บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งสาลี

แป้งสาลีที่เลือกใช้ในการทดลอง เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูง ชนิด Canadian Western Red Spring (CWRS) จากการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งสาลี ที่ใช้ในการทดลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีของแป้งสาลีชนิด CWRS

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คาร์โบไฮเดรต	70.96 $\pm$ 0.27
โปรตีน	13.99 $\pm$ 0.16
ไขมัน	0.98 $\pm$ 0.08
เถ้า	0.39 $\pm$ 0.03
ความชื้น	13.76 $\pm$ 0.29

จากการทดลอง พบว่า แป้งสาลีชนิด CWRS เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.99 ซึ่งเป็นแป้งสาลีที่มีค่าโปรตีนสูงในช่วงร้อยละ 12-14 เหมาะสำหรับใช้ทำขนมปัง

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของแป้งสาลีชนิด CWRS

สมบัติทางกายภาพ	ค่าเฉลี่ย
ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	68.5
ค่าความยืดของโด (Extensibility,mm)	179
ค่าความคงทนของโด (Resistance,B.U.)	355
ค่าความคงทนต่อ ความยืดของโด (R/E)	1.98

ผลการตรวจสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของแป้งสาลี ชนิด CWRS และค่าความคงทนต่อการยืดของโด (resistance/extensibility) พบว่าแป้งสาลีมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำเท่ากับ 68.5 มีค่าความคงทนต่อแรงยืดของโด เท่ากับ 1.98 ซึ่งแป้งสาลีที่มีค่าของความคงทนต่อความยืดมากกว่า 1 เมื่อนำมาผลิตขนมปังจะมีความสามารถในการยืดออกเพื่อกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหมักของยีสต์ได้ดี

4.2 ศึกษาปริมาณระดับสารปรับปรุงคุณภาพอะโซไดคาร์โบนาไมด์ (ADA) และกรดแอสคอร์บิค (AA) ที่เหมาะสม

4.2.1 โดยแปรอัตราส่วนของสารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิด ในระดับต่างกัน คือ ADA 0 15 และ 30 ppm กับ AA 0 100 และ 150 ppm เติมลงไปในแป้งสาลีใช้วิธีทำขนมปังแบบทุ่นเวลา รายละเอียดดังภาคผนวก ข ประเมินผลทางกายภาพ โดยวัดปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ได้ภายหลังจากอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของปริมาตรจำเพาะขนมปัง เมื่อเติมสารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิดในระดับต่างกัน

ปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพ		ปริมาตรจำเพาะ
ADA	AA	(มิลลิลิตร/กรัม)
0	0	$3.00^{e} \pm 0.06$
0	100	$3.14^{fg} \pm 0.06$
0	150	$3.19^{ef} \pm 0.03$
15	0	$3.13^{g} \pm 0.05$
15	100	$3.49^{a} \pm 0.08$
15	150	$3.35^{b} \pm 0.04$
30	0	$3.21^{de} \pm 0.03$
30	100	$3.30^{c} \pm 0.04$
30	150	$3.27^{cd} \pm 0.05$

a,b,.... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เมื่อเติมสารปรับปรุงคุณภาพในปริมาณต่างกัน ปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ได้ จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ เมื่อเติม ADA หรือ AA ค่าปริมาตรจำเพาะจะเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ได้เติมสารปรับปรุงคุณภาพและการเติมสารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิดร่วมกันค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังจะดีกว่าเติมสารปรับปรุงคุณภาพเพียงชนิดเดียว จากการทดลองพบว่าเมื่อเติม ADA และ AA ที่ปริมาณเริ่มต้น 15 ppmและ 100 ppm จะมีผลทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังมีเพิ่มขึ้น เป็น 3.49 มิลลิลิตรต่อกรัม เช่นเดียวกันกับการเติม ADA และ AA ในอัตราส่วน 15:150 ppm แต่เมื่อเติมปริมาณของ ADA และ AA มากขึ้น คือ 30 :100 ppm และ 30:150 ppm จะทำให้ขนมปังมีปริมาตรลดลง

การประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสภายใน เนื้อสัมผัสจากการชิม และความชอบรวม ของขนมปังที่ทำจากโดสด แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อในขนมปัง เนื้อสัมผัสจากการชิม (แบบ scoring test 10 คะแนน) และความชอบรวม (แบบ hedonic scale 9 ระดับ) ของขนมปังที่ทำจากโดสด

ปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพ		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
ADA	AA	ลักษณะปรากฏ	ลักษณะ เนื้อขนมปัง	เนื้อสัมผัสจากการชิม	ความชอบรวม
0	0	5.83 ^{de} ± 0.81	5.74 ^{d} ± 1.02	5.07 ^{d} ± 0.72	5.67 ^{d} ± 1.06
0	100	7.06 ^{cd} ± 0.93	6.47 ^{cd} ± 0.96	6.97 ^{bc} ± 0.94	6.30 ^{cd} ± 0.88
0	150	7.13 ^{cd} ± 0.88	6.98 ^{bc} ± 1.02	6.73 ^{e} ± 0.93	6.72 ^{bc} ± 0.78
15	0	6.67 ^{d} ± 1.07	6.63 ^{c} ± 0.78	5.73 ^{cd} ± 0.99	6.37 ^{cd} ± 0.75
15	100	8.60 ^{a} ± 0.80	8.07 ^{a} ± 0.77	7.93 ^{ab} ± 0.80	7.80 ^{a} ± 0.78
15	150	8.53 ^{ab} ± 0.81	8.27 ^{a} ± 0.68	8.27 ^{a} ± 1.08	7.90 ^{a} ± 1.02
30	0	7.47 ^{cd} ± 0.92	7.07 ^{bc} ± 0.85	6.87 ^{bc} ± 1.09	6.88 ^{bc} ± 0.89
30	100	7.80 ^{abc} ± 1.09	8.20 ^{a} ± 1.05	7.80 ^{abc} ± 0.81	7.53 ^{ab} ± 0.79
30	150	7.63 ^{bcd} ± 0.71	7.93 ^{ab} ± 0.99	7.60 ^{ab} ± 1.05	7.40 ^{ab} ± 1.08

a,b .... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราส่วนของ ADA : AA ที่ใช้ในการทำโดขนมปัง แบบทุ่น เวลามีผลต่อคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านปริมาตร ลักษณะเนื้อขนมปัง เนื้อสัมผัสจากการชิม และความชอบรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้อัตราส่วนของ ADA : AA เท่ากับ 15:100 15:150 และ 30:100 ppm จะได้คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านต่าง ๆ สูงที่สุด

4.2.2 ศึกษาปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง มีขั้นตอนดังนี้

จากการทดลองข้อ 4.2.1 พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของการผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็ง โดยเติมสารปรับปรุงคุณภาพร่วมกันในอัตราส่วน 15:100 15:150 ppm แต่เมื่อโดขนมปังผ่านการแช่เยือกแข็งและภาวะการเก็บคุณภาพของโดขนมปังจะลดลง เนื่องจากปริมาณสารรีดิวซ์ที่ยีสต์ปลดปล่อยออกมามากขึ้น ในการศึกษาปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพที่ใช้ในโดขนมปังแช่เยือกแข็งจึงเพิ่มอัตราส่วนของสารปรับปรุงคุณภาพที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับอีก 2 ระดับ คือ 30:100 และ 30:150 ppm

ผลการวิเคราะห์ การวัดความคงทนต่อการยืดของโด แสดงดังตารางที่ 4.5 ผลการวัดปริมาตรจำเพาะของขนมปังจากโดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแสดงดังตารางที่ 4.6 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของแรงดึง ความยืด ค่าแรงดึงต่อความยืด ของโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็ง ที่เติมสารปรับปรุงคุณภาพ โดยเครื่องวัด texture analyzer

ADA:AA (ppm)	แรงดึง (g)	ความยืด (mm)	แรงดึงต่อความยืด (g/mm)
15:100	$80.47^{d} \pm 5.57$	$33.81^{a} \pm 1.75$	$2.38^{d} \pm 0.12$
15:150	$89.32^{c} \pm 4.81$	$32.21^{b} \pm 2.45$	$2.77^{c} \pm 0.09$
30:100	$100.57^{b} \pm 2.34$	$30.69^{bc} \pm 2.30$	$3.28^{b} \pm 0.26$
30:150	$115.10^{a} \pm 4.65$	$29.70^{c} \pm 1.19$	$3.87^{a} \pm 0.20$

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เมื่อใช้ระดับปริมาณ ADA และ AA ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ค่าแรงดึงต่อความยืดของโดจะเพิ่มขึ้นเมื่อให้ปริมาณสาร ADA และ AA เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลของค่าความคงทนต่อการยืดของโดวัดโดยเครื่องวัด Extensigraph พบว่าเมื่อเติมสารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิดร่วมกัน ในระดับที่ต่างกัน ค่าความคงทนต่อการยืดจะเพิ่มขึ้น (ดังตารางที่ ง 1 และรูปที่ ง2-ง6 ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยปริมาตรจำเพาะของโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็งที่เติมสารปรับปรุงคุณภาพในปริมาณต่างกัน

ปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพ ADA:AA (ppm)	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตร/กรัม)
15 :100	$3.25^{b} \pm 0.05$
15 :150	$3.33^{ab} \pm 0.07$
30 :100	$3.47^{a} \pm 0.10$
30 : 150	$3.39^{ab} \pm 0.08$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าปริมาตจำเพาะที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันแต่จะพบว่าขนมปังที่มีอัตราส่วน ADA:AA เท่ากับ 30:150 ppm ให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรจำเพาะสูงที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสภายใน เนื้อสัมผัสจากการชิม (แบบ scoring test 10 คะแนน) และความชอบรวม (แบบ hedonic scale 9 ระดับ) ของโดขนมปังแซ่เยือกแข็งที่เติมสารปรับปรุงคุณภาพในปริมาณต่างกัน

ปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพ ADA:AA (ppm)	ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	เนื้อขนมปัง ^{ns}	เนื้อสัมผัสจากการชิม	ความชอบรวม
15:100	7.07± 0.82	7.33± 0.83	7.17 ^{b}± 0.73	6.77 ^{b}± 0.79
15:150	7.24± 1.20	7.47± 0.68	7.30 ^{b}± 0.71	6.90 ^{b}± 0.87
30:100	7.83± 0.86	7.72± 0.94	8.17 ^{a}± 0.54	8.12 ^{a}± 0.92
30:150	7.59± 0.95	7.65± 0.71	7.42 ^{b}± 0.60	7.54 ^{ab}± 0.67

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการประเมินผลทางประสาทสัมผัส พบว่า เมื่อแปรอัตราส่วนของ ADA : AA ที่ใช้ในการทำโดที่ผ่านการแซ่เยือกแข็งในระดับต่าง ๆ จะมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสจากการชิมและความชอบรวม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้อัตราส่วนของ ADA : AA เท่ากับ 30 : 100 ppm จะได้คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสเนื้อสัมผัสจากการชิมและความชอบรวมสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนของสารปรับปรุงคุณภาพ 2 ชนิด คือ ADA และ AA ที่ 30 : 100 ppm เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

4.3 การศึกษาปริมาณยีสต์ ในระดับที่เหมาะสมต่อการแช่เยือกแข็ง โดยแปรปริมาณยีสต์เป็น 4 ระดับ คือ ร้อยละ1.5 , 3.0 , 4.5 และ 6.0 ต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม ประเมินผลโดยหาปริมาตรจำเพาะ ร้อยละการเหลือรอดของยีสต์จากการแช่เยือกแข็ง ร้อยละปริมาณสารรีดิวซ์ ที่เวลา 1 วัน และ 7 วัน หลังแช่เยือกแข็งและประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ประเมินผล ปริมาตรจำเพาะ ร้อยละการเหลือรอดของยีสต์ และร้อยละปริมาณสารรีดิวซ์ทั้งหมด (total reducing substance) แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของปริมาตรจำเพาะ ร้อยละการเหลือรอดของยีสต์ ร้อยละปริมาณสารรีดิวซ์ทั้งหมด โดยแปรปริมาณยีสต์ต่างกัน

ระดับปริมาณยีสต์ (ร้อยละ)	ค่าปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตร/กรัม)	อัตราการเหลือรอดของยีสต์ (ร้อยละ)	ปริมาณสารรีดิวซ์ทั้งหมด(ร้อยละ)
1.5	$3.18^{c}\pm0.06$	$95.32^{b}\pm1.55$	$28.14^{bc}\pm2.26$
3.0	$3.48^{a}\pm0.10$	$98.61^{a}\pm0.37$	$24.10^{c}\pm2.34$
4.5	$3.42^{ab}\pm0.08$	$98.07^{a}\pm1.33$	$32.87^{b}\pm3.01$
6.0	$3.33^{b}\pm0.08$	$96.06^{b}\pm0.84$	$47.50^{a}\pm3.89$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ปริมาณของยีสต์ที่ระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโดแช่เยือกแข็ง และค่าปริมาตรจำเพาะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) จะพบว่าปริมาตรของขนมปังที่ใช้ยีสต์ที่ปริมาณยีสต์ร้อยละ 3.0 และ 4.5 จะมีค่าปริมาตรจำเพาะมากที่สุด จากการวิเคราะห์หาสารรีดิวซ์พบว่าร้อยละของปริมาณยีสต์ที่ 3.0 จะมีค่าน้อยที่สุดและอัตราการเหลือรอดของยีสต์ที่ร้อยละ 3.0 และ 4.5 จะมีค่ามากที่สุด

ประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสภายใน กลิ่น เนื้อสัมผัสจากการชิม และความชอบรวม ของขนมปังที่ทำจากโดหลังแช่เยือกแข็ง 7 วัน โดยมีระดับปริมาณยีสต์ที่ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เปลือก เนื้อในขนมปัง เนื้อสัมผัสจากการชิม (แบบ scoring test 10 คะแนน) และความชอบรวม (แบบ hedonic scale 9 ระดับ) ของขนมปังที่ทำจากโดแช่เยือกแข็ง โดยแปรปริมาณยีสต์ต่างกัน

ปริมาณยีสต์ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ลักษณะปรากฏ ns	กลิ่น	เปลือก ns	เนื้อในขนมปัง	เนื้อสัมผัส ns จากการชิม	ความชอบรวม
1.5	7.38 ± 0.85	6.13^{b} ± 1.13	7.12± 0.68	6.38 ^{b} ± 0.45	6.59 ± 1.22	5.40^{b} ± 1.03
3.0	7.93 ± 0.70	7.53^{a} ± 0.88	7.58± 0.75	7.33 ^{a} ± 0.65	7.53 ± 0.68	7.45^{a} ± 0.59
4.5	8.09 ± 0.90	7.65^{a} ± 1.11	7.74± 0.82	7.27 ^{a} ± 0.96	7.47 ± 1.08	7.31^{ab} ±0.55
6.0	7.62 ± 1.05	6.36^{b} ± 0.89	7.33± 0.59	7.16 ^{ab} ± 0.82	7.04 ± 0.95	6.44^{b} ± 0.85

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็งโดยแปรปริมาณยีสต์เพิ่มขึ้นในระดับต่าง ๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสจากการชิม แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้าน กลิ่น เนื้อในขนมปัง และความชอบรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ศึกษาภาวะการเตรียมโดขนมปังก่อนแช่เยือกแข็ง

นำโดขนมปังที่ได้จากขั้นตอน 4.3 ผ่านขั้นตอนการเตรียมโดก่อนที่จะนำไปแช่เยือกแข็ง โดยวิธีต่าง ๆ ดังนี้ คือ 1) แช่เยือกแข็งทันที 2) พักโดไว้ 10 นาที หลังจากนั้น มานวดแล้วแช่เยือกแข็งทันที 3)ให้ความร้อนกับโดที่อุณหภูมิระหว่าง 42-46 เซลเซียส ใช้เวลา 10 นาที

ผลการวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะและผลร้อยละการเหลือรอดของยีสต์หลังการแช่เยือกแข็ง แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยปริมาตรจำเพาะและค่าร้อยละการเหลือรอดของยีสต์ ในภาวะต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมโด

ภาวะที่เตรียมโดขนมปัง	ปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตร/กรัม)	อัตราการเหลือรอดของยีสต์ (ร้อยละ)
แช่เยือกแข็งทันที	$3.43^{a} \pm 0.10$	$98.63^{a} \pm 0.32$
พักโดที่อุณหภูมิห้อง* 10 นาที	$3.35^{ab} \pm 0.09$	$97.31^{b} \pm 0.28$
42 องศาเซลเซียส 10 นาที	$3.17^{b} \pm 0.05$	$95.85^{c} \pm 0.77$
44 องศาเซลเซียส 10 นาที	$3.29^{ab} \pm 0.10$	$96.60^{bc} \pm 0.34$
46 องศาเซลเซียส 10 นาที	$2.99^{c} \pm 0.15$	$93.77^{d} \pm 0.98$

a.b.ab ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

* อุณหภูมิห้อง 24 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าโดที่นำแช่เยือกแข็งทันที จะมีค่าปริมาตรจำเพาะสูงสุด ค่าปริมาตรจำเพาะที่ได้จึงแตกต่างจากภาวะการเตรียมโดขนมปังโดยวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็ง

4.5.1 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งด้วยลมเย็น ที่อุณหภูมิ -32 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิถึงจุดกึ่งกลางของโดเท่ากับ - 18 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง แสดงดังรูปที่ 4.1 จากกราฟดังกล่าว พบว่า เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งโดจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของโดเท่ากับ - 18 องศาเซลเซียส เท่ากับ 87 นาที

4.5.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยการใช้ไนโตรเจนเหลว

- ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง

ศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งของชิ้นโดขนมปัง ด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจนเหลว แปรอุณหภูมิสำหรับการแช่เยือกแข็งเป็น 3 ระดับ คือ -60 -70 และ - 80 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของชิ้นโดขนมปังเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.2 จากกราฟดังกล่าวพบว่า เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของชิ้นโดขนมปังเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิที่แช่เยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ (นาที)
-60	20
-70	18
-80	17

จากตารางที่ 4.11 เวลาที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิ - 60 - 70 และ - 80 เท่ากับ 20 18 และ 17 นาที ตามลำดับ

- ศึกษาหาอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่เหมาะสม

ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่เยือกแข็งของโดขนมปังด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจนเหลว (cryogenic freezer) โดยนำชิ้นโดขนมปังที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -60 -70 และ -80 องศาเซลเซียส ตามข้อ 4.5.2 มาตรวจสอบทางกายภาพ โดยการหาร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการแช่เยือกแข็ง (% freezing loss) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการพักโด (% proofing loss) และค่าปริมาตรจำเพาะ ได้ผลดังตารางที่ 4.12 4.13 และประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.12 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการแช่เยือกแข็ง (% freezing loss)และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการพักโด (% proofing loss) ของการแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิที่แช่เยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการแช่เยือกแข็ง	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการพักโด
-60	$0.40^{a}\pm0.043$	$0.81^{a}\pm0.09$
-70	$0.31^{b}\pm0.041$	$0.69^{b}\pm0.06$
-80	$0.18^{c}\pm0.023$	$0.55^{c}\pm0.05$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.12 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการแช่เยือกแข็งและหลังการพักโดที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็งต่างกัน จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังจากโดที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิที่แช่เยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)	ค่าปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตร/กรัม)
-60	$3.54^{a} \pm 0.07$
-70	$3.35^{b} \pm 0.10$
-80	$3.18^{c} \pm 0.11$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจนเหลว มีผลต่อค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการแช่เยือกแข็ง ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการพักโด และค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส จะได้ผลดังตารางที่ 4.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เปลือก เนื้อในขนมปัง เนื้อสัมผัสจากการชิม (แบบ scoring test 10 คะแนน) และความชอบรวม (แบบ hedonic scale 9 ระดับ) ของขนมปังที่ทำจากโดแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น ^{ns}	เปลือก^{ns}	เนื้อสัมผัสจากการชิม	เนื้อในขนมปัง	ความชอบรวม
-60	8.2^{a} ± 0.83	7.67 ± 0.96	7.63± 0.78	8.33 ^{a} ± 0.84	7.20^{a} ± 0.91	7.93^{a} ± 0.96
-70	7.57^{ab} ± 0.71	7.48 ± 0.68	7.58± 0.84	7.93^{ab} ± 0.55	6.87 ^{a} ± 0.88	7.24^{ab} ± 0.78
-80	6.53 ^{b} ± 0.62	7.09 ± 0.72	7.35± 0.96	7.00^{b} ± 0.46	6.07^{b} ± 1.06	6.93^{b} ± 0.62

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยการใช้ไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่างกัน มีผลต่อคะแนนเฉลี่ย ทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ เนื้อขนมปัง เนื้อสัมผัสจากการชิม และความชอบรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาเบื้องต้นในการเลือกอุณหภูมิที่ช่วงต่างกัน คือ - 50, - 60, - 70, - 80, - 90 และ - 110 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ -110 และที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส ทำให้ก้อนโดแตกร้าว สำหรับที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส จะเป็นเส้นรอยร้าวบาง ๆ การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ - 50 องศาเซลเซียส ให้ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากที่ - 60 องศาเซลเซียส แต่จะใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งนานกว่า (ที่อุณหภูมิ - 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิที่กึ่งกลางของโดขนมปังเท่ากับ - 18 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 26 นาที) ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิในการทดสอบที่ - 60,- 70 และ - 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับและจากการประเมินผลการทดสอบตามหลักเกณฑ์ดังกล่าว พบว่าการแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยวิธีการใช้ไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ - 60 องศาเซลเซียส ให้ผลการประเมินทางกายภาพและการประเมินผลทางประสาทสัมผัสดีที่สุด ดังนั้นในการศึกษา ขั้นต่อไปการแช่เยือกแข็งโดขนมปังด้วยวิธีการใช้ไนโตรเจนเหลวจะเลือกใช้ที่อุณหภูมิ - 60 องศาเซลเซียส

4.6 ศึกษาผลของวิธีการแช่เยือกแข็ง และอายุการเก็บรักษาต่อคุณภาพของโดขนมปังแช่เยือกแข็ง

ทดลองแช่เยือกแข็งโดขนมปัง ใช้วิธีการแช่เยือกแข็ง 2 วิธี คือ แบบใช้ไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส และแบบลมเย็นที่อุณหภูมิ - 32 องศาเซลเซียส โดยทำตามภาวะที่เลือกได้จากขั้นต้นแล้ว เก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตรวจคุณภาพเริ่มต้น และทุก 2 สัปดาห์

ผลการวิเคราะห์ ค่าร้อยละน้ำหนักที่สูญหายในระหว่างการเก็บ (% weight loss) อัตราการเหลือรอดของยีสต์ เวลาที่ใช้ในการพักโด ค่าปริมาตรจำเพาะ ค่าแรงดึง ค่าความยืด ค่าแรงดึงต่อความยืดของโด แสดงดังตารางที่ 4.15 - 4.22 และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.23 - 4.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 ค่าน้ำหนักที่สูญหายในระหว่างการเก็บ เวลาที่ใช้ในการพักโด อัตราการเหลือรอดของยีสต์ และค่าปริมาตรจำเพาะ ของโดขนมปังหลังการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์

วิธีแช่เยือกแข็ง	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าน้ำหนักที่สูญ^{ns}หายในระหว่างเก็บ (ร้อยละ)	เวลาที่ใช้ในการพักโด (นาที)	อัตราการเหลือรอดของยีสต์ (ร้อยละ)	ค่าปริมาตรจำเพาะ ^{ns} (มิลลิลิตร/กรัม)
ลมเย็น	0	0.49± 0.03	48 ^{h}± 4.24	98.9 ^{a}± 0.47	3.64 ± 0.07
	2	0.50± 0.05	58 ^{g}±1.22	98.58 ^{a}±0.83	3.57± 0.08
	4	0.50± 0.04	68 ^{f}± 1.22	96.72^{bc}±0..86	3.48± 0.07
	6	0.52± 0.03	71 ^{f}± 2.55	96.08^{bc}± 0.63	3.42± 0.15
	8	0.49± 0.04	83 ^{d}± 3.32	95.54 ^{c}± 0.41	3.32± 0.14
	10	0.51± 0.02	98 ^{c}± 3.08	91.91 ^{f}± 0.85	3.17± 0.13
	12	0.52± 0.03	115 ^{a}± 5.61	91.51 ^{f}± 0.81	2.98± 0.08
ไนโตรเจนเหลว	0	0.32± 0.03	55 ^{g}± 2.86	98.10 ^{a}± 0.86	3.59± 0.09
	2	0.34± 0.02	65 ^{f}± 2.69	96.92 ^{b}± 0.44	3.54± 0.07
	4	0.32± 0.03	77 ^{e}± 3.08	96.08^{bc}± 0.30	3.48± 0.10
	6	0.32± 0.03	88 ^{d}± 2.45	95.14^{cd}± 0.64	3.31± 0.05
	8	0.31± 0.02	101 ^{bc}± 3.94	94.30^{de}± 0.88	3.23± 0.08
	10	0.32± 0.02	104 ^{b}± 4.77	93.82 ^{e}± 0.44	3.23± 0.12
	12	0.34± 0.03	111 ^{a}± 2.92	93.10 ^{e}± 0.59	3.05± 0.14

a,b, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตามตารางที่ 4.15 จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า อิทธิพลร่วมของวิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บ มีผลต่ออัตราการเหลือรอดของยีสต์และเวลาที่ใช้ในการพักโด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อิทธิพลร่วมของวิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บไม่มีผลต่อค่าน้ำหนักที่สูญหายของโดขนมปังและค่าปริมาตรจำเพาะ

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ดังตารางที่ 4.16) พบว่าอิทธิพลของวิธีการแช่เยือกแข็ง มีผลต่อค่าน้ำหนักที่สูญหาย และอิทธิพลของอายุการเก็บมีผลต่อค่าปริมาตรจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าน้ำหนักที่สูญหายในระหว่างการเก็บ เวลาที่ใช้ในการพักโด อัตราการเหลือรอดของยีสต์ และค่าปริมาตรจำเพาะ ของโดขนมปังหลังการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว (A) ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (B)

sov	d.f.	MS			
		น้ำหนักที่สูญหาย	เวลาที่ใช้ในการพักโด	อัตราการเหลือรอดของยีสต์	ปริมาตรจำเพาะ
วิธีแช่เยือกแข็ง (A)	1	0.464 *	1071.87	0.06	0.007
อายุการเก็บ (B)	6	0.001	3813.28	39.97	0.36 *
AB	6	0.001	108.37 *	4.72 *	0.01
Error	42	0.001	14.97	0.60	0.02

* $p \leq 0.05$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่สูญหาย (weight loss) ของโดขนมปังที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง แบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของวิธีแช่เยือกแข็ง

วิธีแช่เยือกแข็ง	ค่าน้ำหนักที่สูญหาย (%)
ลมเย็น	$0.51^{a} \pm 0.03$
ไนโตรเจนเหลว	$0.32^{b} \pm 0.02$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.17 พบว่าวิธีการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นจะมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าวิธีการแช่เยือกแข็งแบบไนโตรเจนเหลว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยปริมาตรจำเพาะของโดขนมปัง ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยลมเย็นและไนโตรเจนเหลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอายุการเก็บ

อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ยปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตร/กรัม)
0	$3.61^{a} \pm 0.09$
2	$3.55^{ab} \pm 0.05$
4	$3.48^{b} \pm 0.07$
6	$3.36^{c} \pm 0.13$
8	$3.27^{cd} \pm 0.12$
10	$3.20^{d} \pm 0.13$
12	$3.01^{e} \pm 0.08$

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.18 พบว่าค่าปริมาตรจำเพาะจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์นานขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยค่าแรงดึง ค่าความยืด และค่าแรงดึงต่อความยืดของโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์

วิธีแช่เยือกแข็ง	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าแรงดึง ns (กรัม)	ค่าความยืด ns (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึงต่อความยืด ns (กรัม/มิลลิเมตร)
ลมเย็น	0	83.67±2.89	30.71±0.9	2.73±0.16
	2	70.20±3.58	29.04±1.44	2.42±0.12
	4	53.80±3.89	23.35±1.92	2.32±0.26
	6	37.34±3.06	16.12±0.87	2.32±0.23
	8	26.23±2.47	16.68±1.53	1.61±0.16
	10	23.32±0.77	15.33±0.62	1.52±0.08
	12	19.59±1.78	13.47±0.97	1.31±0.08
ไนโตรเจนเหลว	0	91.83±2.43	30.39±0.63	3.02±0.10
	2	74.25±6.31	28.84±1.26	2.58±0.23
	4	55.03±3.89	21.40±0.95	2.57±0.11
	6	38.35±2.82	15.74±1.18	2.42±0.22
	8	27.65±2.49	15.13±1.15	1.76±0.12
	10	24.92±2.49	15.72±1.06	1.63±0.18
	12	20.65±1.34	12.96±1.17	1.54±0.13

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.19 เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าผลของอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บต่อค่าแรงดึง ค่าแรงยึดและ ค่าแรงดึงต่อค่าแรงยึด จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากตารางการวิเคราะห์ ความแปรปรวน พบว่าอิทธิพลของวิธีการแช่เยือกแข็ง อิทธิพลของอายุการเก็บมีผลต่อค่าแรงดึง ค่าแรงยึดและ ค่าแรงดึงต่อค่าแรงยึดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.20

ตาราง 4.20 การวิเคราะห์ ความแปรปรวนของค่าแรงดึง ค่าความยืด และค่าแรงดึงต่อความยืดของโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว (A) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (B)

sov	d.f.	ค่า MS		
		ค่าแรงดึง	ค่าความยืด	ค่าแรงดึงต่อความยืด
วิธีแช่เยือกแข็ง (A)	1	96.57 *	5.88 *	0.48 *
อายุการเก็บ (B)	6	5433.72 *	393.73 *	2.47 *
AB	6	14.20	1.34	0.01
Error	42	10.04	1.37	0.03

* $p \leq 0.05$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 การเปรียบเทียบค่าแรงดึง ค่าความยืด และค่าแรงดึงต่อความยืดของโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของวิธีแช่เยือกแข็ง

วิธีแช่เยือกแข็ง	ค่าแรงดึง(กรัม)	ค่าความยืด(มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึงต่อความยืด (กรัม/มิลลิเมตร)
ลมเย็น	44.89 ^{b} ± 23.63	20.67 ^{a} ± 6.67	2.03 ^{b} ± 0.53
ไนโตรเจนเหลว	47.53 ^{a} ± 25.84	20.02 ^{b} ± 6.74	2.22 ^{a} ± 0.56

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.21 พบว่า วิธีการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น จะให้ค่าแรงดึง ค่าความยืด ค่าแรงดึงต่อค่าความยืด น้อยกว่าแบบไนโตรเจนเหลว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 ค่าแรงดึง ค่าความยืด และค่าแรงดึงต่อความยืดของโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บ(สัปดาห์)	ค่าแรงดึง (กรัม)	ค่าความยืด (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึงต่อความยืด (กรัม/มิลลิเมตร)
0	$87.95^{a} \pm 5.01$	$30.55^{a} \pm 0.74$	$2.87^{a} \pm 0.20$
2	$72.22^{b} \pm 5.22$	$28.94^{b} \pm 1.26$	$2.50^{b} \pm 0.19$
4	$54.42^{c} \pm 3.66$	$22.37^{c} \pm 1.75$	$2.44^{b} \pm 0..23$
6	$37.84^{d} \pm 2.78$	$15.93^{d} \pm 0.98$	$2.37^{b} \pm 0..21$
8	$26.94^{e} \pm 2.42$	$15.91^{d} \pm 1.50$	$1.68^{c} \pm 0.15$
10	$24.12^{e} \pm 1.91$	$15.53^{d} \pm 0.83$	$1.58^{cd} \pm 0.14$
12	$20.19^{f} \pm 1.53$	$13.22^{e} \pm 1.04$	$1.42^{d} \pm 0.16$

a,b... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.22 พบว่าเมื่อเก็บโดขนมปังแช่เยือกแข็งนานขึ้น ค่าแรงดึง ค่าแรงยืด และค่าแรงดึงต่อค่าแรงยืดจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เปลือก เนื้อสัมผัสภายในเนื้อสัมผัสจากการชิม (แบบ scoring test 10 คะแนน) และความชอบรวม (แบบhedonic scale 9 ระดับ) ของขนมปังที่ทำจากโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็ง ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็น และไนโตรเจนเหลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์

วิธีแช่เยือกแข็ง	อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย ^{ns} ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
		ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	เปลือก	เนื้อขนมปัง	เนื้อสัมผัสจากการชิม	ความชอบรวม
ลมเย็น	0	8.13±0.64	8.20± 0.94	7.73± 0.70	8.07± 0.80	7.93± 0.88	7.73± 0.46
	2	7.97± 0.48	8.00± 0.65	7.50± 0.78	8.00± 0.65	7.70± 0.68	7.56± 0.42
	4	7.67± 0.72	7.73± 0.59	7.33± 0.82	7.73± 0.59	7.57± 0.96	7.27± 0.53
	6	7.60± 0.83	7.53± 0.42	7.13± 0.83	7.40± 0.89	7.43± 0.62	7.23± 0.50
	8	7.47± 0.64	7.47± 0.64	6.90± 0.71	7.30± 0.96	7.33± 0.72	7.03± 0.64
	10	7.20± 0.68	7.20± 0.41	6.60± 0.63	7.27± 0.70	7.13± 0.64	6.70± 0.68
	12	6.83± 0.70	7.07± 0.59	6.27± 0.59	6.87± 0.64	6.83± 0.74	6.43+ 0.78
ไนโตรเจนเหลว	0	8.20± 0.49	7.97± 0.55	7.80± 0.68	8.13± 0.94	7.97± 0.94	7.83± 0.59
	2	8.10± 0.66	7.90± 0.97	7.63± 0.69	8.07± 0.80	7.87± 0.83	7.70± 0.46
	4	7.87± 0.92	7.67± 0.52	7.40± 0.63	7.87± 0.74	7.80± 0.68	7.43± 0.61
	6	7.63± 0.62	7.60± 0.51	7.27± 0.80	7.60± 1.04	7.73± 0.78	7.13± 0.48
	8	7.57± 0.59	7.33± 0.49	6.97± 0.67	7.53± 0.92	7.47± 0.64	7.13± 0.30
	10	7.23± 0.80	7.27± 0.46	6.70± 0.59	7.40± 0.83	7.27± 0.59	6.87± 0.72
	12	7.13± 0.72	7.20± 0.56	6.43± 0.78	7.13± 1.13	7.10± 0.81	6.63± 0.55

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.23 เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของวิธีการแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บ พบว่าคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เปลือก เนื้อสัมผัสภายใน เนื้อสัมผัสจากการชิม (แบบ scoring test 10 คะแนน) และความชอบรวม (แบบhedonic scale 9 ระดับ) ของขนมปังที่ทำจากโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว (A) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (B)

SOV	ค่า MS					
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	เปลือก	เนื้อขนมปัง	เนื้อสัมผัสจากการชิม	ความชอบรวม
วิธีแช่เยือกแข็ง (A)	0.31	1.07	0.58	0.10	1.46	0.06
ระยะเวลาเก็บ (B) *	5.29	3.46	7.67	4.76	3.45	5.91
AB	0.16	0.33	0.01	0.25	0.09	0.17
Error	0.37	0.36	0.49	0.65	0.54	0.20

* $p \leq 0.05$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาจากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ตามตารางที่ 4.24 พบว่า อิทธิพลของอายุการเก็บ มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เปลือก เนื้อในขนมปัง เนื้อสัมผัสจากการชิม และความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บโดขนมปังที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานขึ้น คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เปลือก เนื้อสัมผัสภายใน เนื้อสัมผัสจากการชิม (แบบ scoring test 10 คะแนน) และความชอบรวม (แบบ hedonic scale 9 ระดับ) ของขนมปังที่ทำจากโดขนมปังหลังแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่ เยือกแข็งแบบลมเย็นและไนโตรเจนเหลว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอายุการเก็บ

อายุการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	เปลือก	เนื้อขนมปัง	เนื้อสัมผัสจากการชิม	ความชอบรวม
0	$8.17^{a} \pm 0.56$	$8.10^{a} \pm 0.76$	$7.95^{a} \pm 0.74$	$8.09^{a} \pm 0.75$	$7.76^{a} \pm 0.68$	$7.78^{a} \pm 0.52$
2	$8.03^{ab} \pm 0.57$	$8.03^{a} \pm 0.72$	$7.78^{ab} \pm 0.78$	$7.84^{a} \pm 0.59$	$7.57^{ab} \pm 0.73$	$7.63^{a} \pm 0.43$
4	$7.77^{bc} \pm 0.82$	$7.80^{ab} \pm 0.66$	$7.68^{ab} \pm 0.83$	$7.80^{a} \pm 0.66$	$7.37^{b} \pm 0.72$	$7.35^{b} \pm 0.56$
6	$7.63^{c} \pm 0.72$	$7.50^{bc} \pm 0.96$	$7.58^{abc} \pm 0.71$	$7.65^{ab} \pm 0.47$	$7.20^{bc} \pm 0.81$	$7.18^{bc} \pm 0.48$
8	$7.52^{cd} \pm 0.61$	$7.42^{bcd} \pm 0.93$	$7.40^{bc} \pm 0.67$	$7.35^{bc} \pm 0.56$	$6.93^{cd} \pm 0.68$	$7.08^{c} \pm 0.49$
10	$7.23^{de} \pm 0.73$	$7.33^{cd} \pm 0.76$	$7.20^{cd} \pm 0.61$	$7.26^{c} \pm 0.45$	$6.65^{de} \pm 0.60$	$6.78^{d} \pm 0.68$
12	$6.98^{e} \pm 0.71$	$7.00^{d} \pm 0.91$	$6.98^{d} \pm 0.77$	$7.13^{c} \pm 0.58$	$6.35^{e} \pm 0.70$	$6.53^{e} + 0.67$

a, ab.. ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 4.25 จะพบว่าโดขนมปังแช่เยือกแข็งที่เวลา 8 สัปดาห์ ยังคงให้ลักษณะปรากฏ กลิ่น เปลือก เนื้อในขนมปัง เนื้อสัมผัสจากการชิม และความชอบรวม ใกล้เคียงกัน ในสัปดาห์ที่ 10 คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสในด้านต่าง ๆ จะลดลงและในสัปดาห์ที่ 12 จะมีคะแนนต่ำสุด