณาค่าความคงทนต่อการยืดของโด (resistance/extensibility) พบว่า แป้งสาลีมีค่าความคงทนต่อค่าแรงยืดเท่ากับ 1.98 บียู/มิลลิเมตร ซึ่งสมบัติของแป้งสาลีที่เหมาะสมในการทำขนมปังควรมีค่าความคงทนต่อความยืดมากกว่า 1 เพราะว่ากลูเตนจะมีความสามารถในการยืดตัวออก เพื่อกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมของยีสต์ได้ดี (อรอนงค์ นัยวิกุล , 2529)

5.2.ศึกษาปริมาณของสารปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสม คืออะโซไดคาร์โบนาไมด์และกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมสำหรับผลิตโดขนมปังแซ่ยือกข็ง

5.2.1 .ศึกษาปริมาณของสารปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสมในการผลิตโดขนมปังแบบทุ่นเวลา

ในการศึกษาขั้นตอนนี้เป็นการใช้สารปรับปรุงคุณภาพ เติมลงไปในส่วนผสมสำหรับการผลิตโดขนมปังแบบทุ่นเวลาเพื่อที่จะใช้ผลิตโดขนมปังแซ่เยือกแข็งต่อไป การทำขนมปังแบบทุ่นเวลานั้นต้องเติมสารปรับปรุงคุณภาพที่เป็นสารออกซิไดซ์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของหมู่ซัลไฟดริลในโปรตีนกลูเตน เนื่องจากโครงสร้างของกลูเตนจะประกอบไปด้วยกลูเตนินและไกลอะดิน ซึ่งโปรตีนทั้งสองจะถูกยึดเหนี่ยวกันไว้ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ การเติมสารปรับปรุงคุณภาพจึงเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้โปรตีนกลูเตนมีความแข็งแรงสามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้ดี ดังนั้นผลของสารปรับปรุงคุณภาพนี้จึงทำให้ปริมาตรของขนมปังเพิ่มขึ้นและเนื้อสัมผัสของขนมปังดีขึ้น (Wei และ Hoseney,1995) สารปรับปรุงคุณภาพที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ ได้แก่ โปแตสเซียมโบรเมต กรดแอสคอร์บิก องค์การอาหารและยา (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดให้ใช้สารโปแตสเซียมโบรเมตเป็นตัวปรับปรุงคุณภาพในอุตสาหกรรมขนมปัง ในปี ค.ศ.1990 พบว่าสารโปแตสเซียมโบรเมต มีสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) จึงไม่อนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบ แต่เนื่องจากในการผลิตขนมปังหลายชนิด จำเป็นที่ต้องใช้สารปรับปรุงคุณภาพเข้าช่วย ดังนั้นจึงหาสารที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโบรเมต สารที่ใช้ได้ดีในปัจจุบันคือ อะโซไดคาร์โบนาไมด์ (Joiner, Vidal, และ Marks, 1963; Stauffer, 1992) ในประเทศไทย กำหนดปริมาณสารเจือปนที่เติมในแป้งสาลีชนิดทำขนมปังโดยสารปรับปรุงคุณภาพกรดแอสคอร์บิกให้เติมในปริมาณที่เหมาะสมและอะโซไดคาร์โบนาไมด์กำหนดให้เติมไม่เกิน 45 ppm (อรอนงค์ นัยวิกุล,2529)

ขั้นตอนนี้จึงเลือกใช้สารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิด คือ อะโซไดคาร์โบนาไมด์ และกรดแอสคอร์บิก โดยแปรเป็น 3 ระดับคือ อะโซไดคาร์โบนาไมด์ 0 ,15 และ 30 ppm และกรดแอสคอร์บิก 0,100 และ 150 ppm ประเมินผลโดยวัดปริมาตรจำเพาะและทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.3 และ 4.4)

ปริมาตรจำเพาะ

จากการประเมินผลทดสอบขนมปังโดยพิจารณาค่าปริมาตรจำเพาะเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เมื่อใช้สารปรับปรุงคุณภาพปริมาณต่างกันจะมีปริมาตรจำเพาะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ เมื่อผสมอะโซไดคาร์โบนาไมด์หรือกรดแอสคอร์บิก ค่าปริมาตรจำเพาะจะเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ได้เติมสารปรับปรุงคุณภาพ เพราะว่าในขณะที่มีการผสม ยีสต์ที่อยู่ในโดจะเริ่มเติบโตเนื่องจากมีน้ำและอากาศจากการผสมและมีอาหารคือน้ำตาลและสารอาหารอื่น ๆ จากโด ทำให้ยีสต์เพิ่มจำนวนมากขึ้น และเมื่อเติมสารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิดร่วมกัน พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูงกว่าการเติมสารปรับปรุงคุณภาพเพียงชนิดเดียว จากการทดลองเมื่อเติมอะโซไดคาร์โบนาไมด์และกรดแอสคอร์บิกมาก จะมีผลทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพิ่มขึ้นเป็น 3.49 มิลลิลิตรต่อกรัม เมื่อเทียบกับขนมปังที่ไม่ได้เติมสารปรับปรุงคุณภาพ ค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 3.00 มิลลิลิตรต่อกรัม เช่นเดียวกันการเติมอะโซไดคาร์โบนาไมด์และกรดแอสคอร์บิก ในอัตราส่วน 15:150 ppm จะให้ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมปริมาณของอะโซไดคาร์โบนาไมด์และกรดแอสคอร์บิกมากขึ้น คือ 30 :100 ppm และ 30:150 ppm จะมีผลให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลงทั้งนี้เนื่องจากกลูเตนมีความเหนียวมากเกินไป เพราะว่าสารปรับปรุงคุณภาพทั้งสองชนิดทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ซัลไฟดริล ทำให้มีพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเพิ่มขึ้น และยึดเหนี่ยวกันอย่างหนาแน่นมากทำให้แรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้นไม่มากพอที่จะดันให้กลูเตนยืดตัวได้ ขนมปังที่ได้จะมีขนาดเล็ก เนื้อสัมผัสของขนมปังจะมีความเหนียวมากขึ้น เรียกว่าเกิดภาวะ over oxidation เมื่อผ่านภาวะการหมักยีสต์จะทำหน้าที่ในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาแล้วแพร่กระจายในเซลล์อากาศในโด แต่ไม่สามารถดันให้กลูเตนยืดตัวออกได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tsen (1963) ซึ่งเติมสารอะโซไดคาร์โบนาไมด์ที่ระดับ 40 ppm ทำให้เกิดภาวะ over oxidation โดยจะแสดงได้ชัดเมื่อผ่านการอบคือขนมปังจะมีปริมาตรที่เล็กและรูปร่างไม่สมมาตร และการทดลองของ Hsu , Hoseney และ Seib (1979 a) โดยศึกษาเปรียบเทียบการใช้โปแตสเซียมโบรเมตเพียงชนิดเดียวและการใช้โปแตสเซียมโบรเมตร่วมกับกรดแอสคอร์บิก ประเมินผลโดยพิจารณาค่าปริมาตรจำเพาะ พบว่าการเติมโบรเมตร่วมกับกรดแอสคอร์บิกที่ระดับ 10:100 ppm จะให้ค่าปริมาตรจำเพาะที่สูงกว่าการ

เติมโบรเมต ที่ระดับ 20 ppm เพียงชนิดเดียว และ สำหรับการเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นเป็น 50 ppm พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรจำเพาะไม่มีความแตกต่างมาก เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถสลายตัวได้เร็วกว่า เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีลักษณะเป็นได้ทั้งสารรีดิวซ์หรือสารออกซิไดส์ ซึ่งเมื่ออยู่ในรูปของกรดแอสคอร์บิกจะเป็นสารรีดิวซ์ แต่เมื่อผสมกรดแอสคอร์บิกลงในแป้ง ในระหว่างที่ผสมนั้นจะเป็นการเติมออกซิเจน กรดแอสคอร์บิกจะเปลี่ยนรูปเป็นดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydro ascorbic,DHA) โดยเอนไซม์ Ascorbic acid oxidase ซึ่ง DHA นี้เองที่จะทำหน้าที่เป็นสารปรับปรุงคุณภาพที่ดี แต่ในขณะที่ไม่ได้รับออกซิเจนก็จะเปลี่ยนตัวกลับไปเป็นกรดแอสคอร์บิก ดังเดิม โดยเอนไซม์ DHA reductase (Kuminori และMatsumoto,1963) และการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ปริมาณเริ่มต้นสูงกว่า เพราะว่ากรดแอสคอร์บิกสามารถสลายตัวได้เร็วจึงต้องใช้ปริมาณมากเพื่อให้มีปริมาณที่มากพอจะทำปฏิกิริยากับกลุ่ม -SH Group ได้ (Tsen,1963)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อพิจารณาการประเมินผลทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบขนมปังในระดับชอบปานกลางถึงชอบมากที่สุด แม้ว่าขนมปังที่ทำโดยวิธีทุ่นเวลานี้เป็นขนมปังที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมักมาก่อน ขนาดของผลิตภัณฑ์จึงมีขนาดเล็กกว่าขนมปังที่ผ่านการหมักทั้งแบบเสตรทโดและสปันจ์โด (จากการทดลองเบื้องต้นได้ค่า 3.56 และ 3.75 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ) แต่เมื่อเติมสารปรับปรุงคุณภาพลงไปจะทำให้ปริมาตรของขนมปังเพิ่มขึ้น ปรับปรุงเนื้อสัมผัสทำให้เกิดความนุ่มเหนียวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนในช่วง 7.6 - 8.27 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี และนอกจากนั้นการทำโดขนมปังแบบทุ่นเวลาจะประหยัดเวลาทำให้สะดวกมากขึ้น สำหรับการเพิ่มปริมาณอะโซไดคาร์โบนาไมด์เพียงอย่างเดียว ที่ระดับ 15 ppm เริ่มจะทำให้โดมีความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการใช้ที่ยังน้อยอยู่ ทำให้ขนมปังมีขนาดเล็ก สำหรับกรดแอสคอร์บิกจะให้ปริมาตรที่ดีกว่าและให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มเหนียวกว่า เนื่องจากใช้ปริมาณเริ่มต้นที่มากกว่า คือ 100 ppm (Jorgesen,1939) และเมื่อใช้สารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิดร่วมกันจะทำให้เกิดผลร่วมกัน (synergist) เนื้อสัมผัสของขนมปังมีความนุ่ม ไม่หยาบ แต่จากการทดลองเมื่อเพิ่มในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้มีความเหนียวมากและเนื้อขนมปังมีความแน่น ไม่ยืดหยุ่น เมื่อเคี้ยวแล้วมีลักษณะเป็นก้อน ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่โดมีความเหนียวมากไปทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยีสต์สร้างขึ้นและแทรกเข้าไปในเซลล์อากาศแต่ไม่มีแรงดันมากพอ เนื่องจากความแข็งแรงของกลูเตนินและไกลอะดินซึ่งมีการยึดเหนี่ยวของโมเลกุลด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Kuminori และ Matsumoto ,1963)

จากการศึกษาปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสมคือ การใช้สารปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 ชนิด ร่วมกัน ในปริมาณ 15 : 100 และ 15:150 ppm แต่เนื่องจากในการทำโดขนมปังแช่เยือกแข็งจะต้องใช้ปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพเพิ่มขึ้น (Stauffer, 1992) ดังนั้นจึงเลือกอีก 2 อัตราส่วนที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบรวมสูงคือปริมาณสารอะโซไดคาร์โบนาไมด์และกรดแอสคอร์บิก 30 : 100 และ 30 : 150 ppm เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

5.2.2 ศึกษาปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสมต่อการผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็ง

ในการผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็งที่ใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟู เมื่อผ่านภาวะการแช่เยือกแข็งทำให้ยีสต์บางส่วนถูกทำลายและตายไปปริมาณหนึ่ง ซึ่งจะปลดปล่อยสารรีดิวซ์ ได้แก่ ซีสเตอีน (cysteine) กลูตาไทโอน (glutathione) ออกมา ทำให้โครงสร้างของโดเปลี่ยนแปลง พันธะไดซัลไฟด์จะแตกออกเป็นกลุ่มซัลไฟดริล นอกจากนี้สารรีดิวซ์เหล่านี้อาจติดมากับแป้งในส่วนของต้นอ่อน (germ) ซึ่งจะหลุดออกมาในระหว่างขัดสี แต่จะมีปริมาณน้อยมาก กลุ่มซัลไฟดริลนี้จะทำให้โดขาดความเหนียวและความยืดหยุ่น (Wei และ Hosney,1995; Blocksma , 1972 ; Wu และคณะ,1988 ; Jorgesen ,1939) ดังนั้นการเติมสารปรับปรุงคุณภาพในการผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็ง ควรใช้ปริมาณเพิ่มขึ้น เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชั่นที่เพียงพอกับกลุ่มซัลไฟดริล ที่ทำให้โครงสร้างของกลูเตนเกิดพันธะไดซัลไฟด์ยึดเหนี่ยวไว้ได้เหมือนเดิม (Stauffer, 1992; Graveland; Bosweld และ Marseille, 1978)

ในการทดลองนี้ใช้สารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิด ร่วมกัน อะโซไดคาร์โบนาไมด์ต่อกรดแอสคอร์บิก โดยแปรอัตราส่วนดังนี้ 15 : 100, 15 : 150, 30 : 100 และ 30 : 150 ppm เติมลงในแป้งโดยทำโดขนมปังแบบทุ่นเวลา นำไปแช่เยือกแข็งที่ -32 องศาเซลเซียส เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ 7 วัน นำมาประเมินผลจากการวัดค่าแรงดึงต่อความยืดของโด ค่าปริมาตรจำเพาะและทดสอบทางประสาทสัมผัส

ศึกษาสมบัติความคงทนต่อการยืดของโด

จากการทดลองโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยใช้หัววัดที่เป็นแรงดึง พบว่าอิทธิพลของการเติมสารปรับปรุงคุณภาพทั้ง 4 ระดับ มีผลทำให้ค่าแรงดึง ค่าความยืดและค่าแรงดึงต่อความยืด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 4.5) โดยค่าแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารทั้งสองชนิด เนื่องจากสารทั้งสองชนิดจะทำให้พันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นและเนื่องจากพันธะไดซัลไฟด์เป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมาก และมีแรงยึดเหนี่ยวสูง ดังนั้นก้อนแป้งเมื่อถูกดึงขึ้นไปจึงใช้แรงมากขึ้นและผลจากการศึกษาสมบัติดังกล่าวแสดงว่า แป้งสาลีเมื่อเติมสารปรับปรุงคุณภาพอะโซไดคาร์โบนาไมด์เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าความคงทนต่อการยืด

มากกว่าเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิก ซึ่งแสดงได้ว่ากรดแอสคอร์บิกมีประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับปรุงคุณภาพน้อยกว่า

จากการศึกษาปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับโดหุ่นเวลาคือที่ระดับ 15 : 100 , 15 : 150 , 30 : 100 และ 30 : 150 ppm เมื่อวัดค่าความคงทนต่อการยืดของโด (Resistance/Extensibility , R/E) โดยเครื่อง brabender extensigraph พบว่า แป้งสาลีเมื่อเติมสารปรับปรุงคุณภาพทั้งสองชนิดจะให้ลักษณะกราฟต่างจากแป้งสาลีที่ไม่เติมสารปรับปรุงคุณภาพ กล่าวคือ เมื่อนำก้อนแป้งผสมของแป้งสาลีมาดึงด้วยแรงเพื่อให้เกิดการยืดก้อนแป้งจะ ขาดออกอย่างช้า ๆ (รูปที่ ง 2 - 6) ดังจะเห็นได้จากช่วงกราฟที่ค่าแรงคงทนสูงแต่ค่าความยืดจะแคบลง จากสมบัติดังกล่าวนี้แป้งสาลีที่เติมสารปรับปรุงคุณภาพเมื่อนำมาผลิตขนมปังจะมีความสามารถในการยืดออก เพื่อกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหมักยีสต์ดีขึ้น และจากการทดลองของ Inoue และ Bushuk (1991) โดยการเติมสารปรับปรุงคุณภาพ คือกรดแอสคอร์บิกเพียงชนิดเดียว และเติมโปแตสเซียมโบรเมตร่วมกับกรดแอสคอร์บิกในโดที่ใช้ยีสต์เป็นตัวช่วยให้ขึ้นฟู และโดที่ไม่ใช้ยีสต์ เก็บไว้ 1 สัปดาห์ พบว่า ในโดที่ใช้ยีสต์และโดที่ไม่ใช้ยีสต์ค่า R/E ที่เติมสารปรับปรุงคุณภาพร่วมกัน จะให้ค่าความคงทนต่อการยืดสูงกว่า คือ 5.44 และ 6.33 บียู/มิลลิเมตร ส่วนการเติมกรดแอสคอร์บิก เพียงชนิดเดียวในโดที่ใช้ยีสต์และโดที่ไม่ใช้ยีสต์จะมีค่า R/E เท่ากับ 3.44 และ 4.18 บียู/มิลลิเมตร นอกจากนั้นจากค่า R/E นี้สามารถบอกได้ว่าการเติมสารปรับปรุงคุณภาพในโดที่มียีสต์จะให้ค่า R/E น้อยกว่าเนื่องจากยีสต์จะปลดปล่อยสารรีดิวซ์ออกมาในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโดที่ไม่ได้ผ่านการแช่เยือกแข็งพบว่าในโดที่ใช้ยีสต์ เมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกเพียงชนิดเดียวและเติมโปแตสเซียมโบรเมตร่วมกับกรดแอสคอร์บิก จะมีค่า R/E เท่ากับ 5.22 และ 5.79 ตามลำดับ สำหรับโดที่ไม่ใช้ยีสต์ก่อนแช่เยือกแข็ง การเติมกรดแอสคอร์บิกเพียงชนิดเดียวและเติมโปแตสเซียมโบรเมตร่วมกับกรดแอสคอร์บิก ค่า R/E เท่ากับ 5.60 และ 6.33 ซึ่งแสดงว่าการเติมโปแตสเซียมโบรเมตลงไปจะช่วยให้โดมีความแข็งแรงขึ้น ดังนั้นในขั้นตอนของงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อเติม อะโซไดคาร์โบนาไมด์ จะมีค่า R/E สูงกว่า และเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกร่วมด้วยจะให้ค่า R/E ที่สูง คล้ายกับผลของ Inoue และ Bushuk (1991) แต่การจะพิจารณาเลือกใช้ในระดับใดนั้นต้องคำนึงถึงลักษณะต่าง ๆ ภายหลังจากที่นำโดขนมปังนี้ไปอบเป็นขนมปังแล้ว เกณฑ์การตัดสินจึงควรดูในหลักการอื่น ๆ ประกอบกัน เช่น ค่าปริมาตรจำเพาะ คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ตามตารางที่ 4.6 พบว่า ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอะโซไดคาร์โบนาไมด์ ต่อกรดแอสคอร์บิก 30 :100 ppm จะมีผลให้ปริมาตรจำเพาะสูงกว่า อะโซไดคาร์โบนาไมด์ต่อกรดแอสคอร์บิก 15:100 ppm แต่ไม่แตกต่างกันกับอะโซไดคาร์โบนาไมด์ต่อกรดแอสคอร์บิก 15 : 150 ppm อาจเนื่องมาจากการเก็บโดขนมปังในสภาพแช่เยือกแข็งเพียงระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนนำมาตรวจสอบคุณภาพ เป็นผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิก 150 ppm ที่ร่วมใช้กับอะโซไดคาร์โบนาไมด์ 15 ppm ยังคงมีปริมาณมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับกลุ่มซัลไฟดริล แต่จากการศึกษาค่าแรงดึงต่อความยืดดังข้างต้น พบว่าที่อัตราส่วนของอะโซไดคาร์โบนาไมด์ต่อกรด แอสคอร์บิก 30:100 ppm จะให้ค่าแรงดึงต่อค่าความยืดสูงกว่าอะโซไดคาร์โบนาไมด์ต่อกรดแอสคอร์บิก 15:150 ppm ซึ่งสามารถนำมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินได้ว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลานาน การใช้ อะโซไดคาร์โบนาไมด์ต่อกรดแอสคอร์บิก 30:100 ppm จึงคาดว่า จะสามารถให้ผลที่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับปริมาณสารรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าเมื่อเก็บโดขนมปังแช่เยือกแข็งไว้เป็นเวลานาน

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าอัตราส่วนของ อะโซไดคาร์โบนาไมด์ต่อกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ในการทำโดเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสจากการชิมและความชอบรวมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.7 โดยเมื่อใช้อัตราส่วนของอะโซไดคาร์โบนาไมด์ต่อกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 30 : 100 ppm จะได้ค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสจากการชิมและความชอบรวมสูงที่สุด เนื่องจากผลของสารปรับปรุงคุณภาพนี้จะช่วยให้โปรตีนไกลอะดินและกลูเตนินซึ่งมีพันธะไดซัลไฟด์เกิดโครงสร้างของ กลูเตนที่แข็งแรง ทำให้สามารถเก็บกักก๊าซที่ยีสต์ผลิตขึ้น กลูเตนสามารถยืดตัวได้ดี เมื่อนำไปอบจะให้ปริมาตรที่ดีและเนื้อขนมปังนุ่มเหนียว

5.3 ศึกษาปริมาณยีสต์ที่เหมาะสมในการผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็ง

การทำโดขนมปังแช่เยือกแข็งควรใช้ยีสต์สดเพราะว่าเซลล์ยีสต์ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำแห้งทำให้โครงสร้างของเซลล์ยีสต์ไม่ถูกทำลายจะทนต่อสภาวะการแช่เยือกแข็งได้มากกว่า (Bruinsma และ Geisenchlage, 1984; Neyreneuf และ Van der Plaat, 1991) แต่ในประเทศไทยเป็นเมืองร้อนการผลิตยีสต์สดจึงไม่สะดวกนักและเก็บรักษายาก โดยทั่วไปในอุตสาหกรรม

ขนมปังใช้ยีสต์แห้งชนิดผง บรรจุในซองที่ปิดผนึกด้วยสุญญากาศ ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้จึงได้เลือกยีสต์แห้งชนิดผงมาทดแทนยีสต์สด

ปริมาณยีสต์ที่ใช้เติมในการทำโดขนมปังแช่เยือกแข็ง ควรเพิ่มขึ้นเนื่องจากในภาวะที่มีการแช่เยือกแข็งและระหว่างเก็บรักษาปริมาณยีสต์จะลดลงเนื่องจากผลึกน้ำแข็งในโดจะทิ่มแทง ให้เซลล์เสียหาย ผนังเซลล์เมมเบรนของยีสต์ทำให้เซลล์ยีสต์เกิดการบาดเจ็บและตาย นอกจากนี้เซลล์ยีสต์บางส่วนเกิดการย่อยสลายตัวเองได้ปล่อยสารต่าง ๆ เช่น กลูตาไทโอนออกมา สารจำพวกนี้จะเป็นพิษต่อเซลล์ยีสต์ด้วยกันเองทำให้เกิดการตายเพิ่มมากขึ้นอีก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ทำให้เมื่อโดขนมปังที่ผ่านการละลายน้ำแข็งแล้วนำมาพักก่อนที่จะไปอบต้องใช้เวลานาน เนื่องจากปริมาณยีสต์ที่เหลือรอดน้อยลงและยีสต์ที่บาดเจ็บจะทำให้ความสามารถในการผลิตก๊าซลดลง ขนมปังที่ได้จากโดแช่เยือกแข็งจึงมีคุณภาพลดลงเมื่อเวลาเก็บนานขึ้น (Godkin และ Cathcart,1949 ;Kline และ Sugihara,1968 ; Wolt และ D'Appolonia, 1984a.; Hino และคณะ 1987)

ในขั้นตอนนี้แปรปริมาณยีสต์เป็น 4 ระดับ คือ ปริมาณยีสต์ ร้อยละ 1.5 3.0 4.5 และ 6.0 ในการทำโดขนมปังแช่เยือกแข็ง ประเมินผลโดยวัดค่าปริมาตรจำเพาะ อัตราการเหลือรอดของยีสต์ และ ค่าปริมาณสารรีดิวซ์ทั้งหมด ดังตารางที่ 4.8

ปริมาตรจำเพาะ

ในการทดลอง เมื่อเติมยีสต์ในปริมาณร้อยละ 1.5, 3.0, 4.5 และ 6.0 ต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม เพื่อทำโดขนมปังแช่เยือกแข็ง เมื่อพิจารณาค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ได้จากโดแช่เยือกแข็งที่เก็บไว้ 7 วัน จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าค่าปริมาตรจำเพาะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่ปริมาณยีสต์ร้อยละ 3.0 และ 4.5 ทำให้ขนมปังมีค่าปริมาตรจำเพาะสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Neyreneuf และ Van der Plaat (1991)ได้ศึกษาปริมาณยีสต์ที่ใช้ในโดขนมปังฝรั่งเศสแช่เยือกแข็ง แปรปริมาณยีสต์เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 4 เป็น ร้อยละ 5 6 และ 7 ของน้ำหนักแป้ง 100 กรัม เก็บไว้ในช่วงเวลาหนึ่ง พบว่าเมื่อใช้ยีสต์ร้อยละ 6 ปริมาตรของขนมปังจะสูงที่สุด และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนด้านกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

อัตราการเหลือรอดของยีสต์และปริมาณสารรีดิวซ์

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณยีสต์ที่เหลือรอดอยู่ พบว่า ปริมาณยีสต์ในโดทั้ง 4 ระดับ จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เป็นเพราะว่าเมื่อยีสต์ตายมากขึ้นทำให้อัตราการเหลือรอดของยีสต์ลดลง ปริมาณสารรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าโดขนมปังที่ใช้ยีสต์ที่ระดับต่าง ๆ จะมีปริมาณสารรีดิวซ์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากเมื่อเติม

ปริมาณยีสต์มากโอกาสที่ยีสต์จะเหลือรอดมากกว่า แต่เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น พบว่าปริมาณยีสต์ลดลงเนื่องจากเซลล์ยีสต์ตายทำให้เกิดการออโตไลซิสและเซลล์ยีสต์ที่บาดเจ็บเนื่องจากผลึกน้ำแข็งและตายในที่สุด หรือเซลล์ยีสต์เกิดการย่อยสลายตัวเอง จะปลดปล่อยสารรีดิวซ์ออกมา ทำให้ปริมาณสารรีดิวซ์ของโดขนมปังสูงขึ้น จากการทดลองพบว่า ที่ปริมาณยีสต์ร้อยละ 6 มีร้อยละของสารรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนแช่แข็ง โดขนมปังที่ได้เมื่อนำมาพักโดจะใช้เวลานานและลักษณะขนมปังที่ไม่ขึ้นฟู ในการทดลองเบื้องต้นของขั้นตอนนี้ พบว่า ขนมปังที่ทำจากโดสด จะมีค่าปริมาตรจำเพาะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณยีสต์เพิ่มขึ้นตามลำดับและเวลาที่ใช้ในการพักโดของปริมาณยีสต์ร้อยละ 6 จะใช้เวลาน้อยที่สุด คือ 25 นาที 32 วินาที แต่ถ้าหมักไว้นานกว่านั้น (ใช้เวลาปกติ 50 นาที $\pm$ 5 นาที) เมื่อนำเข้าอบจะได้ขนมปังที่มีลักษณะปริมาตรใหญ่มาก และเปลือกจะมีสีซีด ทั้งนี้เนื่องจากยีสต์ใช้ปริมาณน้ำตาลในโดในการหมักมากเพื่อการเจริญเติบโตและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้มีน้ำตาลอยู่น้อย เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น (caramelization) และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) ในระหว่างที่อบได้น้อย (จิตธนา แจ่มเมฆและอรอนงค์ นัยวิกุล 2525) เมื่อเก็บโดขนมปังแช่เยือกแข็งที่มีปริมาณยีสต์ร้อยละ 6 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อนำมาพักโดจะใช้เวลานานเพื่อให้ขึ้นฟู และเนื้อขนมปังที่ได้หลังจากอบพบว่าเนื้อในขนมปังไม่สุก มีลักษณะแฉะและเป็นก้อน เพราะว่าความร้อนของเตาอบที่ใช้ทำให้เปลือกนอกของขนมปังสุกก่อน แต่เนื้อขนมปังภายในยังไม่สุกดีเนื่องจากโดขนมปังขึ้นฟูน้อยการนำความร้อนสู่เนื้อในจะต้องใช้เวลามากกว่าปกติจึงทำให้สุกช้า ซึ่งแสดงว่าการใช้ปริมาณยีสต์ที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดขนมปังที่ลักษณะไม่ดี

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของโดขนมปังแช่เยือกแข็งของปริมาณยีสต์ที่ระดับต่าง ๆ (ตารางที่ 4.9) พบว่าไม่มีความแตกต่างในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสจากการชิม แต่ในด้านกลิ่น เนื้อในขนมปัง และความชอบรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่อเติมยีสต์ในปริมาณที่สูงขึ้น จะเกิดกลิ่นหมักของยีสต์มาก ในขณะที่ปริมาณยีสต์ต่ำจะหอมกลิ่นยีสต์เล็กน้อย เมื่อระดับยีสต์เพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งจะชดเชยปริมาณยีสต์บางส่วนที่ตายในระหว่างการแช่เยือกแข็งได้ทำให้ยีสต์สามารถผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า (Godkin และ Cathcart,1949) ทำให้ลักษณะของเนื้อในขนมปังของระดับยีสต์ที่ร้อยละ 3 4.5 และ 6 จะดีกว่า และคะแนนด้านความชอบรวม พบว่าปริมาณยีสต์ร้อยละ 3 และ 4.5 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาในแง่เศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่าปริมาณยีสต์ที่ร้อยละ 3 จะประหยัดกว่าเมื่อต้องผลิตเป็นจำนวนมาก

จากการประเมินผลในด้านปริมาตรจำเพาะ อัตราการเหลือรอดของยีสต์และการทดสอบทางประสาทสัมผัส เป็นเกณฑ์ในการตัดสิน จึงเลือกปริมาณของยีสต์ที่ร้อยละ 3 เพื่อศึกษาในขั้นต่อไป

5.4 ศึกษาภาวะการเตรียมโดขนมปังก่อนแช่เยือกแข็ง

เนื่องจากยีสต์ที่ใช้ในการทำโดขนมปังแช่เยือกแข็งส่วนใหญ่เป็นการใช้ยีสต์สด แต่ในประเทศไทยเป็นเมืองร้อนทำให้ไม่เหมาะสมต่อการผลิตยีสต์สด และเนื่องจากประเทศไทยไม่ได้ใช้ขนมปังเป็นอาหารหลักประจำวัน ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตยีสต์สดไม่แพร่หลาย และโดยทั่วไปตามโรงงานอุตสาหกรรมหรือร้านค้าส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์แห้งในการผลิตขนมปัง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ยีสต์แห้งชนิดผง ดังที่กล่าวในข้างต้นแล้ว จากงานวิจัยของ Nakagawa และ Ouchi (1994) ได้ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพโดขนมปังแช่เยือกแข็งที่ใช้ยีสต์สด โดยใช้ความร้อนช่วยที่อุณหภูมิ 42 - 46 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 และ 20 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส 20 นาที เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้นจากปกติที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำมาปรับปรุงผลิตัณฑ์ โดยใช้ยีสต์แห้งชนิดผงมาศึกษาภาวะการเตรียมโดขนมปังโดยการบ่มโดขนมปังก่อนแช่เยือกแข็ง โดยแช่เยือกแข็งทันที พักไว้ 10 นาที ให้ความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 42 44 และ 46 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ประเมินผลค่าปริมาตรจำเพาะและอัตราการรอดชีวิตของยีสต์ ดังตารางที่ 4.10

ปริมาตรจำเพาะ

เมื่อนำขนมปังที่ผ่านภาวะการเตรียมดังกล่าวมาหาค่าปริมาตรจำเพาะ พบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยโดแช่เยือกแข็งที่ได้รับการบ่มด้วยอุณหภูมิในช่วง 42 44 และ 46 องศาเซลเซียส ให้ค่าปริมาตรจำเพาะน้อยกว่าโดที่ไม่ได้ผ่านการหมัก เพราะว่าโดที่ได้จากการแช่เยือกแข็ง เมื่อนำมาผ่านขั้นตอนการละลายและการพักโด พบว่าความสามารถในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยีสต์และความสามารถในการเก็บกักก๊าซของกลูเตนลดลง โดยพิจารณาจากปริมาตรของขนมปัง ซึ่งความสามารถในการผลิตก๊าซนั้นขึ้นอยู่กับเซลล์ยีสต์ ถ้าโดขนมปังผ่านภาวะการหมักมาก่อนนำไปแช่เยือกแข็งจะทำให้ยีสต์เกิดกิจกรรมการหมักเกิดขึ้น โดยยีสต์จะดึงน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ มีผลให้ปริมาณยีสต์ภายหลังแช่เยือกแข็งลดลง (Van der Plaat ,1988) ดังนั้นค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ได้จากโดที่ไม่ผ่านการหมักมาก่อนจึงให้ค่าปริมาตรจำเพาะสูงสุด

อัตราการรอดชีวิตของยีสต์

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองหาอัตราการรอดชีวิตของโดแช่เยือกแข็งที่เตรียมขึ้นโดยภาวะการเตรียมโดก่อนแช่เยือกแข็ง 5 วิธีพบว่าผลของอัตราการรอดชีวิตของยีสต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเตรียมโดขนมปังแช่เยือกแข็งที่ไม่ได้ผ่านการหมักจะมีปริมาณยีสต์เหลือรอดมากกว่า เนื่องจากว่ายีสต์ที่ไม่เกิดกิจกรรมก่อนแช่เยือกแข็งจะมีความคงทนต่อผลึกน้ำแข็งมากกว่า เมื่อนำมาละลายแล้วหมักให้ขึ้นฟู ยีสต์ที่เหลือรอดอยู่สูงสามารถผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่า และการให้ความร้อนกับโดที่อุณหภูมิ 42 ถึง 46 องศาเซลเซียส เป็นการเร่งให้ยีสต์เกิดการหมักได้ดีในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณของยีสต์ก่อนแช่เยือกแข็งสูงสุดและภายหลังการแช่เยือกแข็งจะลดลงเนื่องจากเซลล์ยีสต์มีกิจกรรมการหมักเกิดขึ้นก่อนการแช่เยือกแข็ง จะสอดคล้องกับ Godkin และ Cathcart (1949) ; Kline และ Sugihara (1968) ให้เหตุผลว่า เมื่อยีสต์ผ่านกระบวนการหมัก เซลล์ยีสต์จะมีกิจกรรมทำให้อ่อนแอลง ถูกทำลายได้ง่ายโดยภาวะแช่เยือกแข็งมากกว่าเซลล์ของยีสต์ที่อยู่ในภาวะการพักเซลล์ นอกจากนี้การปลดปล่อยผลิตผลอื่น ๆ ของเซลล์ยีสต์ เช่น สารระเหย เอทธานอล สารอินทรีย์ต่าง ๆ ก็จะมีผลกระทบต่อเซลล์ยีสต์ด้วยกันทำให้เซลล์ยีสต์บางส่วนมีกิจกรรมลดต่ำ ดังนั้น ในเพื่อที่จะเพิ่มความสามารถในการหมักของยีสต์ภายหลังการแช่เยือกแข็ง ขั้นตอนการผลิต เมื่อม้วนโดขนมปังเสร็จเรียบร้อยแล้วควรรีบนำไปแช่เยือกแข็งในทันที

Nakagawa และ Ouchi (1993) ศึกษาโดขนมปังที่ใช้ยีสต์สด (compressed yeast) ก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยจุ่มโดขนมปัง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิ 44 และ 46 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ มีผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูงขึ้น โดยผลของการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ยีสต์เกิดการสะสมของน้ำตาลทรีฮาโลส (trehalose) ซึ่งเป็นเสมือนเกราะป้องกันไม่ให้ยีสต์ถูกทำลายจากผลึกน้ำแข็ง (cryoprotective) แต่จากงานวิจัยนี้จะได้ผลแตกต่างอาจเป็นเพราะว่า ประการแรก ยีสต์สายพันธุ์ที่ใช้ไม่มีสมบัติของการเป็นเกราะป้องกันการทำลายจากผลึกน้ำแข็ง ซึ่ง Oda และคณะ (1986) ได้คัดเลือกสายพันธ์ของ S. cerevisiae ที่ใช้ในการทำขนมปัง จำนวน 300 สายพันธุ์ พบว่ามีเพียง 11 สายพันธุ์เท่านั้นที่สามารถปรับปรุงให้มีคุณสมบัติในการเป็น cryoprotective ได้ ซึ่งพบว่าสายพันธ์เหล่านั้นมีความเข้มข้นของปริมาณทรีฮาโลสมากกว่ายีสต์ที่ใช้ในทางการค้า (commercial baker's yeast) ทั่วไปและยีสต์เหล่านั้นจะแสดงสมบัติการเป็น cryoprotective ได้ดีเมื่ออยู่ในโดที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่นโดขนมปังหวาน ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลมากกว่าร้อยละ30 แต่จะมีคุณภาพต่ำ เป็น cryoprotective ได้น้อย ในโดขนมปังที่มีร้อยละของน้ำตาลน้อย ประการที่สองเมื่อโด

อยู่ในภาวะการหมัก (35-43 ° C) จะเป็นการเพิ่มอัตราเร็วในการหมักซึ่งเหมาะสำหรับโดสด (American Institute Baking ,1972) แต่ถ้าเป็นโดขนมปังแช่เยือกแข็งจะทำให้มีผลต่อโครงสร้างของโดในภายหลังคือโครงสร้างของกลูเตนถูกทำลาย (slackening) เนื่องจากพันธะไดซัลไฟด์ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นกลุ่มซัลไฟดริล เนื่องจากยีสต์เกิดกิจกรรมการหมักขึ้นมาก่อนที่จะถูกแช่เยือกแข็ง ทำให้ sensitive สามารถถูกทำลายได้ง่ายและเมื่อยีสต์ตายก็จะปลดปล่อยสารรีดิวซ์ออกมา (Wolt และ D'Appolonia, 1984b)

Van der Plaat (1988) พบว่าในภาวะที่มีตัวกลางเช่น โดขนมปัง จะมีองค์ประกอบของแป้งและน้ำตาลที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ เมื่อยีสต์มีกิจกรรมน้ำตาลชนิดนี้จะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ทรีฮาเลสภายในเซลล์ยีสต์เอง ดังนั้นสมบัติการเป็น cryoprotective จึงไม่เกิดขึ้น เมื่อนำไปแช่เยือกแข็งก็มีผลให้จำนวนเซลล์ยีสต์ที่ตายจะมีปริมาณมากขึ้น มีผลให้การเก็บกักก๊าซน้อยลง ทำให้เมื่อขนมปังผ่านการอบจะมีปริมาตรลดลง

จากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับโดที่เตรียมขึ้นมาก่อนแช่เยือกแข็งโดยไม่ผ่านการหมัก จึงมีผลอัตราการอยู่รอดของยีสต์สูงจะทำให้ได้ขนมปังที่ค่าปริมาตรจำเพาะสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องตาม Charles และ Van Duyne (1953) ; Kline และ Sugihara (1968); Hsu และ คณะ (1979 b)

5.5. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแช่เยือกแข็งโดขนมปัง

5.5.1 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยวิธีแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น

จากการทดลอง พบว่า การแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นที่อุณหภูมิ -32 องศาเซลเซียส หลังจากที่ม้วนโดเรียบร้อยแล้วจะได้ลักษณะเป็นรูปขอนไม้หรือทรงกระบอก มีขนาด 120 X50X30 มม^3. ห่อโดขนมปังด้วย shrink film ซึ่งเป็นฟิล์มที่ทำด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน (PE) มีสมบัติในการห่อหุ้มอาหารแต่สมบัติป้องกันการซึมผ่านของ ไอน้ำต่ำ การห่อฟิล์มเพื่อป้องกันมิให้ผิวหน้าโดเกิด freezer burn จากการทดลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งโดขนมปังจนขนาดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของโดขนมปังเท่ากับ - 18 องศาเซลเซียส เท่ากับ 87 นาที ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาที่แช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยลมเย็น ดังรูปที่ จ1 ซึ่งเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งขึ้นกับขนาด รูปร่างของผลิตภัณฑ์ การส่งผ่านความร้อนหรือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์กับสารให้ความเย็น อัตราการพัดพาของลมเย็น (Fennema 1975;ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก,2529)

5.5.2 ศึกษาการแช่เยือกแข็งโดขนมปังแบบไนโตรเจนเหลว

5.5.2.1 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งโดขนมปังโดยใช้ไนโตรเจนเหลว แปรอุณหภูมิที่ - 60 - 70 และ - 80 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งเท่ากับ 20 18 และ 17 นาที ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลาที่แช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยลมเย็น ดังรูปที่ จ 2

5.5.2.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งโดขนมปังโดยใช้ไนโตรเจนเหลวของอุณหภูมิที่ - 60 - 70 และ - 80 องศาเซลเซียส ประเมินผลการทดลองโดยพิจารณาค่าร้อยละน้ำหนักที่สูญหายในระหว่างการแช่เยือกแข็ง ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการพักโด (ดังตารางที่ 4.12) ค่าปริมาตรจำเพาะ (ดังตารางที่ 4.13) การทดสอบทางประสาทสัมผัส (ดังตารางที่ 4.14)

ค่าร้อยละน้ำหนักที่สูญหายในระหว่างการแช่เยือกแข็ง

จากการทดลอง นำโดขนมปังที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่าง ๆ หาน้ำหนักที่สูญหายในระหว่างการแช่เยือกแข็งจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ - 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คือ 0.40 เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ - 60 องศาเซลเซียส จะใช้เวลานานกว่าที่อุณหภูมิ - 70 และ - 80 องศาเซลเซียสเล็กน้อย ทำให้การพัดพาความชื้นออกจากบริเวณผิวหน้าโดขนมปังได้มากกว่าเล็กน้อย จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดเส้นรอยร้าวบาง ๆ โดยสาเหตุของการเกิดรอยร้าวเพราะว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำมากจะมีอัตราการแช่เยือกแข็งสูง น้ำในผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งเป็นผลให้ความดันภายในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น (Fennema และ Powrie,1964)

ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการพักโด และปริมาตรจำเพาะ

น้ำหนักโดที่หายไปในระหว่างการพักโดหรือขณะหมักเกิดขึ้น เนื่องจากขณะที่หมักนั้น มีการเปลี่ยนแปลงภายในโด คือน้ำตาลในโดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซและสารอื่น อาจรวมถึงการระเหยของน้ำออกจากโด โดยทั่วไปน้ำหนักโดจะลดลงร้อยละ 0.5 - 3 ของน้ำหนักโด (อรอนงค์ นัยวิกุล ,2529) ในการทดลองนี้จึงพิจารณาค่าน้ำหนักโดที่หายไปของโดขนมปังที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ - 60 - 70 และ - 80 โดยนำโดขนมปังมาผ่านการละลายน้ำแข็งและควบคุมภาวะการพักโดขนมปังที่เหมือนกัน ในเวลาที่เท่ากัน จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ - 60 และ - 70 จะมีน้ำหนักลดลงมากกว่า - 80 ทั้งนี้เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ยีสต์ และทำให้ยีสต์

ตายหรือบาดเจ็บ ประสิทธิภาพในการหมักลดลง เมื่อพิจารณาค่าปริมาตรจำเพาะ ดังตาราง ที่ 4.13 พบว่า ปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ได้จากโดขนมปังที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ - 60 - 70 และ - 80 องศาเซลเซียส มีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 3.54 3.35 และ 3.18 มิลลิลิตร/กรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ -60 และ -70 องศาเซลเซียส จะมีค่าปริมาตรจำเพาะดีกว่าที่อุณหภูมิ - 80 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับ Neyreneuf และ Delpuech (1993) พบว่าปริมาตรของขนมปัง ที่ได้จากโดขนมปังแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ - 40 , - 60 ,- 80, - 100,และ - 120 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของโดขนมปังเท่ากับ - 15 องศาเซลเซียส ปริมาตรจะลดลงตามลำดับเมื่ออุณหภูมิของการแช่เยือกแข็งต่ำลง จากการทดลองหาอัตราการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของอัตราการแช่เยือกแข็งโดยวัดจากจุดที่เริ่มเกิดผลึกน้ำแข็งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิสุดท้ายต่อเวลาที่ใช้ (Persson และ Londahl, 1993) สามารถสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ - 60 - 70 และ - 80 องศาเซลเซียส ได้ค่าอัตราการแช่เยือกแข็งดังนี้ 2.00 2.09 และ 2.35 องศาเซลเซียส/นาที ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าสอดคล้องกับ Neyreneuf และ Delpuech (1993) มีค่าอัตราการแช่เยือกแข็งที่ - 40 , - 60 ,- 80, - 100,และ - 120 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.35 0.98 1.57 1.98 2.53 องศาเซลเซียส/นาที ซึ่งในระหว่างที่แช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว จะเกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ โดยการเกิดผลึกจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดการทำลายผนังเซลล์เมมเบรนของยีสต์ทำให้เซลล์ยีสต์ตาย ในขณะที่การแช่เยือกแข็งแบบช้า ภาวะที่มีการเย็นตัวอย่างยิ่งยวด ทำให้เกิดความแตกต่างกันของความดันไอภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ของเหลวภายในเซลล์จะไหลออกมาภายนอกเซลล์และเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นที่ภายนอกเซลล์ ทำให้ภายในเซลล์เซลล์ยีสต์มีเหลืออยู่น้อยจนไม่สามารถที่จะเกิดผลึกน้ำแข็งได้ ดังนั้นเซลล์ยีสต์จึงมีอัตราการรอดชีวิตได้มากกว่า (Mazur, 1961; Hsu และคณะ, 1979 b)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลของคะแนนทางทดสอบประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.14) พบว่าอุณหภูมิที่แช่เยือกแข็งมีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ($p \leq 0.05$) โดยการขึ้นฟูของโดขนมปังแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ - 80 องศาเซลเซียส จะน้อยกว่า ส่วนบนของขนมปังจะแบน (flatted top) และขนมปังมีขนาดเล็ก สำหรับคะแนนเนื้อในขนมปังจะพบว่าขนมปังมีความแน่นไม่ยืดตัวและทำให้คะแนนเนื้อสัมผัสจากการชิมลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำเกินไป (Hoeft Bates และ Ahmed ,1973) ผลึกน้ำแข็งก่อตัวอย่างรวดเร็วเป็นผลให้เกิดการทำลายเซลล์ยีสต์ (Reid,1993 ; Neyreneuf และ Delpuech,1993 ; Hsu และคณะ,1979 b) แต่ขนมปังที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ - 60 และ - 70 องศาเซลเซียส จะมี

คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสสูงใกล้เคียงกัน เนื่องจากเนื้อขนมปังมีความยืดหยุ่นดีและเมื่อเคี้ยวจะรู้สึกนุ่มเหนียว แต่เมื่อพิจารณาเกณฑ์การตัดสินทั้งค่าปริมาตรจำเพาะและทางประสาทสัมผัส จึงเลือกอุณหภูมิที่ - 60 องศาเซลเซียส ในการศึกษาขั้นต่อไป

5.6 ศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษาต่อคุณภาพของโดขนมปังแช่เยือกแข็ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็ง และอายุการเก็บรักษา โดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็ง 2 วิธี คือใช้ไนโตรเจนเหลวที่ - 60 องศาเซลเซียส และการใช้ลมเย็น เก็บที่อุณหภูมิ -32 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์เก็บที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์

ประเมินผลโดยบันทึกเวลาที่ใช้ในการพักโด หาค่าร้อยละของค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บ ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง อัตราการเหลือรอดของยีสต์ (ตารางที่ 4.15) และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ 4.16) พบว่า

อิทธิพลของวิธีการแช่เยือกแข็งมีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บ ($p \leq 0.05$) โดยจะพบว่า การแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยไนโตรเจนเหลวให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าแบบลมเย็น (ตารางที่ 4.17) เนื่องจากการทดลองแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลว เป็นวิธีการแช่เยือกแข็งที่มีอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูงกว่า จึงมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วกว่า ทำให้สามารถระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากและใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าลมเย็น มีผลให้น้ำในเซลล์ มีการระเหยออกไปได้น้อยกว่า จึงทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักของไนโตรเจนเหลวต่ำ และเนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้ห่อด้วยฟิล์มชนิดโพลีเอทธิลีนในชั้นหนึ่งก่อนและบรรจุไว้ในถุง Nylon/adhesive /LLDPE ซึ่งสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี สมบัติของถุงชนิดนี้ ประกอบด้วยไนล่อนซึ่งมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี โดย adhesive เป็นการทาบติดกาวโดยใช้กาวที่มีสมบัติในการเคลือบสูงสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีมาก และสมบัติของ LLDPE จะช่วยในด้านของการกระแทก มีความเหนียวทนต่อการฉีกขาด (วุฒิชัย นาครักษา, 2533) จึงพบว่าถึงแม้จะเก็บผลิตภัณฑ์นานเป็นเวลา 12 สัปดาห์ การสูญเสียน้ำหนักก็ยังไม่ต่างจากเริ่มต้นเก็บ (สัปดาห์ที่ 0)

เวลาที่ใช้ในการพักโดและอัตราการเหลือรอดยีสต์

อิทธิพลร่วมของวิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บ มีผลต่อค่าอัตราการเหลือรอดของยีสต์และเวลาที่ใช้ในการพักโด ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อการเก็บรักษานานขึ้น จะใช้เวลาในการพักโดมากขึ้น เนื่องมาจากการที่เซลล์ยีสต์มีปริมาณลดลงจึงสามารถผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยลง ทำให้ต้องอาศัยระยะเวลาในการผลิตก๊าซให้ได้จำนวนมากพอที่จะดันโครงสร้างของกลูเตนให้ฟูขึ้น(Godkin และCathcart,1942 ; Neyreneuf และ Van der Plaat,1993) แต่ผลของวิธีการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและแบบไนโตรเจนเหลวของแต่ละสัปดาห์ พบว่าอัตราการอยู่รอดของยีสต์จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในสัปดาห์ที่ 0 จะพบว่าปริมาณยีสต์ที่เหลือรอดจะไม่ต่างกัน คือ การแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว มีร้อยละการอยู่รอดของยีสต์เท่ากับ 98.9 และ 98.10 และสัปดาห์ที่สอง จะแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบช้าจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ แต่ในสัปดาห์ที่ 4 6 8 ค่าอัตราการรอดชีวิตของทั้งสองวิธีเกือบจะไม่มีความแตกต่างกัน และเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้น ปรากฏว่า การแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นจะถูกทำลายเซลล์ยีสต์ได้มากกว่า เนื่องจากการตกผลึกน้ำแข็งใหม่และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็งใหม่ โดยผลึกน้ำแข็งของวิธีการแช่เยือกแข็งแบบช้าซึ่งมีขนาดใหญ่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นทะลุผ่านภายในเซลล์และทำลายเซลล์ยีสต์ (Jul,1984)

ปริมาตรจำเพาะ

อิทธิพลของวิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บต่อค่าปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่อิทธิพลของอายุการเก็บมีผลต่อค่าปริมาตรจำเพาะ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาตรจำเพาะมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บมากขึ้น เนื่องจากว่าในขณะที่เก็บรักษาผลึกน้ำแข็งรวมตัวเป็นผลึกใหญ่ขึ้นหรือเกิดการตกผลึกน้ำแข็งใหม่ ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกน้ำแข็งใหม่จึงเกิดการทำลายเซลล์ (Jul,1984) ทำให้โครงสร้างของกลูเตนถูกทำลาย ความสามารถในการกักเก็บก๊าซจึงลดลงและผลการปลดปล่อยสารรีดิวซ์ของยีสต์

จากงานวิจัยนี้พบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาตรจำเพาะ อัตราการเหลือรอดของยีสต์ และเวลาที่ใช้ในการพักโด สอดคล้องกับ Gelinasและคณะ (1993) ในระหว่างการเก็บปริมาณยีสต์และกิจกรรมของยีสต์เป็นตัวบ่งชี้ว่าจะใช้เวลาในการการพักโดมากหรือน้อย ซึ่งถ้ายีสต์มีความสามารถในการหมักดีจะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก ทำให้ใช้เวลาในการการพักโดน้อย

ค่าแรงดึงต่อความยืดของโด

ค่าแรงดึงต่อความยืดของโด (ตารางที่ 4.19) จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการวัดค่าความแรงดึงต่อความยืดของโด (ตารางที่ 4.20) พบว่า อิทธิพลของวิธีการแช่เยือกแข็งและอิทธิพลของระยะเวลาเก็บมีผลต่อโดขนมปังแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลของผลึกน้ำแข็งและการปลดปล่อยสารรีดิวซ์ของยีสต์ ทั้งสองประการทำให้ความสามารถ ในการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงและทำให้ความสามารถในการเก็บกักก๊าซลดลงเนื่องจากโครงสร้างของกลูเตนถูกทำลาย จากการวัดค่าแรงดึงพบว่าวิธีการแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจนเหลว มีค่าแรงดึงต่อค่าความยืดสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น เนื่องจากผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จะทำลายโครงสร้างของกลูเตนมากกว่า จากการทดลองพบว่าค่าแรงดึงต่อความยืดจะค่อย ๆ ลดลง เป็นผลของการเติมสารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิดคือ อะโซไดคาร์โบนาไมด์และกรดแอสคอร์บิก ซึ่งสาร 2 ชนิดนี้สามารถทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ ทำให้เปลี่ยนกลุ่มซัลไฟดริลเป็นกลุ่มไดซัลไฟด์ ซึ่งพันธะไดซัลไฟด์ทำหน้าที่เชื่อมโมเลกุลของโปรตีนกลูเตนินและไกลอะดิน ซึ่งเป็นโครงสร้างของกลูเตน Blocksma (1972) กล่าวถึงความสัมพันธ์ของกลุ่มซัลไฟดริลว่า ปริมาณซัลไฟดริลที่เกิดขึ้น ถ้าตรวจสอบในด้านกายภาพจะเห็นผลน้อยกว่าด้านเคมี ดังนั้น ผลของค่าแรงดึงต่อความยืดลดลงนั้นน่าจะมาจากการเกิดผลึกน้ำแข็งมากกว่า (ดังตารางที่ 4.21) โดยการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นจะให้ค่าแรงดึงน้อยกว่า และค่าความยืดมากกว่าแบบไนโตรเจนเหลว จากการทดลองพบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลานานขึ้นค่าแรงดึงต่อความยืดจะลดลงสอดคล้องกับการทดลองของ Inoue และ Bushuk (1991) โดยใช้แป้งสาลีชนิด CWRS พบว่าเมื่อวัดค่าความคงทนต่อความยืดของโดโดยใช้เครื่อง extensigraph พบว่าจะมีค่าลดลง เมื่อเวลาเก็บนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บรักษาเป็นเวลานานผลึกน้ำแข็งที่เกิดการตกผลึกใหม่และการปลดปล่อยสารรีดิวซ์ของยีสต์มากขึ้นทำให้โครงสร้างของกลูเตนมีความแข็งแรงลดลง

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ดังตารางที่ 4.23 - 4.25) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า อิทธิพลร่วมของเวลาและวิธีแช่เยือกแข็ง วิธีแช่เยือกแข็ง ไม่มีผลแตกต่างต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่อิทธิพลของเวลาเก็บมีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัส ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่ามีค่าลดลงตลอดการเก็บ 12 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.24) โดยผู้ทดสอบจะให้คะแนนความชอบสูงสุดของการแช่เยือกแข็งทั้งสองวิธีจนกระทั่งสัปดาห์ที่ 12 พบว่าคะแนนความชอบรวมลดลงเล็กน้อย ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้

สาเหตุว่าคะแนนความชอบรวมที่ลดลงเนื่องจากเปลือกของขนมปังเริ่มมีจุดขาว ๆ ขึ้น ทำให้ดูไม่น่ารับประทาน แต่คะแนนด้านอื่น ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จุดขาวเล็ก ๆ (blisters) ที่เกิดขึ้น Berglund และคณะ (1991) รายงานว่า เนื่องจากการยึดเหนี่ยวกันของพันธะต่าง ๆ ถูกทำลายเนื่องจากผลึกน้ำแข็ง (loss of polymer crosslink) ทำให้อนุภาคแป้ง (starch granules) แยกออกจากโครงสร้างของกลูเตน อย่างไรก็ตามสามารถพิจารณาผลทางประสาทสัมผัสแต่ละค่าได้ดังนี้

ลักษณะปรากฏ

เมื่อพิจารณาข้อมูลของการทดสอบ ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏลดลง เมื่อเวลาเก็บนานขึ้น ขนาดของขนมปังจะลดลงและในสัปดาห์ที่ 12 ส่วนบนของขนมปังที่เรียกว่า กะโหลก เริ่มมีลักษณะแบนทั้งสองวิธีการแช่เยือกแข็ง เพราะว่าการเก็บนานขึ้นผลึกน้ำแข็งจะทำลายโครงสร้างของกลูเตน ทำให้ใช้เวลาขึ้นฟูมากขึ้นและการสปริงตัวของโดในช่วงพักลดลง

เปลือก

จากการทดลองจะพบว่าคะแนนลดลงจากก่อนเก็บ (ที่ 0 สัปดาห์) จนถึง 12 สัปดาห์ โดยในช่วงแรกของก่อนที่จะเก็บ ผู้ทดสอบจะให้คะแนนสูง ขนมปังที่ได้เมื่อผ่านการอบเปลือกจะหนาเล็กน้อย และกรอบแต่เมื่อเก็บนานขึ้น (ในสัปดาห์ที่ 12) พบว่าที่เปลือกของขนมปังมีจุดขาว ๆ ขึ้นประปราย แต่ผู้ทดสอบให้คะแนนอยู่ในช่วงยอมรับได้ นอกจากนั้นการที่เก็บไว้เป็นเวลาสามเดือนพบว่า สีเปลือกยังคงสีน้ำตาลที่สดใสเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันและปฏิกิริยาเมลลาร์ด ที่ดีอยู่ทั้งสองวิธีที่แช่เยือกแข็ง จากการทดลองตลอดอายุการเก็บใน 12 สัปดาห์ ผิวเปลือกจะมีจุดขาว ๆ ขึ้น คล้ายกับการทดลองของ Charles และ Van Duyne (1953) ที่เก็บ roll dough ที่ -23.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบว่าใน 3 สัปดาห์แรก ผิวเปลือกของขนมปังเริ่มจะมีจุดขาว ๆ ขึ้น และเมื่อเก็บในช่วง 6 - 9 สัปดาห์ เริ่มเป็นดวง ๆ (mottled) ขึ้น ซึ่งอาศัยหลักการของ Burgland Shelton และ Freeman (1991) อธิบายว่า โครงสร้างของกลูเตนถูกทำลาย เส้นที่ประสานกันเป็นร่างแหจะเกิดการแยกขาดออกจากกัน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า extensive reticular pattern จากนั้นจะเกิดการแยกอนุภาคสตาร์ชออก อนุภาคภายในของสตาร์ชนั้นยังถูกทำลายโดยผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายในอนุภาคสตาร์ชนั้นเอง เพราะว่าเมื่อสตาร์ชผ่านการขัดสีแล้วนั้นจะทำให้อนุภาคสตาร์ชชำรุดซึ่งทำให้สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปได้ง่ายทำให้อนุภาคสตาร์ชเมื่อถูกแช่เยือกแข็งจะแตกหัก Varriano-Marston, Hsu, และ Mahdi (1980) รายงานว่า โครงสร้างของโดขนมปังที่ผ่าน

การแช่เยือกแข็ง เมื่อเก็บไว้นานจะเปลี่ยนแปลง ผลึกน้ำแข็งจะรวมตัวเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่จะทำลายโครงสร้างของโปรตีน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โดขนมปังแช่เยือกแข็งเปลี่ยนแปลง

กลิ่น

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อิทธิพลของระยะเวลามีผลต่อโดขนมปังแช่เยือกแข็งจะมีคะแนนลดลง เนื่องจากปริมาณเซลล์ยีสต์ที่เหลือน้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตสารเอสเทอร์ต่าง ๆ ลดลง เมื่อเก็บโดขนมปังแช่เยือกแข็งนานขึ้น แต่ในช่วงเวลา 12 สัปดาห์ นั้นพบว่าผู้ทดสอบพบว่ายังคงมีกลิ่นหอมของยีสต์อยู่

เนื้อในขนมปัง

จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยที่ผู้ทดสอบให้คะแนนเนื้อในขนมปัง พบว่าเมื่อเก็บโดขนมปังที่แช่เยือกแข็งไว้นานขึ้น คะแนนจะลดลงแต่อยู่ในช่วง 8.10 - 7.00 ซึ่งเป็นช่วงที่เนื้อในขนมปังยังคงมีความยืดหยุ่นดี ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการเติมสารปรับปรุงคุณภาพของสารสองชนิดเป็นผลให้โครงสร้างของเซลล์ยังคงดีอยู่

เนื้อสัมผัสจากการชิม

เมื่อเก็บโดขนมปังที่แช่เยือกแข็งไว้นานขึ้น พบว่า ค่าเฉลี่ยที่ผู้ทดสอบให้คะแนนเนื้อสัมผัสจากการชิมลดลง

ดังนั้นโดขนมปังที่ใช้ยีสต์ เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น ที่อุณหภูมิ - 32 องศาเซลเซียส และไนโตรเจนหลาที่อุณหภูมิ - 60 องศาเซลเซียส เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสทุกด้านจะลดลง ใน 10 สัปดาห์ แต่เมื่อประเมินความพอใจของผู้ทดสอบโดยรวมจะพบซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบให้ความพอใจในระดับชอบมากที่สุดถึงชอบปานกลาง คะแนนเฉลี่ยที่ได้อยู่ในช่วง 7.8 - 6.8 และเมื่อเก็บนานถึง 12 สัปดาห์คะแนนความชอบก็จะลดลงเล็กน้อย แต่คุณภาพของขนมปังที่ได้ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย