บทที่ 4

ผลของการวิจัย

4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง

4.1.1 สมบัติทางเคมี

4.1.1.1 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณอะไมโลส

องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวสีนิลที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง แสดงดังตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า แป้งข้าวสีนิลมีปริมาณไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า แต่มีปริมาณน้ำอิสระ โปรตีน และอะไมโลสน้อยกว่าแป้งสาลีชนิดทำขนมปังอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณความชื้นและเส้นใย พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.1)

อริสรา และอรอุมา (2550) รายงานว่า ปริมาณความชื้น โปรตีน และเส้นใยของแป้งข้าวหอมนิลมีค่าเท่ากับร้อยละ 8.18, 10.27 และ 1.18 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้ในแป้งข้าวสีนิล ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสีนิลเป็นข้าวที่ได้รับการคัดเลือกพันธุ์มาจากข้าวหอมมะลิ 105 กับข้าวเจ้าหอมนิล จึงมีความเป็นไปได้ที่องค์ประกอบทางเคมีบางส่วนของแป้งข้าวสีนิลจะมีค่าใกล้เคียงกับแป้งข้าวหอมนิลที่เป็นพันธุ์ต้นแบบ (ชูขวัญ และคณะ, 2550) อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันในแป้งข้าวหอมนิล (ร้อยละ 7.25) จะมีค่ามากกว่าและคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 69.71) จะมีค่าน้อยกว่าอย่างค่อนข้างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวสีนิล (อริสรา และอรอุมา, 2550)

แป้งข้าวสีนิลที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นและอะไมโลส เท่ากับร้อยละ 12.94 และ 16.01 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวที่กำหนดว่าต้องมีความชื้นไม่มากกว่าร้อยละ 13 และมีอะไมโลสไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 สำหรับปริมาณเถ้าของแป้งข้าวสีนิลที่ผลิตได้ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.88 ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย โดยค่าที่มาตรฐานกำหนด คือ ไม่ควรเกินร้อยละ 0.50 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) เนื่องจากแป้งข้าวสีนิลที่ผลิตเป็นการผลิตแบบโม่แห้ง จึงตรวจพบปริมาณเถ้ามากกว่าที่กำหนดในมาตรฐาน ประกอบกับการผลิตแป้งข้าวเจ้าทางการค้านิยมใช้การโม่เปียก ซึ่งให้แป้งที่ละเอียดและสะอาดกว่า จึงตรวจพบปริมาณเถ้าได้น้อยกว่า อย่างไรก็ดีการโม่ด้วยวิธีโม่แห้งนั้นแป้งที่โม่ได้จะยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการหลงเหลืออยู่มากกว่าการโม่เปียก (งามชื่น, 2537)

ปริมาณโปรตีน และอะไมโลสของแป้งข้าวสีนิลที่วิเคราะห์ได้ มีค่าสอดคล้องกับรายงานของบริษัท สีนิลไรซ์ จำกัด (2550) ที่ระบุว่า ข้าวสีนิลมีโปรตีนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 10-12.5 และมีอะไมโลสประมาณร้อยละ16 ซึ่งจัดว่ามีปริมาณอะไมโลสต่ำ (Juliano,1984) ส่วนปริมาณอะไมโลสในแป้งสาลี พบว่า มีค่าเท่ากับร้อยละ 30.57 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของกล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2543) ที่ระบุว่า แป้งสาลีมีปริมาณอะไมโลสประมาณร้อยละ 28 จัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง สำหรับปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของแป้งข้าวสีนิลที่มีค่าน้อยกว่าแป้งสาลีชนิดทำขนมปังอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.1) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของพรวีนัส (2544) ที่รายงานว่า แป้งข้าวหอมมะลิที่ผลิตได้มีปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง ซึ่งมีค่า a_w เท่ากับ 0.254 และ 0.548 ตามลำดับ

4.1.1.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% scavenging effect)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธี DPPH free radical scavenging activity test และรายงานผลเป็นค่า EC_{50} หรือค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (จับกับอนุมูลอิสระของ DPPH) ได้ร้อยละ 50 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

เมื่อพิจารณาในช่วงระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่ทำการศึกษา คือ 0-300 mg/ml พบว่า แป้งข้าวสีนิลมีค่า EC_{50} เท่ากับ 60.32 mg/ml ในขณะที่แป้งสาลีชนิดทำขนมปังจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ต่ำกว่าร้อยละ 50 มาก จึงไม่สามารถคำนวณค่า EC_{50} ของแป้งสาลีได้ (ตารางที่ 4.1) อย่างไรก็ดีเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% scavenging effect) ของแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีดังภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าแป้งข้าวสีนิลมีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระของ DPPH ได้ดีกว่าแป้งสาลีมาก โดยแป้งข้าวสีนิลจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง โดยเฉลี่ยประมาณ 2.6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบในช่วงระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่ศึกษา (0-300 mg/ml) กล่าวคือ จะต้องใช้แป้งสาลีที่ความเข้มข้นสูงกว่าแป้งข้าวสีนิลมาก เพื่อต้านอนุมูลอิสระให้ได้ในระดับที่เท่ากัน การที่แป้งข้าวสีนิลมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ามาก เนื่องจากแป้งข้าวสีนิลมีสีม่วง ซึ่งสีที่เห็นเป็นสารประกอบกลุ่ม flavonoids ที่เรียกว่า สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) และสารโปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) ซึ่งสารดังกล่าวทั้งหมดจะทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระได้ (Moyer และคณะ, 2002)

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง

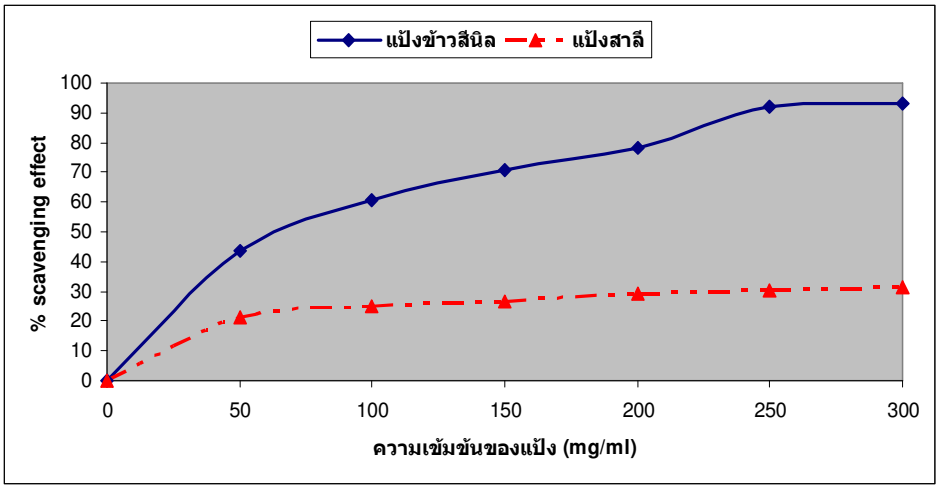
สมบัติทางเคมี	ชนิดแป้ง	
	แป้งข้าวสีนิล	แป้งสาลี
ความชื้น (ร้อยละ)* [ns]	12.94 ± 0.15	13.00 ± 0.07
โปรตีน (ร้อยละ)*	10.14 ± 0.21 [b]	17.73 ± 0.95 [a]
ไขมัน (ร้อยละ)*	0.66 ± 0.06 [a]	0.39 ± 0.13 [b]
เถ้า (ร้อยละ)*	0.88 ± 0.01 [a]	0.60 ± 0.00 [b]
เส้นใย (ร้อยละ)* [ns]	0.15 ± 0.06	0.09 ± 0.07
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)*	75.20 ± 0.20 [a]	68.18 ± 0.98 [b]
น้ำอิสระ (a_w)	0.57 ± 0.00 [b]	0.64 ± 0.00 [a]
อะไมโลส (ร้อยละ)*	16.01 ± 0.22 [b]	30.57 ± 0.14 [a]
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ, EC_{50} (mg/ml)	60.32 ± 0.58	- **

[a, b] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

* ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของแป้ง (dry basis)

** - คือ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่ถึงร้อยละ 50 (EC_{50}) ในช่วงระดับความเข้มข้น (mg/ml) ของตัวอย่างที่ศึกษา



ภาพที่ 4.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% scavenging effect) ของแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลี

4.1.2 สมบัติทางกายภาพ

4.1.2.1 รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้ง

จากการศึกษารูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งข้าวสีนิลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา ใช้กำลังขยาย 40 เท่า เปรียบเทียบกับแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง พบว่า รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งข้าวสีนิลมีความแตกต่างไปจากเม็ดแป้งข้าวสาลีอย่างชัดเจน โดยเม็ดแป้งข้าวสีนิลจะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมๆ และมีขนาดเล็กกว่า ขณะที่เม็ดแป้งข้าวสาลีจะมีรูปร่างกลมหรือรี และเม็ดแป้งมีขนาดเล็กและใหญ่ปะปนกันอยู่ (ภาพที่ 4.2) เม็ดแป้งข้าวสีนิลมีขนาด 2-10 ไมครอน ส่วนเม็ดแป้งสาลีมีขนาดเล็กจนถึงใหญ่ ตั้งแต่ 10-35 ไมครอน (ตารางที่ 4.2) รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งข้าวสีนิลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของสายสนม (2537) ที่รายงานว่า เม็ดแป้งข้าวมีขนาดเล็กประมาณ 2-9 ไมครอน มีรูปทรงเป็นเหลี่ยมกระจายตัวอยู่ และบางส่วนจับตัวกันเป็นกลุ่ม ส่วนรูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งสาลีที่ได้ มีความสอดคล้องกับรายงานของกล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2543) ที่รายงานว่า เม็ดแป้งสาลีจะมีรูปร่างกลมหรือรี มีทั้งขนาดใหญ่และเล็กปนกันอยู่ โดยเม็ดแป้งขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 10-45 ไมครอน ส่วนเม็ดแป้งขนาดเล็กจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.5-10 ไมครอน

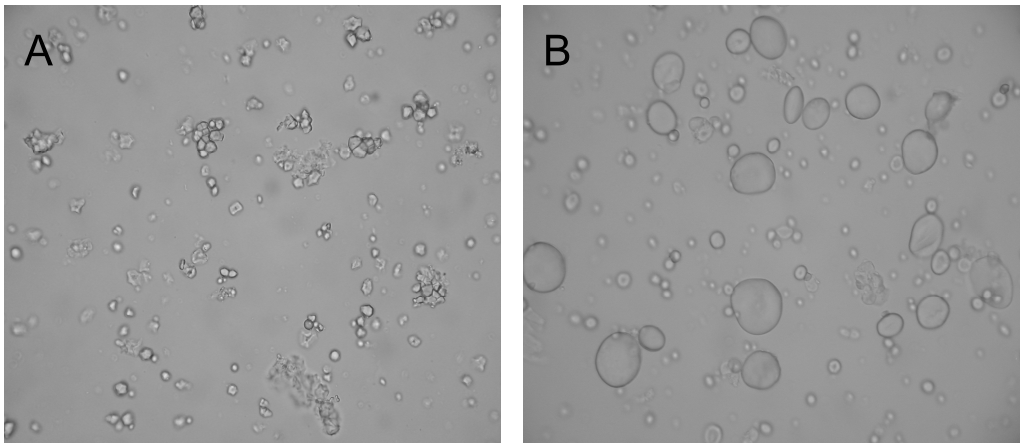
4.1.2.2 กำลังการพองตัวและการละลาย

กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวสีนิล เปรียบเทียบกับแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง แสดงดังตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า แป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีมีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) การพองตัวของเม็ดแป้งจะส่งผลให้ความหนืดและความใสของแป้งเปียก (paste) มีค่าเพิ่มมากขึ้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543) อย่างไรก็ดี ความสามารถในการละลายของแป้งข้าวสีนิล จะมีค่าต่ำกว่าแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและการละลายของแป้ง คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการดัดแปรแป้งทางเคมี รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543)

กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2543) รายงานว่า กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวสาลีมีค่าใกล้เคียงกัน คือ เท่ากับ 19 และ 21 ส่วนการละลายนั้น พบว่า สตาร์ชข้าวเจ้าจะมีความสามารถในการละลายที่ค่อนข้างต่ำกว่าสตาร์ชข้าวสาลี คือ มีค่าการละลายเท่ากับร้อยละ 18 และ 41 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยนี้ที่พบว่าความสามารถในการละลายของแป้งข้าวสีนิลจะน้อยกว่าแป้งสาลีประมาณ 2 เท่า

4.1.2.3 **ค่าสี** (L*, a* และ b*)

เมื่อวัดค่าสีของแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง ด้วยเครื่องวัดค่าสี ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 ค่าสีของแป้งสาลีที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของพรวีนัส (2544) ที่วัดค่าสีในระบบ L*, a* และ b* ของแป้งสาลีชนิดทำขนมปังได้เท่ากับ 93.3, -0.7 และ 8.2 ตามลำดับ แป้งสีนิลมีค่าความสว่าง (ค่าสี L*) และค่าสีเหลือง (b*) น้อยกว่าแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่าสีแดง (a*) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แป้งข้าวสีนิลมีสีม่วงจากรงควัตถุแอนโทไซยานิน (anthocyanin) และโปรแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) ทำให้มีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) น้อยกว่าแป้งสาลีที่มีสีขาวออกเหลืองเล็กน้อย และจากการที่แป้งข้าวสีนิลมีสีม่วงจึงทำให้มีค่าสีแดง (a*) สูงกว่าแป้งสาลี



ภาพที่ 4.2 รูปร่างของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา (40x) : (A) แป้งข้าวสีนิล (B) แป้งสาลี

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง

สมบัติทางกายภาพ	ชนิดแป้ง	
	แป้งข้าวสีนิล	แป้งสาลี
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	2-10	10-35
กำลังการพองตัว [ns]	10.45 $\pm$ 0.04	9.94 $\pm$ 0.25
การละลาย (ร้อยละ)*	11.41 $\pm$ 0.26 [b]	22.78 $\pm$ 2.07 [a]
ค่าสี L*	75.41 $\pm$ 0.23 [b]	94.38 $\pm$ 0.38 [a]
ค่าสี a*	5.01 $\pm$ 0.01 [a]	-0.07 $\pm$ 0.03 [b]
ค่าสี b*	4.41 $\pm$ 0.08 [b]	6.74 $\pm$ 0.15 [a]

[a, b] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

* ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของแป้ง (dry basis)

4.1.2.4 สมบัติด้านความหนืดของแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวสีนิลต่อแป้งสาลี

สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ของแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) แสดงดังตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีที่ทุกอัตราส่วนมีค่า pasting temperature ที่สูงกว่าแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ แป้งผสมจะต้องได้รับความร้อนในระดับที่สูงกว่าแป้งสาลีล้วนเพื่อที่จะทำให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำ พองตัว และเริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะแป้งข้าวสีนิลมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าแป้งสาลี (ตารางที่ 4.1) จึงดูดซับน้ำได้น้อยกว่า (Hung และคณะ, 2007) นอกจากนี้แป้งข้าวสีนิลที่ใช้เป็นแป้งที่โม่โดยใช้เครื่องมือในระดับห้องปฏิบัติการ ในขณะที่แป้งสาลีที่ใช้เป็นแป้งที่ผลิตขายในเชิงพาณิชย์ซึ่งใช้เครื่องโม่ในระดับอุตสาหกรรม ทำให้ขนาดอนุภาค (particle size) ของแป้งสาลีที่โม่ได้มีความละเอียดมากกว่าแป้งข้าวสีนิล การโม่ข้าวเจ้าให้เป็นแป้งที่มีขนาดเล็กสม่ำเสมอนั้นทำได้ยาก เนื่องจากข้าวเจ้าที่ใช้เป็นข้าวสารจึงมีความแข็งและแกร่ง (Nishita และ Bean, 1979) การที่แป้งสาลีมีความละเอียดกว่าแป้งข้าวสีนิลที่ผลิตได้ จึงส่งผลให้สามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าและเริ่มเกิดความหนืดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิการเกิดแป้งเปียกมีความสำคัญในทางการค้า อุณหภูมิการเกิดแป้งเปียกที่สูง จะหมายถึงปริมาณความร้อนที่ต้องใช้มากขึ้นเพื่อทำให้แป้งสุก ทำให้ผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานมากขึ้น และยังเพิ่มความยุ่งยากซับซ้อนที่อาจมีได้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้น เช่น ความเสถียรของเอนไซม์ เป็นต้น (จารนัย, 2537) และ

เมื่อเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ สารละลายของแป้งผสมจะมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ที่ต่ำกว่าสารละลายแป้งสาลีล้วน ซึ่งยืนยันถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งข้าวสีนิลที่ต่ำกว่าแป้งสาลี

ตารางที่ 4.3 สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ของแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีชนิดทำขนมปังในอัตราส่วนต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง RVA

อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	pasting temperature (°C)	ความหนืด (RVU)			
		peak viscosity	breakdown	final viscosity	setback
0:100	70.7 ± 0.5 ^{c}	159.3 ± 0.1 ^{a}	54.3 ± 2.0 ^{b}	183.8 ± 0.5 ^{e}	24.6± 0.3 ^{f}
10:90	85.4 ± 0.1 ^{a}	151.7 ± 0.9 ^{b}	59.1 ± 1.0 ^{a}	183.5 ± 1.8 ^{e}	31.8 ± 1.1 ^{e}
20:80	85.5 ± 0.0 ^{a}	145.1 ± 0.7 ^{d}	53.7 ± 0.2 ^{b}	190.1 ± 1.0 ^{d}	44.9 ± 0.4 ^{d}
30:70	84.4 ± 0.7 ^{ab}	144.6 ± 1.1 ^{d}	52.9 ± 0.8 ^{b}	202.1 ± 1.6 ^{c}	57.6 ± 1.7 ^{c}
40:60	83.6 ± 0.7 ^{ab}	148.5 ± 0.4 ^{c}	59.0 ± 1.1 ^{a}	212.3 ± 0.7 ^{b}	63.8 ± 0.8 ^{b}
50:50	82.7 ± 1.0 ^{b}	153.1 ± 1.2 ^{b}	61.2 ± 0.5 ^{a}	227.4 ± 1.9 ^{a}	74.3 ± 0.8 ^{a}

$^{a, b, c, \ldots}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งต่อไป พร้อมกับมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ความหนืดของสารละลายแป้งลดลง (breakdown) เนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดแป้งแตกออก การที่ค่า breakdown viscosity ของแป้งผสมมีแนวโน้มที่จะมีค่ามากกว่าแป้งสาลีล้วน (ตารางที่ 4.3) แสดงให้เห็นว่าแป้งผสมมีความคงตัวต่อความร้อนและการกวนผสมน้อยกว่าแป้งสาลีล้วน ต่อมาเมื่อลดอุณหภูมิลง ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้งหรือที่เรียกว่าเกิด retrogradation ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงในรูปของค่า final viscosity และ setback viscosity ซึ่งจะพบว่า แป้งผสมมีค่า final viscosity และ setback viscosity ที่สูงกว่าแป้งสาลีล้วน นั่นคือแป้งผสมเกิดการคืนตัวมากกว่าแป้งสาลีล้วน ซึ่งการคืนตัวของแป้งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยแป้งที่มีการคืนตัวน้อยกว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่นุ่มกว่า แต่แป้งที่มีการคืนตัวมากกว่าโดยเฉพาะในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้งและร่วนกว่า (จารนัย, 2537; กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543; วรรณา, 2549) นอกจากนี้จะเห็นว่าค่า final viscosity และ setback viscosity มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากตามสัดส่วนของแป้งข้าวสีนิลที่เพิ่มขึ้น นั่นคือแป้งมีการคืนตัวมากขึ้นเมื่อ

เพิ่มสัดส่วนแป้งข้าวสีนิล จากผลการวิจัยข้างต้นจึงสามารถคาดการณ์ได้ว่า ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้น จะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากการคืนตัวของแป้งที่เรียกว่า staling ในระหว่างการเก็บรักษาได้เร็วกว่า ทำให้ขนมปังมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและร่วน

4.2 การศึกษาคุณภาพของโดและขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

4.2.1 การศึกษาคุณภาพของโด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของโดที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่อง Farinograph และ Extensograph และค่าความเหนียวของโดซึ่งวัดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

4.2.1.1 คุณภาพของโดที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Farinograph

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าการดูดซับน้ำ (water absorption) ของโดแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีที่ทุกอัตราส่วน จะมีค่าน้อยกว่าโดที่ผลิตจากแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแป้งข้าวสีนิลมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าแป้งสาลี (ตารางที่ 4.1) จึงดูดซับน้ำได้น้อยกว่า (Hung และคณะ, 2007) จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า การผลิตขนมปังจากแป้งข้าวสีนิลจะต้องใช้ปริมาณน้ำลดลงเมื่อเทียบกับการผลิตขนมปังจากแป้งสาลีล้วน การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนในอัตราส่วนที่มากขึ้นจะทำให้ค่า arrival time, peak time, departure time และ stability time ของโดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และทำให้ค่า mixing tolerance index (MTI) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับโดที่ใช้แป้งสาลีล้วน (ตารางที่ 4.4) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้โดที่ผลิตได้อ่อนแอลงและมีความคงทนในขณะผสมน้อยลงเมื่อเทียบกับโดที่ใช้แป้งสาลีล้วน ทั้งนี้เนื่องจากในแป้งข้าวสีนิลไม่มีกลูเตน การใช้แป้งข้าวสีนิลในโดขนมปังจะไปเจือจางโปรตีนกลูเตนที่มีอยู่ในโด ทำให้โดที่ผลิตได้มีความแข็งแรงน้อยลง และมีความคงทนต่อการผสมลดลง (เนื้อทอง และคณะ, 2544)

ตารางที่ 4.4 คุณภาพของโดที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Farinograph

อัตราส่วนระหว่าง แป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	water absorption (ร้อยละ)	เวลา (นาที)				MTI (FU)
		arrival time	peak time	departure time	stability time	
0:100	65.1 $\pm$ 0.3 [a]	1.9 $\pm$ 0.5 [a]	15.7 $\pm$ 2.0 [a]	21.1 $\pm$ 1.3 [a]	19.2 $\pm$ 0.8 [a]	29.7 $\pm$ 2.1 [b]
10:90	64.0 $\pm$ 0.2 [b]	1.4 $\pm$ 0.1 [b]	2.5 $\pm$ 0.2 [b]	18.0 $\pm$ 0.3 [b]	16.6 $\pm$ 0.2 [b]	30.7 $\pm$ 4.0 [b]
20:80	63.6 $\pm$ 0.1 [b]	1.2 $\pm$ 0.1 [b]	2.0 $\pm$ 0.3 [b]	16.3 $\pm$ 1.3 [c]	15.1 $\pm$ 1.3 [c]	30.7 $\pm$ 7.6 [b]
30:70	63.1 $\pm$ 0.1 [c]	1.2 $\pm$ 0.1 [b]	2.0 $\pm$ 0.1 [b]	13.9 $\pm$ 0.5 [d]	12.7 $\pm$ 0.5 [d]	44.3 $\pm$ 5.5 [a]
40:60	62.5 $\pm$ 0.1 [d]	1.0 $\pm$ 0.1 [b]	1.6 $\pm$ 0.1 [b]	3.5 $\pm$ 0.7 [e]	2.5 $\pm$ 0.7 [e]	47.7 $\pm$ 5.1 [a]
50:50	62.0 $\pm$ 0.0 [d]	1.1 $\pm$ 0.1 [b]	1.8 $\pm$ 0.1 [b]	2.8 $\pm$ 0.2 [e]	1.7 $\pm$ 0.1 [e]	49.0 $\pm$ 4.6 [a]

[a, b, c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.1.2 **คุณภาพของโดที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง** Extensograph

จากตารางที่ 4.5 พบว่า การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานต่อการยืดขยายของโด (resistance) มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ การที่โดมีค่าความต้านทานต่อการยืดขยายของโดน้อยลงมากๆ ถือว่าไม่เหมาะสมสำหรับการทำขนมปัง เนื่องจากการที่โดยืดขยายได้มากจะทำให้เซลล์อากาศในโดไม่แข็งแรง และมีโอกาสที่ฟองอากาศในโดจะไหลมารวมกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการสูญเสียไปได้ง่ายขณะอบ ขนมปังที่ได้จะมีปริมาตรต่ำ อาจยุบตัวหลังอบ หรือได้ขนมปังที่มีเซลล์เปิดมากซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ อย่างไรก็ดีค่าความต้านทานต่อการยืดขยายของโดที่มากเกินไปก็ไม่ดีเช่นกัน เพราะโดจะแข็งมากเกินไปจึงขยายตัวได้ยากขณะอบ ทำให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำเช่นกัน ดังนั้นโดที่ดีควรจะมีค่าความต้านทานต่อการยืดขยายของโดที่เหมาะสม (Pyler, 1988)

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการยืดขยายของโด (extensibility) จะเห็นว่า การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการยืดขยายของโดมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เช่นเดียวกันกับค่าความต้านทานต่อการยืดขยายของโด (resistance) เนื่องจากการทดแทนแป้งสาลีในโดด้วยแป้งข้าวสีนิลในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้โปรตีนกลูเตนในโดมีคุณภาพลดลง ส่งผลให้โดมีค่าความสามารถในการยืดขยายลดลงไปด้วย (Hung และคณะ, 2007) การที่ค่าความสามารถในการยืดขยายของโดลดลงมากๆ จะทำให้โดเก็บก๊าซได้น้อยในขณะหมัก ทำให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำ โดที่ดีควรจะมีค่าความสามารถในการยืดขยายของโด (extensibility) ที่เหมาะสมเช่นเดียวกัน (Pyler, 1988)

ในส่วนของค่า ratio number (ตารางที่ 4.5) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากสัดส่วนของค่า resistance ต่อค่า extensibility พบว่า ค่า ratio number ณ เวลา 45 นาที ของทั้งโดที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่ทุกอัตราส่วนและโดที่ใช้แป้งสาลีล้วน มีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ดีค่า ratio number ณ เวลา 90 และ 135 นาที พบว่า จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อโดมีความสามารถในการยืดขยาย (extensibility) เท่ากันแล้ว การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้โดที่ผลิตได้มีความต้านทานต่อการยืดขยาย (resistance) เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย กล่าวคือ โดที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้นจะแข็งและขยายตัวได้ยากขณะอบ ทำให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำ

ตารางที่ 4.5 คุณภาพของโดที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Extensograph

อัตราส่วนระหว่าง	Resistance (R) (EU)			extensibility (E) (mm)			ratio number (R/E) (EU/mm)		
แป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	45 นาที	90 นาที	135 นาที	45 นาที	90 นาที	135 นาที	45 นาที [ns]	90 นาที	135 นาที
0:100	681 ± 34 [a]	990 ± 2 [a]	981 ± 9 [a]	147 ± 5 [a]	117 ± 4 [a]	110 ± 14 [a]	4.6 ± 0.3	8.5 ± 0.3 [d]	9.0 ± 1.2 [d]
10:90	622 ± 32 [ab]	993 ± 3 [a]	988 ± 4 [a]	143 ± 5 [a]	103 ± 5 [b]	99 ± 5 [ab]	4.4 ± 0.3	9.7 ± 0.5 [c]	10.1 ± 0.5 [cd]
20:80	558 ± 58 [bc]	988 ± 12 [a]	991 ± 7 [a]	137 ± 7 [ab]	98 ± 6 [b]	85 ± 2 [bc]	4.2 ± 0.6	10.1 ± 0.6 [c]	11.8 ± 0.3 [b]
30:70	527 ± 62 [bc]	991 ± 8 [a]	994 ± 4 [a]	125 ± 12 [b]	89 ± 1 [c]	87 ± 11 [bc]	4.3 ± 0.8	11.2 ± 0.2 [b]	11.6 ± 1.3 [bc]
40:60	485 ± 24 [c]	834 ± 27 [c]	800 ± 43 [c]	109 ± 4 [c]	85 ± 3 [c]	76 ± 1 [cd]	4.5 ± 0.4	9.8 ± 0.2 [c]	10.6 ± 0.9 [cd]
50:50	365 ± 33 [d]	871 ± 20 [b]	900 ± 25 [b]	77 ± 4 [d]	70 ± 1 [d]	68 ± 2 [d]	4.7 ± 0.6	12.6 ± 0.1 [a]	13.3 ± 0.4 [a]

[a, b, c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.2.1.3 **ความเหนียวของโด**

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าความเหนียวของโดที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่ทุกอัตราส่วน มีค่าไม่แตกต่างจากโดที่ใช้แป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ดีการใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าความเหนียวของโดมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากปริมาณแป้งข้าวสีนิลที่เพิ่มขึ้นจะไปลดปริมาณโปรตีนกลูเตนในโดลง โดที่ผลิตได้จะอ่อนแอมากขึ้น จึงทำให้ความยืดหยุ่นและความเหนียวของโดลดลง เมื่อเทียบกับโดที่ผลิตโดยใช้แป้งสาลีล้วน (เนื้อทอง และคณะ, 2544) ผลการวิจัยข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของพรวีนัส (2544) ที่ทดลองทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวหอมมะลิที่ระดับร้อยละ 0-40 ในโดขนมปัง ซึ่งพบว่า เมื่อปริมาณการทดแทนของแป้งข้าวหอมมะลิเพิ่มมากขึ้น ค่าความเหนียวของโดจะมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4.6 ความเหนียวของโดขนมปัง (dough stickiness) ที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	ความเหนียวของโด (g) [ns]
0:100	35.60 $\pm$ 2.92
10:90	34.03 $\pm$ 0.82
20:80	34.77 $\pm$ 0.12
30:70	33.20 $\pm$ 0.69
40:60	32.13 $\pm$ 0.48
50:50	31.67 $\pm$ 0.15

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.2.2 **การศึกษาคุณภาพของขนมปัง**

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้น) คุณภาพทางกายภาพ (ปริมาตร น้ำหนัก ปริมาตรจำเพาะ ค่าสี และเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา การยอมรับของผู้บริโภค และแผนผังความชอบของผู้บริโภค) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.7 - 4.18 และภาพที่ 4.3 – 4.10 ดังมีรายละเอียดดังนี้

4.2.2.1 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ปริมาณน้ำอิสระของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วน พรวีนัส (2544) รายงานว่า ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมมะลิร้อยละ 30 และเติมอิมัลซิไฟเออร์ คือ distilled monoglyceride ร้อยละ 2 มีค่าเท่ากับ 0.924 Charalambous (1993) รายงานว่า ขนมปังทั่วไปจะมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.95 ถึง 0.96 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองข้างต้น

ปริมาณความชื้นของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ มีค่าน้อยกว่าขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.7) การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ปริมาณความชื้นในขนมปังที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อใช้แป้งข้าวสีนิลในสูตรมากขึ้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมก็จะมีการปรับให้ลดลงไปเรื่อยๆ ตามความเหมาะสมของค่าการดูดซับน้ำที่อ่านได้จากเครื่อง Farinograph (ตารางที่ 4.4) ซึ่งค่าการดูดซับน้ำจะลดลงเมื่อมีปริมาณการทดแทนมากขึ้น ดังนั้นในขนมปังที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวสีนิลในปริมาณที่มากขึ้น ก็จะมีความชื้นลดลงซึ่งแปรตามปริมาณน้ำที่ใช้น้อยลงในสูตร

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางเคมีของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	สมบัติทางเคมี	
	น้ำอิสระ (a_w) [ns]	ความชื้น (ร้อยละ)*
0:100	0.927 $\pm$ 0.002	35.49 $\pm$ 0.03 [a]
10:90	0.931 $\pm$ 0.001	34.60 $\pm$ 0.13 [b]
20:80	0.929 $\pm$ 0.000	34.25 $\pm$ 0.16 [bc]
30:70	0.930 $\pm$ 0.001	34.05 $\pm$ 0.07 [cd]
40:60	0.930 $\pm$ 0.002	33.86 $\pm$ 0.12 [d]
50:50	0.929 $\pm$ 0.001	33.91 $\pm$ 0.14 [cd]

[a, b, c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

* ร้อยละโดยน้ำหนักเปียกของขนมปัง (wet basis)

4.2.2.2 ปริมาตร น้ำหนัก และปริมาตรจำเพาะ

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.8 พบว่า น้ำหนักของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ และขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ผลิตได้จะให้แนวโน้มเดียวกัน คือ ขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนจะมีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะสูงที่สุด และมีค่ามากกว่าขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสัดส่วนแป้งข้าวสีนิลที่เพิ่มขึ้น จะไปลดปริมาณโปรตีนกลูเตนในโดลง ทำให้โดมีความยืดหยุ่น ความเหนียว และขยายตัวได้น้อยลง (ตารางที่ 4.5) เมื่อนำไปอบเป็นขนมปังจึงได้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แป้งสาลีล้วนในการผลิต ผลการทดลองข้างต้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของพรวีนัส (2544) ที่ทดลองผลิตขนมปังโดยใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 0-40 ผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณการทดแทนของแป้งข้าวหอมมะลิเพิ่มมากขึ้น ปริมาตรจำเพาะจะมีแนวโน้มลดลง และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hsu และคณะ (2004) ที่ทดลองผลิตขนมปังโดยใช้แป้งมันเทศ (*Dioscorea purpurea*) ทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 0-25 ซึ่งพบว่า การใช้แป้งมันเทศในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังมีแนวโน้มลดลง โดยการทดแทนที่ระดับร้อยละ 10-25 จะทำให้ปริมาตรของขนมปังลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่มีการทดแทน

4.2.2.3 ค่าสี (L*, a* และ b*)

ค่าสีของขนมปังที่ผลิตโดยใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.9 จะเห็นว่า การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) ของขนมปังที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลง และทำให้ค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ การใส่แป้งข้าวสีนิลที่มีสีม่วงในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง จะทำให้ขนมปังที่ได้มีความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง และมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางกายภาพของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนระหว่าง แป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	ปริมาตร (cm^3)	น้ำหนัก (g) [ns]	ปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g)
0:100	2056.67 ± 29.63 [a]	485.39 ± 7.59	4.24 ± 0.01 [a]
10:90	1903.33 ± 27.28 [b]	477.61 ± 6.79	3.99 ± 0.01 [b]
20:80	1900.00 ± 70.24 [b]	476.14 ± 8.05	3.99 ± 0.08 [b]
30:70	1856.67 ± 23.33 [b]	474.80 ± 6.22	3.91 ± 0.02 [b]
40:60	1686.67 ± 34.80 [c]	478.01 ± 7.53	3.53 ± 0.02 [c]
50:50	1470.00 ± 26.46 [d]	477.71 ± 6.00	3.08 ± 0.02 [d]

[a, b, c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าสี L*, a* และ b* ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนระหว่าง	ค่าสี		
แป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*
0:100	71.21 ± 1.43 [a]	-1.72 ± 0.06 [f]	12.26 ± 0.35 [a]
10:90	69.01 ± 0.10 [ab]	0.62 ± 0.18 [e]	12.44 ± 0.25 [a]
20:80	66.74 ± 1.26 [b]	2.24 ± 0.11 [d]	10.86 ± 0.56 [b]
30:70	62.87 ± 0.86 [c]	3.98 ± 0.10 [c]	10.67 ± 0.14 [bc]
40:60	58.72 ± 0.48 [d]	4.91 ± 0.07 [b]	9.79 ± 0.08 [c]
50:50	57.53 ± 1.44 [d]	5.46 ± 0.35 [a]	9.70 ± 0.36 [c]

[a, b, c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.2.4 เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส

เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.10 เมื่อพิจารณาค่าความแน่นเนื้อ (firmness) จะเห็นว่า การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าความแน่นเนื้อของขนมปังที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ปริมาณแป้งข้าวสีนิลที่เพิ่มขึ้นจะไปเจือจางโปรตีนกลูเตนในโด ทำให้กลูเตนมีความแข็งแรงน้อยลง ส่งผลให้โดมีความยืดหยุ่นและเก็บอากาศได้น้อยลง ขนมปังจะเกิดการพองตัวได้น้อยขณะอบ ทำให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำกว่าและมีความแน่นเนื้อมากกว่าขนมปังจากแป้งสาลีล้วน โดยค่าความแน่นเนื้อของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับ ร้อยละ 50 จะมีค่ามากที่สุด และมีค่ามากกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.10) ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของพรวีนัส (2544) ที่ทดลองผลิตขนมปังโดยใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 0-40 ซึ่งพบว่า เมื่อปริมาณการทดแทน แป้งข้าวหอมมะลิเพิ่มมากขึ้น ค่าความแน่นเนื้อของเนื้อขนมปังจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมมะลิ

ในส่วนของค่าการคืนตัว (springiness) พบว่า การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าการคืนตัวของขนมปังที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้จะเห็นว่า ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับมากกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป จะมีค่าการคืนตัวน้อยกว่าขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.10)

เมื่อพิจารณาค่าการเกาะกันของตัวอย่าง (cohesiveness) ของขนมปัง พบว่า การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่าการเกาะกันของตัวอย่างของขนมปังที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเหนียวของโดขนมปังที่มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งข้าวสีนิลเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 4.6) โดยขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนจะมีค่าการเกาะกันของตัวอย่างมากที่สุด และมีค่ามากกว่าขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.10)

ความยากในการเคี้ยวตัวอย่าง สามารถพิจารณาได้จากค่า gumminess และ chewiness จากการวิจัยพบว่า ค่า gumminess และ chewiness ที่วิเคราะห์ได้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะทำให้ค่า gumminess และ chewiness ของขนมปังที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่า gumminess และ chewiness ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 50 จะมีค่ามากที่สุด และมีค่ามากกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.10) ซึ่งเป็นการยืนยันถึง

ผลการวิเคราะห์ค่า final viscosity และ setback viscosity ในแป้งผสมที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ตามสัดส่วนของแป้งข้าวสีนิลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า final viscosity และ setback viscosity ที่สูง จะส่งผลโดยตรงต่อเนื้อสัมผัสของขนมปัง ทำให้ขนมปังที่ผลิตได้มีลักษณะแห้งแข็งและร่วนกว่า (จารนัย, 2537) นอกจากนี้ผลการทดลองข้างต้นยังสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ของขนมปังที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนด้วยแป้งข้าวสีนิล (ตารางที่ 4.10) ขนมปังที่มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นก็จะต้องใช้แรงในการเคี้ยวมากขึ้น กล่าวคือ มีความยากในการเคี้ยวเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4.10 เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนระหว่าง	ค่าเนื้อสัมผัส				
แป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	firmness (g)	springiness	cohesiveness	gumminess (g)	chewiness (g)
0:100	261.87 $\pm$ 24.91 ^{b}	1.00 $\pm$ 0.00 ^{a}	0.78 $\pm$ 0.01 ^{a}	205.86 $\pm$ 21.18 ^{b}	202.98 $\pm$ 20.78 ^{b}
10:90	279.32 $\pm$ 4.19 ^{b}	0.99 $\pm$ 0.01 ^{a}	0.75 $\pm$ 0.01 ^{ab}	209.49 $\pm$ 5.17 ^{b}	208.16 $\pm$ 4.50 ^{b}
20:80	308.33 $\pm$ 39.09 ^{b}	0.98 $\pm$ 0.01 ^{a}	0.72 $\pm$ 0.02 ^{b}	220.13 $\pm$ 23.24 ^{b}	215.37 $\pm$ 21.25 ^{b}
30:70	319.47 $\pm$ 35.25 ^{b}	0.97 $\pm$ 0.01 ^{a}	0.71 $\pm$ 0.03 ^{b}	225.70 $\pm$ 19.66 ^{b}	219.40 $\pm$ 18.76 ^{b}
40:60	347.79 $\pm$ 17.38 ^{b}	0.92 $\pm$ 0.01 ^{b}	0.67 $\pm$ 0.02 ^{c}	232.55 $\pm$ 15.58 ^{b}	214.31 $\pm$ 14.33 ^{b}
50:50	589.96 $\pm$ 52.52 ^{a}	0.89 $\pm$ 0.02 ^{c}	0.65 $\pm$ 0.01 ^{c}	381.12 $\pm$ 28.79 ^{a}	339.37 $\pm$ 20.43 ^{a}

$^{a, b, c}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.2.5 ลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบเชิงพรรณนา

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive test) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 และ 50:50 โดยน้ำหนักแป้ง โดยประเมินแยกกันในส่วนของเปลือก (crust) และเนื้อขนมปัง (crumb) มีรายละเอียดดังนี้

4.2.2.5.1 เปลือกขนมปัง

ในส่วนของเปลือกขนมปัง พบว่า มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่รวบรวมได้ทั้งหมด 17 ลักษณะ ประกอบไปด้วย ลักษณะปรากฏ 4 ลักษณะ ลักษณะด้านกลิ่น 2 ลักษณะ กลิ่นรส 5 ลักษณะ ความรู้สึกตกค้าง (aftertaste) 2 ลักษณะ และเนื้อสัมผัส 4 ลักษณะ คำศัพท์ คำจำกัดความ วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างเปลือกขนมปัง แสดงดังตารางที่ 4.11 ส่วนระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของตัวอย่างเปลือกขนมปัง แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง สำหรับการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
<u>ลักษณะปรากฏ</u>	
สีน้ำตาล (Brown color) ระดับความเป็นสีน้ำตาลของตัวอย่างเมื่อมองด้วยตา *ระดับความเข้ม : สีน้ำตาลอ่อน --- สีน้ำตาลเข้ม*	The Munsell Book of Color Hue Value/Chroma = 7.5YR 7/6 = 5.0 Hue Value/Chroma = 7.5YR 6/8 = 7.0 Hue Value/Chroma = 7.5YR 5/8 = 11.0
ความเรียบ (Smooth) ระดับความเรียบโดยรวมของพื้นผิวขนมปังเมื่อมองด้วยตา *ระดับความเข้ม : ขรุขระ --- เรียบ*	เปลือกขนมปังฝรั่งเศส = 5.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm) เปลือกขนมปังแซนด์วิช = 8.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm)

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
ความหนาของเปลือก (Crust thickness) ระดับความหนาของเปลือกขนมปังจนถึงเนื้อสีขาว *ระดับความเข้ม : บาง --- หนา*	เปลือกขนมปังแซนด์วิช = 4.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm) เปลือกขนมปังฝรั่งเศส = 6.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm)
จุดในเปลือกขนมปัง (Particle spot) ปริมาณผงของส่วนผสมที่กระจายอยู่ในเปลือกขนมปัง *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	บุกก้อนผสมสาหร่าย (ตรา คอนยัคกี้) = 8.0
<u>กลิ่น</u>	
กลิ่นเกรียม (Aroma_brown) กลิ่นตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบจนเกรียมหรือเกือบไหม้ *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	เปลือกขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 3.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm) เปลือกขนมปังฝรั่งเศส = 7.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm)
กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty) กลิ่นเฉพาะของถั่ว *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	จมูกข้าวสาลี (ตรา บ้านธัญญาทิพย์) = 6.0
<u>กลิ่นรส</u>	
กลิ่นรสเกรียม (Flavor_brown) กลิ่นรสตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบจนเกรียมหรือเกือบไหม้ *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	เปลือกขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 4.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm) เปลือกขนมปังฝรั่งเศส = 8.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm)

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) กลิ่นรสเฉพาะของถั่ว *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	จมูกข้าวสาลี (ตรา บ้านธัญญาทิพย์) = 8.0
รสหวาน (Taste_sweet) รสชาติพื้นฐานที่รับรู้ได้ด้วยต่อมรับรสบนลิ้น มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับน้ำตาลทราย *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	สารละลายซูโครส เข้มข้น 1.0 % (w/v) = 1.0
รสเปรี้ยว (Taste_sour) รสชาติพื้นฐานที่รับรู้ได้ด้วยต่อมรับรสบนลิ้น มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับกรดซิตริก *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 0.015 % (w/v) = 1.5 สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 0.08 % (w/v) = 5.0
รสขม (Taste_bitter) รสชาติพื้นฐานที่รับรู้ได้ด้วยต่อมรับรสบนลิ้น มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับคาเฟอีน *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	สารละลายคาแฟอีน เข้มข้น 0.01 % (w/v) = 2.0 สารละลายคาแฟอีน เข้มข้น 0.02 % (w/v) = 3.5
<u>ความรู้สึกตกค้าง</u>	
รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) รสชาติตกค้างหลังการกลืนของรสชาติพื้นฐานที่มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับน้ำตาลทราย *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : ประเมินรสหวานตกค้าง หลังจากการกลืนตัวอย่างไปแล้ว 30 วินาที*	สารละลายซูโครส เข้มข้น 1.0 % (w/v) = 1.0

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
รสขมตกค้าง (Aftertaste_bitter) รสชาติตกค้างหลังการกลืนของรสชาติพื้นฐานที่มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับคาเฟอีน *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : ประเมินรสหวานตกค้าง หลังจากการกลืนตัวอย่างไปแล้ว 30 วินาที*	สารละลายคาแฟอีน เข้มข้น 0.01 % (w/v) = 2.0 สารละลายคาแฟอีน เข้มข้น 0.02 % (w/v) = 3.5
<u>เนื้อสัมผัส</u>	
ความเหนียวของเปลือก (Crust toughness) ระดับความเหนียวของเปลือกตัวอย่างเมื่อดึงด้วยมือ *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : ใช้สองมือจับตัวอย่างด้วยนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้แล้วดึงตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน*	เปลือกขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 3.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้น 2x2 cm) เปลือกขนมปังฝรั่งเศส = 10.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm)
ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy) ระดับความรู้สึกเป็นเม็ดละเอียดเล็กๆ ในตัวอย่างเมื่อผ่านการเคี้ยว *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : พิจารณาปริมาณความเป็นเม็ดละเอียดในตัวอย่าง หลังจากเคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกรามประมาณ 10 ครั้ง โดยใช้ลิ้นในการประเมิน*	เมล็ดถั่วแดงในน้ำเกลือ (ตราไมก้า) = 10.0 (เมล็ดถั่วแดงแกะเปลือก 1 เม็ด)

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count) จำนวนครั้งในการเคี้ยวตัวอย่างจนสามารถกลืนตัวอย่างได้ *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : นับจำนวนครั้งในการเคี้ยว ตั้งแต่เริ่มต้นการเคี้ยวครั้งแรก จนกระทั่งเคี้ยวครั้งสุดท้ายก่อนกลืนตัวอย่าง*	เปลือกขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 6.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm) เปลือกขนมปังฝรั่งเศส = 10.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2 cm)
การเกาะติดฟัน (Toothpack) ปริมาณของตัวอย่างที่ติดอยู่บริเวณฟันเมื่อสัมผัสด้วยลิ้น หลังจากการกลืนตัวอย่าง *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : พิจารณาปริมาณการตกค้างหลังจากการกลืนตัวอย่างบริเวณฟัน โดยใช้ลิ้นในการประเมิน*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 3.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm) เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 5.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)

ตารางที่ 4.12 ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่อัตราส่วนแป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลีต่างๆ					
	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50
ลักษณะปรากฏ						
สีน้ำตาล	8.0	8.0	12.5	12.0	12.5	12.5
ความเรียบ	7.0	6.5	6.5	6.5	4.5	6.0
ความหนาของเปลือก	6.5	7.5	8.0	7.0	7.0	7.5
จุดในเปลือกขนมปัง	0.0	3.0	3.5	5.0	4.0	5.5
กลิ่น						
กลิ่นเกรียม	8.0	7.0	7.5	9.0	8.0	7.5
กลิ่นถั่ว	2.0	2.0	1.5	1.5	2.0	1.5
กลิ่นรส						
กลิ่นรสเกรียม	7.5	7.5	7.0	9.0	8.5	7.5
กลิ่นรสถั่ว	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5
รสหวาน	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5
รสเปรี้ยว	2.0	1.5	2.0	2.0	1.5	2.0
รสขม	2.5	2.5	2.5	3.0	2.0	3.0
ความรู้สึกตกค้าง						
รสหวานตกค้าง	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
รสขมตกค้าง	1.0	0.5	0.5	1.5	1.0	1.0
เนื้อสัมผัส						
ความเหนียวของเปลือก	6.0	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5
ความรู้สึกเป็นทราย	0.0	1.5	2.5	5.0	4.0	4.0
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง	6.0	6.5	6.5	7.0	6.0	6.0
การเกาะติดฟัน	2.5	3.0	3.5	2.5	3.0	3.0

เมื่อนำผลระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้ง 17 ลักษณะ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) โดยตัดตัวแปรรสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) ออก เนื่องจากระดับความเข้มของลักษณะดังกล่าวมีค่าเท่ากันทุกตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถสร้างองค์ประกอบใหม่ได้ 2 องค์ประกอบหลัก (principal component, PC) ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลได้ร้อยละ 85.33 ดังตารางที่ 4.13 สำหรับแผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัส จำนวน 16 ลักษณะ และตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้ง 6 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4.3

องค์ประกอบที่ 1 (PC 1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 75.40 ประกอบด้วยลักษณะด้านสีน้ำตาล (Brown color) จุดในเปลือกขนมปัง (Particle spot) กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) รสเปรี้ยว (Taste_sour) และความรู้สึกเป็นทราย (Grainy) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านบวก และลักษณะด้านความเรียบ (Smooth) กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty) รสหวาน (Taste_sweet) และความเหนียวของเปลือก (Crust toughness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านลบ ส่วนองค์ประกอบที่ 2 (PC 2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 9.93 ประกอบไปด้วยลักษณะด้านกลิ่นเกรียม (Aroma_brown) กลิ่นรสเกรียม (Flavor_brown) รสขม (Taste_bitter) รสขมตกค้าง (Aftertaste_bitter) และจำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านบวก และลักษณะด้านความหนาของเปลือก (Crust thickness) และการเกาะติดฟัน (Toothpack) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านลบ (ตารางที่ 4.13)

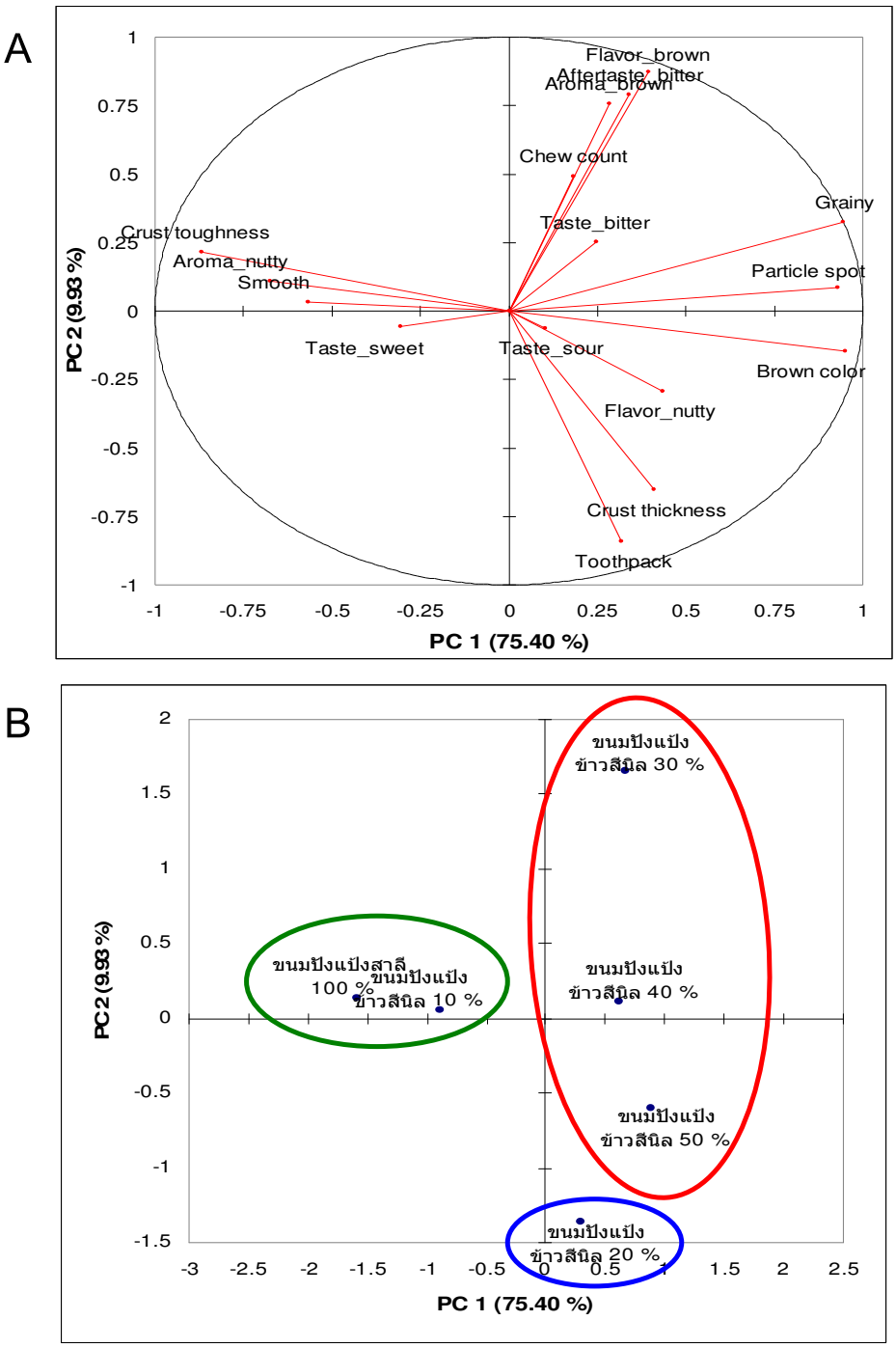
จากแผนภาพ PCA พบว่า กลุ่มของลักษณะทางประสาทสัมผัสเฉพาะในองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) เท่านั้น ที่มีระดับความเข้มเปลี่ยนแปลงไปตามระดับการทดแทนอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ เมื่อใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่ำ ตัวอย่างเปลือกขนมปังจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสใน PC 1 ทางด้านลบมาก แต่มีลักษณะทางประสาทสัมผัสใน PC 1 ทางด้านบวกน้อย แต่เมื่อใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับที่เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ทดสอบจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสใน PC 1 ทางด้านลบน้อย แต่มีลักษณะทางประสาทสัมผัสใน PC 1 ทางด้านบวกมาก

ตารางที่ 4.13 ค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนต่างๆ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**	
	PC 1	PC 2
ลักษณะปรากฏ		
สีน้ำตาล (Brown color)	**0.951**	-0.147
จุดในเปลือกขนมปัง (Particle spot)	**0.930**	0.087
ความเรียบ (Smooth)	**-0.566**	0.032
ความหนาของเปลือก (Crust thickness)	0.411	**-0.650**
กลิ่น		
กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty)	**-0.675**	0.109
กลิ่นเกรียม (Aroma_brown)	0.285	**0.759**
กลิ่นรส		
กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty)	**0.435**	-0.293
รสเปรี้ยว (Taste_sour)	**0.104**	-0.063
รสหวาน (Taste_sweet)	**-0.305**	-0.056
กลิ่นรสเกรียม (Flavor_brown)	0.394	**0.873**
รสขม (Taste_bitter)	0.249	**0.252**
ความรู้สึกตกค้าง		
รสขมตกค้าง (Aftertaste_bitter)	0.338	**0.790**
รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) *	0.000	0.000
เนื้อสัมผัส		
ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy)	**0.944**	0.326
ความเหนียวของเปลือก (Crust toughness)	**-0.867**	0.216
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count)	0.181	**0.492**
การเกาะติดฟัน (Toothpack)	0.319	**-0.839**
ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวน (ร้อยละ)	**75.40**	**9.93**
ความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ (ร้อยละ)	**85.33**	

* ตัวแปรที่ตัดออกจากการวิเคราะห์ด้วย PCA เนื่องจากมีค่าคงที่ (มีระดับความเข้มเท่ากันทุกตัวอย่าง)

** ตัวเลขเข้ม หมายถึง ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรที่จัดอยู่ในองค์ประกอบนั้น (PC 1 หรือ PC 2)



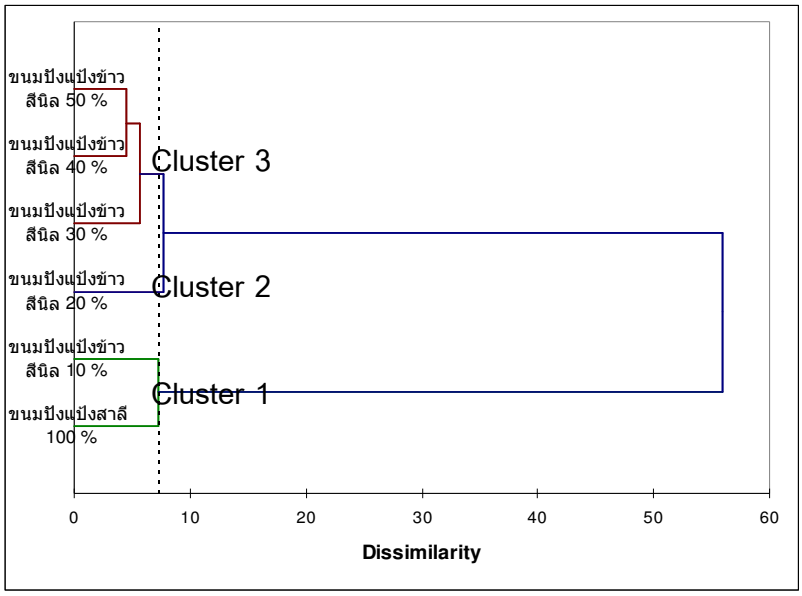
ภาพที่ 4.3 แผนภาพ Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ 2 (PC 2) ของเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ : (A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (B) Factor score plot ของตัวอย่างเปลือกขนมปัง 6 ตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาแผนภาพ PCA ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาและตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ (ภาพที่ 4.3) ร่วมกับเทคนิควิธีการจัดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ Hierarchical cluster analysis ดังภาพที่ 4.4 พบว่า สามารถแบ่งตัวอย่างเปลือกขนมปังตามลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ออกได้เป็น 3 กลุ่ม (cluster) โดยแต่ละกลุ่มจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่โดดเด่นแตกต่างกันดังนี้

กลุ่มที่ 1 (cluster 1) ประกอบไปด้วยตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วน และเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณน้อย คือ ร้อยละ 10 ตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีความเรียบและความเหนียวของเปลือก รวมทั้งกลิ่นถั่วที่มากกว่า แต่มีสีน้ำตาล จุดในเปลือกขนมปัง และความรู้สึกเป็นทรายน้อยกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ การที่เปลือกขนมปังในกลุ่มนี้มีสีน้ำตาลน้อยกว่า เนื่องจากใช้เวลาในการอบน้อยกว่าขนมปังในกลุ่มอื่นๆ เล็กน้อย ทั้งนี้เพราะตัวอย่างในกลุ่มนี้เป็นตัวอย่างขนมปังที่มีเฉพาะแป้งสาลีหรือมีแป้งข้าวสีนิลเป็นส่วนผสมในปริมาณน้อย ซึ่งแป้งสาลีจะมีค่า pasting temperature ที่ต่ำกว่าแป้งข้าวสีนิล (ตารางที่ 4.3) ทำให้แป้งสุกได้เร็วโดยใช้ปริมาณความร้อนที่น้อยกว่า จึงอบเสร็จเร็วกว่า กล่าวคือขนมปังในกลุ่มนี้จะโดนความร้อนขณะอบน้อยกว่ากลุ่มอื่น ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) บริเวณเปลือกเกิดขึ้นได้น้อยกว่า เปลือกขนมปังจึงมีสีน้ำตาลน้อยกว่าตัวอย่างกลุ่มอื่นๆ ในส่วนของจุดในเปลือกขนมปังและความรู้สึกเป็นทรายนั้น ล้วนเป็นลักษณะที่เกิดจากแป้งข้าวสีนิล เนื่องจากแป้งข้าวสีนิลมีสีม่วง เมื่อผสมลงไปในแป้งสาลีขนมปังที่ผลิตได้จึงมีจุดสีม่วงของแป้งข้าวสีนิลปรากฏอยู่ ประกอบกับการที่แป้งข้าวสีนิลที่ผลิตได้มีความละเอียดน้อยกว่าแป้งสาลี ดังนั้นเมื่อผสมแป้งข้าวสีนิลลงไปในแป้งสาลี ขนมปังที่ผลิตได้จึงมีความรู้สึกเป็นเม็ดละเอียดเมื่อรับประทาน ซึ่งเกิดจากอนุภาคของแป้งข้าวสีนิลที่บดไม่ละเอียด การที่ตัวอย่างในกลุ่มนี้มีจุดในเปลือกขนมปังและความรู้สึกเป็นทรายน้อย ก็เพราะเป็นตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนหรือใช้แป้งข้าวสีนิลเป็นส่วนผสมในปริมาณน้อยนั่นเอง

กลุ่มที่ 2 (cluster 2) เป็นตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณปานกลาง คือ ร้อยละ 20 ตัวอย่างจะมีความหนาของเปลือกและการเกาะติดฟันมากกว่ากลุ่มอื่นเล็กน้อย มีสีน้ำตาลมากเพราะใช้เวลาอบมากขึ้น มีจุดในเปลือกขนมปังและความรู้สึกเป็นทรายปานกลาง เนื่องจากมีการใช้ปริมาณแป้งข้าวสีนิลมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มแรก ส่วนกลิ่นเกรียม กลิ่นรสเกรียม และรสขมตกค้างจะมีน้อยกว่าตัวอย่างกลุ่มอื่นๆ

กลุ่มที่ 3 (cluster 3) ประกอบไปด้วยตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณปานกลางถึงมาก คือ ร้อยละ 30, 40 และ 50 ตัวอย่างในกลุ่มนี้มีกลิ่นเกรียม กลิ่นรสเกรียม รสขมตกค้าง และสีน้ำตาลมาก เนื่องจากใช้เวลาในการอบนานกว่า จุดในเปลือกขนมปังและความรู้สึกเป็นทรายมีค่ามาก เนื่องจากใช้ปริมาณข้าวสีนิลในส่วนผสมมาก แต่จะมีความเรียบและความเหนียวของเปลือกน้อย



ภาพที่ 4.4 แผนภาพการจัดแบ่งกลุ่มตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ Hierarchical cluster analysis โดยใช้ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

4.2.2.5.2 **เนื้อขนมปัง**

ในส่วนของเนื้อขนมปัง พบว่า มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่รวบรวมได้ทั้งหมด 41 ลักษณะ ประกอบไปด้วย ลักษณะปรากฏ 4 ลักษณะ ลักษณะด้านกลิ่น 7 ลักษณะ กลิ่นรส 10 ลักษณะ ความรู้สึกตกค้าง (aftertaste) 6 ลักษณะ และเนื้อสัมผัส 14 ลักษณะ คำศัพท์ คำจำกัดความ วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างเนื้อขนมปัง แสดงดังตารางที่ 4.14 ส่วนระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของตัวอย่างเนื้อขนมปัง แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ วิธีการประเมิน ตัวอย่างอ้างอิง และระดับความเข้มของตัวอย่างอ้างอิง สำหรับการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
<u>ลักษณะปรากฏ</u>	
สีเผือกกวน (Taro color) ระดับความเป็นสีม่วง (สีเผือกกวน) ของตัวอย่างเมื่อมองด้วยตา *ระดับความเข้ม : สีครีมขาว --- สีม่วง*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช = 2.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm) The Munsell Book of Color Hue/Value/ Chroma = 10RP 7/2 = 8.0 Hue/Value/ Chroma = 10RP 4/2 = 15.0
จุดในเนื้อขนมปัง (Particle spot) ปริมาณผงของส่วนผสมที่กระจายอยู่ในเนื้อขนมปัง *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	บุกก้อนผสมสาหร่าย (ตรา คอนยัคกี้) = 8.0
ความชื้น (Moist) ระดับความชุ่มชื้นของตัวอย่างที่มองเห็นด้วยตาเปล่า *ระดับความเข้ม : แห้ง --- ชุ่มชื้น*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช = 5.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm) เค้กเนยสด = 8.0 (ตรา S&P, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
ความหยาบ (Rough) ลักษณะพื้นผิวขนมปังโดยดูจากขนาดของโพรงอากาศ *ระดับความเข้ม : โพรงเล็ก(เนียน) --- โพรงใหญ่ (หยาบ)*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช = 5.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm) เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 9.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
<u>กลิ่น</u>	
กลิ่นแป้งสาลีสุก (Aroma_cooked wheat flour) กลิ่นแป้งสาลีที่ผ่านการให้ความร้อน (กลิ่นขนมปัง) *ระดับความเข้ม : ไม่มี ---มาก*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 3.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
กลิ่นแป้งข้าวสุก **(Aroma_cooked rice flour)** กลิ่นแป้งข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (กลิ่นข้าว) *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	น้ำแป้งข้าวสีนิล = 7.0 (แป้งข้าวสีนิล 10 g ในน้ำเดือด 100 ml)
กลิ่นหมัก **(Aroma_yeasty)** กลิ่นที่เกิดจากการหมักของยีสต์กับแป้ง *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 5.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
กลิ่นหวานโดยรวม **(Aroma_overall sweet)** กลิ่นหวานโดยรวมของส่วนผสมที่ให้ความหวานในขนมปัง *ระดับความเข้ม : ไม่มี ---มาก*	ขนมปังหวาน = 6.0 (รสเนยสด ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
กลิ่นธัญพืช **(Aroma_grain)** กลิ่นอับชื้นของอาหารจำพวกธัญพืช เช่น รำข้าว , ข้าวโพด, ข้าวสาลี และข้าวโอ๊ต ที่ผ่านการเก็บรักษามาแล้วระยะหนึ่ง *ระดับความเข้ม : ไม่มี ---มาก*	ธัญญาหารรวม (Mixed cereals) = 8.0 (คอร์นเฟลกส์ ตรา เนสท์เล่ : รำข้าวสาลีอบกรอบ ตรา เคลล็อกส์ : เกล็ดข้าวโอ๊ต ตรา ฮาทเน่ = 2 : 2 : 1 โดยน้ำหนัก)
กลิ่นถั่ว **(Aroma_nutty)** กลิ่นเฉพาะของถั่ว *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	จมูกข้าวสาลี (ตรา บ้านธัญญาทิพย์) = 6.0

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
กลิ่นผลิตภัณฑ์นม (Aroma_dairy product) กลิ่นของส่วนผสมในขนมปังที่เป็นผลิตภัณฑ์จากนมวัว *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	นมผง (รสจืด ตรา คาร์เนชัน) = 7.0
<u>กลิ่นรส</u>	
กลิ่นรสแป้งสาลีสุก (Flavor_cooked wheat flour) กลิ่นรสแป้งสาลีที่ผ่านการให้ความร้อน (กลิ่นรสขนมปัง) *ระดับความเข้ม : ไม่มี ---มาก*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 5.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)
กลิ่นรสแป้งข้าวสุก (Flavor_cooked rice flour) กลิ่นรสแป้งข้าวที่ผ่านการให้ความร้อน (กลิ่นรสข้าว) *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	น้ำแป้งข้าวสีนิล = 7.0 (แป้งข้าวสีนิล 10 g ในน้ำเดือด 100 ml)
กลิ่นรสหมัก (Flavor_yeasty) กลิ่นรสที่เกิดจากการหมักของยีสต์กับแป้ง *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 6.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
กลิ่นรสหวานโดยรวม (Flavor_overall sweet) กลิ่นรสหวานโดยรวมของส่วนผสมที่ให้ความหวานในขนมปัง *ระดับความเข้ม : ไม่มี ---มาก*	ขนมปังหวาน = 8.0 (รสเนยสด ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
กลิ่นรสธัญพืช (Flavor_grain) กลิ่นรสอับชื้นของอาหารจำพวกธัญพืช เช่น รำข้าว , ข้าวโพด, ข้าวสาลี และข้าวโอ๊ต ที่ผ่านการเก็บรักษามาแล้วระยะหนึ่ง *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	ธัญญาหารรวม (Mixed cereals) = 7.0 (คอร์นเฟลกส์ ตรา เนสท์เล่ : รำข้าวสาลีอบกรอบ ตรา เคลล็อกส์ : เกล็ดข้าวโอ๊ต ตรา ฮาทเน่ = 2 : 2 : 1 โดยน้ำหนัก)
กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) กลิ่นรสเฉพาะของถั่ว *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	จมูกข้าวสาลี (ตรา บ้านธัญญาทิพย์) = 8.0
กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม (Flavor_dairy product) กลิ่นรสของส่วนผสมในขนมปังที่เป็นผลิตภัณฑ์จากนมวัว *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	นมผง (รสจืด ตรา คาร์เนชัน) = 10.0
รสหวาน (Taste_sweet) รสชาติพื้นฐานที่รับรู้ได้ด้วยต่อมรับรสบนลิ้น มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับน้ำตาลทราย *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	สารละลายซูโครส เข้มข้น 1.0 % (w/v) = 1.0
รสเปรี้ยว (Taste_sour) รสชาติพื้นฐานที่รับรู้ได้ด้วยต่อมรับรสบนลิ้น มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับกรดซิตริก *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 0.015 % (w/v) = 1.5 สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 0.08 % (w/v) = 5.0

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
รสเค็ม (Taste_salty) รสชาติพื้นฐานที่รับรู้ได้ด้วยต่อมรับรสบนลิ้น มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก*	สารละลายโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.20 % = 2.5 (w/v) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.25 % = 3.5 (w/v)
<u>ความรู้สึกตกค้าง</u>	
รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) รสชาติตกค้างหลังการกลืนของรสชาติพื้นฐานที่มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับน้ำตาลทราย *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : ประเมินรสหวานตกค้าง หลังจากการกลืนตัวอย่างไปแล้ว 30 วินาที*	สารละลายซูโครส เข้มข้น 1.0 % (w/v) = 1.0
รสเปรี้ยวตกค้าง (Aftertaste_sour) รสชาติตกค้างหลังการกลืนของรสชาติพื้นฐานที่มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับกรดซิตริก *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : ประเมินรสหวานตกค้าง หลังจากการกลืนตัวอย่างไปแล้ว 30 วินาที*	สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 0.015 % (w/v) = 1.5 สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 0.08 % (w/v) = 5.0
รสเค็มตกค้าง (Aftertaste_salty) รสชาติตกค้างหลังการกลืนของรสชาติพื้นฐานที่มีลักษณะรสชาติแบบเดียวกันกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : ประเมินรสหวานตกค้าง หลังจากการกลืนตัวอย่างไปแล้ว 30 วินาที*	สารละลายโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.20 % = 2.5 (w/v) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.25 % = 3.5 (w/v)

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
ความฝาดเฝื่อน (Aftertaste_astringency) ความรู้สึกแห้ง ฝืดคอ หรือระคายภายในปาก/บริเวณลิ้น หลังจากกลืนตัวอย่าง *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : ประเมินรสหวานตกค้าง หลังจากการกลืนตัวอย่างไปแล้ว 30 วินาที*	สารละลายอะลัม (Alum) เข้มข้น 0.05 % = 2.5 (w/v) สารละลายอะลัม (Alum) เข้มข้น 0.10 % = 4.0 (w/v)
กลิ่นรสแป้งสาลีสุกตกค้าง (Aftertaste_cooked wheat flour) รสชาติแป้งสาลีที่ผ่านการให้ความร้อนที่ตกค้างภายในปากหลังการกลืน *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : ประเมินรสหวานตกค้าง หลังจากการกลืนตัวอย่างไปแล้ว 30 วินาที*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 5.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)
ความแห้ง (Aftertaste_dry) ระดับความแห้งภายในปากหลังกลืนตัวอย่าง *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : พิจารณาระดับความรู้สึกแห้งภายในปาก หลังจากการกลืนตัวอย่างไปแล้ว 30 วินาที*	แครกเกอร์ (ตรา เบเกอรี่ช้อยส์) 1/4 ชิ้น = 7.0
<u>เนื้อสัมผัส</u> **ความแข็ง** (Hardness) แรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างจนเสียรูป *ระดับความเข้ม : นิ่ม --- แข็ง* *วิธีประเมิน : วางตัวอย่างบนพื้นโต๊ะ และใช้นิ้วชี้กดตัวอย่างในทิศตั้งฉากกับตัวอย่าง จนตัวอย่างเสียรูปทรง*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 6.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
ความเรียบของเนื้อ (Crumb smoothness) ระดับความเรียบเนียนเมื่อสัมผัสด้วยมือ *ระดับความเข้ม : ขรุขระ --- เรียบ* *วิธีประเมิน : ใช้นิ้วชี้ลูบผิวตัวอย่างด้านหน้า slice ไปในทิศทางเดียว แล้วประเมินความเรียบของผิว*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 4.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm) เนื้อขนมปังแซนด์วิช = 11.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)
ความเหนียวของเนื้อ (Crumb toughness) ระดับความเหนียวของเนื้อตัวอย่างเมื่อดึงด้วยมือ *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : ใช้สองมือจับตัวอย่างด้วยนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ และดึงตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 3.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm) เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 8.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
ความยืดหยุ่น (Springiness) ระดับการคืนตัวกลับของตัวอย่างก่อนเสียรูป *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : ใช้นิ้วชี้และนิ้วหัวแม่มือกดตัวอย่างในทิศทางตั้งฉากกับตัวอย่าง โดยกดลงมาครึ่งหนึ่งของความหนา แล้วประเมินการคืนตัวกลับของตัวอย่าง*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 9.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
ความแน่นเนื้อ (Firmness) แรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างด้วยฟันกราม *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : ใช้ฟันกรามกดตัวอย่างโดยใช้แรงอย่างสม่ำเสมอ พิจารณาความแน่นเนื้อของตัวอย่างขณะทำการกด 1ครั้ง*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 5.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
ความเหนียวในการดึงฟัน (Toothpull) แรงที่ใช้ในการดึงฟันออกจากกัน เมื่อกัดตัวอย่าง 1 ครั้ง *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : กัดตัวอย่าง 1 ครั้ง ด้วยฟันกราม แล้วประเมินแรงที่ใช้ในการดึงฟันออกจากกัน*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 4.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)
การเกาะกันของตัวอย่าง (Cohesiveness) ระดับการเกาะตัวกันของตัวอย่างเมื่อกัดตัวอย่าง 1 ครั้ง *ระดับความเข้ม : กระจาย --- เกาะตัว* *วิธีประเมิน : กัดตัวอย่างด้วยฟันกราม 1 ครั้ง แล้วประเมินระดับการเกาะรวมตัวกันของตัวอย่าง*	เค้กเนยสด = 6.0 (ตรา S&P, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm) เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 12.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)
ความชุ่มชื้น (Moistness) ระดับความชุ่มชื้นของตัวอย่างเมื่อเคี้ยวตัวอย่าง 5 ครั้ง *ระดับความเข้ม : แห้ง --- ชุ่มชื้น* *วิธีประเมิน : เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 5 ครั้ง แล้วประเมินระดับความชุ่มชื้นของตัวอย่าง*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 3.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm) เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 7.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm) เค้กเนยสด = 9.0 (ตรา S&P, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว (Cohesive of mass) ระดับการเกาะตัวกันของตัวอย่างระหว่างการเคี้ยว *ระดับความเข้ม : กระจาย --- เกาะตัว* *วิธีประเมิน : เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 10 ครั้ง แล้วประเมินระดับการเกาะรวมตัวกันของตัวอย่างขณะเคี้ยว*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 7.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm) เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 9.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
การดูดน้ำ **(Moisture absorption)** ปริมาณการดูดซับน้ำลายในปากของตัวอย่างระหว่างการเคี้ยว *ระดับความเข้ม : ไม่มีการดูดน้ำ --- ดูดน้ำปริมาณมาก* *วิธีประเมิน : เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม 10 ครั้ง แล้วประเมินความสามารถในการดูดซับน้ำลายของตัวอย่าง*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 7.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm) เค้กเนยสด = 9.0 (ตรา S&P, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)
ความรู้สึกเป็นทราย **(Grainy)** ระดับความรู้สึกเป็นเม็ดละเอียดเล็กๆ ในตัวอย่างเมื่อผ่านการเคี้ยว *ระดับความเข้ม : ไม่มี --- มาก* *วิธีประเมิน : พิจารณาปริมาณความเป็นเม็ดละเอียดในตัวอย่าง หลังจากเคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกรามประมาณ 10 ครั้ง โดยใช้ลิ้นในการประเมิน*	เมล็ดถั่วแดงในน้ำเกลือ (ตราไมก้า) = 10.0 (เมล็ดถั่วแดงแกะเปลือก 1 เม็ด)
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง **(Chew count)** จำนวนครั้งในการเคี้ยวตัวอย่างจนสามารถกลืนตัวอย่างได้ *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : นับจำนวนครั้งในการเคี้ยว ตั้งแต่เริ่มต้นการเคี้ยวครั้งแรก จนกระทั่งเคี้ยวครั้งสุดท้ายก่อนกลืนตัวอย่าง*	เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 6.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm) เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 8.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm)

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมิน	ตัวอย่างอ้างอิงและระดับความเข้ม
การเกาะติดฟัน (Toothpack) ปริมาณของตัวอย่างที่ติดอยู่บริเวณฟันเมื่อสัมผัสด้วยลิ้น หลังจากการกลืนตัวอย่าง *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : พิจารณาปริมาณการตกค้างหลังจากการกลืนตัวอย่างบริเวณฟัน โดยใช้ลิ้นในการประเมิน*	เนื้อขนมปังฝรั่งเศส = 3.0 (ห้างโลตัส, หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x2 cm) เนื้อขนมปังแซนด์วิช 2 ชิ้น = 5.0 (ตรา ฟาร์มเฮาส์ ,หั่นขนาดชิ้นละ 2x2x1 cm)
อนุภาคตกค้าง (Particles) ปริมาณของเศษชิ้นเล็กๆ ของอาหารที่หลงเหลืออยู่ภายในปากหลังกลืนตัวอย่าง โดยไม่นับส่วนที่เกาะติดบริเวณฟัน *ระดับความเข้ม : น้อย --- มาก* *วิธีประเมิน : พิจารณาปริมาณการตกค้างภายในปาก (ยกเว้นบริเวณฟัน) หลังจากการกลืนตัวอย่าง โดยใช้ลิ้นในการประเมิน*	เมล็ดถั่วแดงในน้ำเกลือ (ตราไมก้า) = 8.0 (เมล็ดถั่วแดงพร้อมเปลือก 2 เม็ด)

ตารางที่ 4.15 ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่อัตราส่วนแป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลีต่างๆ					
	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50
ลักษณะปรากฏ						
สีเผือกกวน	2.5	3.5	4.0	4.5	4.5	6.5
จุดในเนื้อขนมปัง	0.0	2.5	4.0	5.0	4.5	6.0
ความชื้น	5.5	5.5	5.5	5.5	7.0	6.0
ความหยาบ	9.5	8.0	7.5	8.0	8.5	9.5
กลิ่น						
กลิ่นแป้งสาลีสุก	4.5	5.0	5.0	4.0	5.0	4.5
กลิ่นแป้งข้าวสุก	3.0	3.0	4.5	5.0	5.0	4.0
กลิ่นหมัก	5.0	4.0	4.5	4.0	5.0	4.5
กลิ่นหวานโดยรวม	2.5	2.0	2.5	2.5	2.0	2.0
กลิ่นธัญพืช	2.0	2.0	2.5	3.0	2.0	2.0
กลิ่นถั่ว	1.5	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5
กลิ่นผลิตภัณฑ์นม	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
กลิ่นรส						
กลิ่นรสแป้งสาลีสุก	5.5	6.0	5.5	4.5	5.0	4.5
กลิ่นรสแป้งข้าวสุก	3.0	3.5	5.0	5.0	5.5	5.0
กลิ่นรสหมัก	4.0	2.5	4.5	4.0	5.0	4.5
กลิ่นรสหวานโดยรวม	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0
กลิ่นรสธัญพืช	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5
กลิ่นรสถั่ว	1.5	1.5	2.0	1.0	1.5	1.5
กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
รสหวาน	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	2.0
รสเปรี้ยว	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
รสเค็ม	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่อัตราส่วนแป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลีต่างๆ					
	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50
ความรู้สึกตกค้าง						
ความฝาดเฝื่อน	1.5	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0
รสแป้งสาลีสุกตกค้าง	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
รสหวานตกค้าง	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0
รสเปรี้ยวตกค้าง	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0
รสเค็มตกค้าง	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ความแห้ง	2.0	1.5	1.5	2.5	2.0	2.5
เนื้อสัมผัส						
ความแข็ง	4.0	4.0	3.5	3.0	4.0	3.5
ความเรียบของเนื้อ	6.5	7.0	7.0	7.0	5.5	4.5
ความเหนียวของเนื้อ	3.0	2.5	3.0	4.0	3.5	2.0
ความยืดหยุ่น	5.5	5.5	6.5	5.5	4.0	5.0
ความแน่นเนื้อ	5.5	4.5	6.0	5.0	5.5	4.5
ความเหนียวในการดึงฟัน	4.5	4.5	4.0	4.0	5.0	4.5
การเกาะกันของตัวอย่าง	10.5	11.0	11.0	7.5	10.5	9.5
ความชุ่มชื้น	7.5	6.0	7.5	7.5	7.5	7.0
การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	7.5
การดูดน้ำ	7.0	7.5	7.5	8.0	7.5	7.5
ความรู้สึกเป็นทราย	0.0	1.5	2.5	4.0	3.0	3.5
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง	6.5	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0
การเกาะติดฟัน	3.0	4.0	3.5	3.0	3.5	3.0
อนุภาคตกค้าง	2.0	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5

เมื่อนำผลระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้ง 41 ลักษณะ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) โดยตัดตัวแปร ได้แก่ รสเปรี้ยว (Taste_sour) รสแป้งสาลีสุกตกค้าง (Aftertaste_cooked wheat flour) และรสเค็มตกค้าง (Aftertaste_salty) ออก เนื่องจากระดับความเข้มของลักษณะดังกล่าวมีค่าเท่ากันทุกตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถสร้างองค์ประกอบใหม่ได้ 4 องค์ประกอบหลัก (principal component, PC) ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 95.05 ดังตารางที่ 4.16 สำหรับแผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัส จำนวน 38 ลักษณะ และตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้ง 6 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4.5 ถึง 4.7

องค์ประกอบที่ 1 (PC 1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 55.23 ประกอบไปด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านจุดในเนื้อขนมปัง (Particle spot) สีเผือกกวน (Taro color) กลิ่นแป้งข้าวสุก (Aroma_cooked rice flour) กลิ่นรสธัญพืช (Flavor_grain) กลิ่นรสแป้งข้าวสุก (Flavor_cooked rice flour) ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy) การดูดน้ำ (Moisture absorption) และจำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านบวก และลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นผลิตภัณฑ์นม (Aroma_dairy product) กลิ่นรสแป้งสาลีสุก (Flavor_cooked wheat flour) และรสเค็ม (Taste_salty) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านลบ ส่วนองค์ประกอบที่ 2 (PC 2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 14.77 ประกอบไปด้วยลักษณะด้านกลิ่นธัญพืช (Aroma_grain) กลิ่นรสหวานโดยรวม (Flavor_overall sweet) กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม (Flavor_dairy product) ความเรียบของเนื้อ (Crumb smoothness) การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว (Cohesive of mass) และความยืดหยุ่น (Springiness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านบวก และลักษณะด้านความหยาบ (Rough) รสเปรี้ยวตกค้าง (Aftertaste_sour) อนุภาคตกค้าง (Particles) และความเหนียวในการดึงฟัน (Toothpull) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านลบ สำหรับองค์ประกอบที่ 3 (PC 3) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 13.72 ประกอบไปด้วยลักษณะด้านกลิ่นแป้งสาลีสุก (Aroma_cooked wheat flour) กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) การเกาะกันของตัวอย่าง (Cohesiveness) การเกาะติดฟัน (Toothpack) และความแข็ง (Hardness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 3 ทางด้านบวก และลักษณะด้านกลิ่นถั่ว (Aroma_nutty) กลิ่นหวานโดยรวม (Aroma_overall sweet) ความฝาดเฝื่อน (Aftertaste_astringency) และความแห้ง (Aftertaste_dry) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ

องค์ประกอบที่ 3 ทางด้านลบ สุดท้ายคือองค์ประกอบที่ 4 (PC 4) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 11.33 ประกอบไปด้วยลักษณะด้านความชื้น (Moist) กลิ่นหมัก (Aroma_yeasty) กลิ่นรสหมัก (Flavor_yeasty) ความชุ่มชื้น (Moistness) ความแน่นเนื้อ (Firmness) และความเหนียวของเนื้อ (Crumb toughness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 4 ด้านบวก และลักษณะด้านรสหวาน (Taste_sweet) และรสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 4 ทางด้านลบ (ตารางที่ 4.16)

จากแผนภาพ PCA พบว่า กลุ่มของลักษณะทางประสาทสัมผัสเฉพาะในองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) เท่านั้น ที่มีระดับความเข้มเปลี่ยนแปลงไปตามระดับการทดแทนอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ เมื่อใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับต่ำ ตัวอย่างเนื้อขนมปังจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสใน PC 1 ทางด้านลบมาก แต่มีลักษณะทางประสาทสัมผัสใน PC 1 ทางด้านบวกน้อย แต่เมื่อใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับที่เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ทดสอบจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสใน PC 1 ทางด้านลบน้อย แต่มีลักษณะทางประสาทสัมผัสใน PC 1 ทางด้านบวกมาก (ภาพที่ 4.5 ถึง 4.7)

ตารางที่ 4.16 ค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนต่างๆ

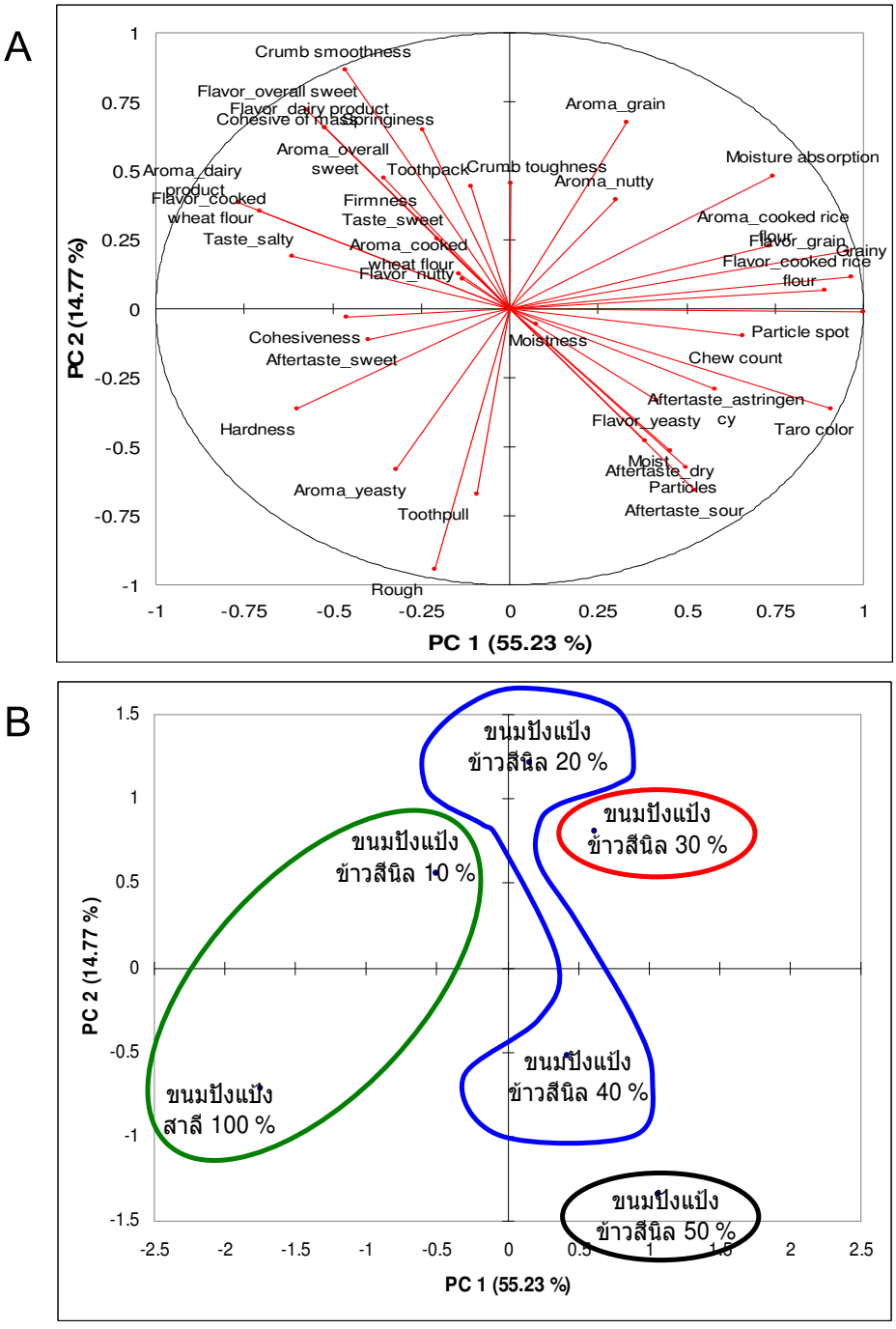
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**			
	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
ลักษณะปรากฏ				
จุดในเนื้อขนมปัง (Particle spot)	**1.000**	-0.011	-0.015	0.001
สีเผือกกวน (Taro color)	**0.907**	-0.363	0.004	-0.159
ความหยาบ (Rough)	-0.212	**-0.943**	-0.202	-0.063
ความชื้น (Moist)	0.383	-0.478	0.363	**0.525**
กลิ่น				
กลิ่นแป้งข้าวสุก (Aroma_cooked rice flour)	**0.733**	0.228	-0.151	0.617
กลิ่นผลิตภัณฑ์นม (Aroma_dairy product)	**-0.765**	0.385	0.360	-0.235
กลิ่นธัญพืช (Aroma_grain)	0.330	**0.674**	-0.621	0.175
กลิ่นแป้งสาลีสุก (Aroma_cooked wheat flour)	-0.134	0.109	**0.975**	0.052
กลิ่นหวานโดยรวม (Aroma_overall sweet)	-0.355	0.475	**-0.513**	0.352
กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty)	0.301	0.395	**-0.849**	0.058
กลิ่นหมัก (Aroma_yeasty)	-0.320	-0.581	0.282	**0.681**
กลิ่นรส				
กลิ่นรสธัญพืช (Flavor_grain)	**0.954**	0.208	0.100	0.189
กลิ่นรสแป้งข้าวสุก (Flavor_cooked rice flour)	**0.891**	0.066	0.090	0.439
รสเค็ม (Taste_salty)	**-0.615**	0.192	0.126	0.327
กลิ่นรสแป้งสาลีสุก (Flavor_cooked wheat flour)	**-0.707**	0.355	0.554	-0.239
กลิ่นรสหวานโดยรวม (Flavor_overall sweet)	-0.574	**0.720**	-0.289	-0.203
กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม (Flavor_dairy product)	-0.521	**0.657**	-0.010	0.393
กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty)	-0.145	0.128	**0.821**	0.119
กลิ่นรสหมัก (Flavor_yeasty)	0.416	-0.330	0.042	**0.791**
รสหวาน (Taste_sweet)	-0.205	0.254	-0.356	**-0.650**
รสเปรี้ยว (Taste_sour) *	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

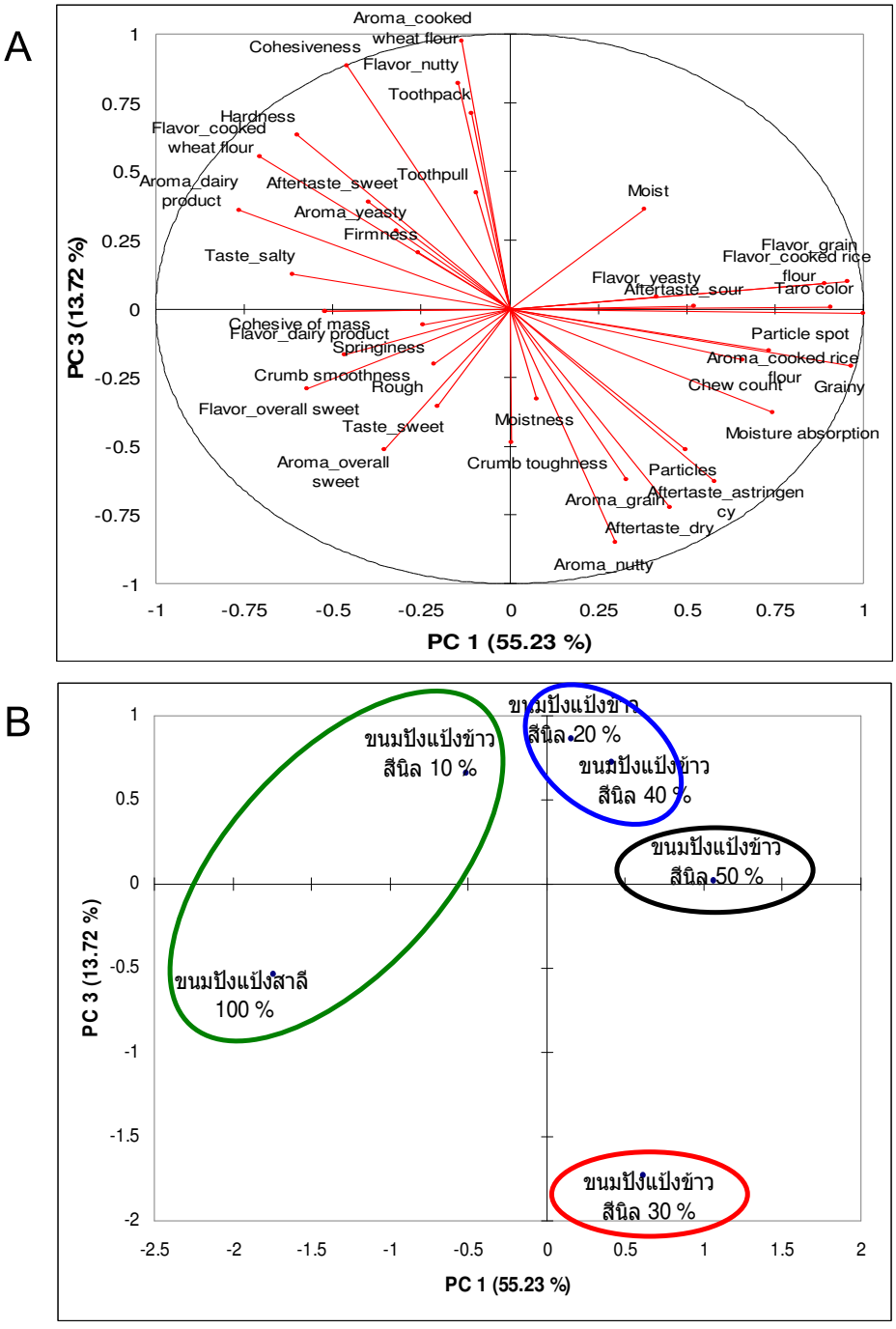
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**			
	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
ความรู้สึกตกค้าง				
รสเปรี้ยวตกค้าง (Aftertaste_sour)	0.521	**-0.657**	0.010	-0.393
ความฝาดเฝื่อน (Aftertaste_astringency)	0.581	-0.291	**-0.630**	0.214
ความแห้ง (Aftertaste_dry)	0.454	-0.515	**-0.723**	0.070
รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet)	-0.400	-0.111	0.390	**-0.560**
รสแป้งสาลีสุกตกค้าง (Aftertaste_cooked wheat flour) *	0.000	0.000	0.000	0.000
รสเค็มตกค้าง (Aftertaste_salty) *	0.000	0.000	0.000	0.000
เนื้อสัมผัส				
ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy)	**0.964**	0.114	-0.209	0.089
การดูดน้ำ (Moisture absorption)	**0.745**	0.481	-0.377	-0.073
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count)	**0.660**	-0.096	-0.186	0.628
ความเรียบของเนื้อ (Crumb smoothness)	-0.466	**0.865**	-0.168	-0.031
การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว (Cohesive of mass)	-0.521	**0.657**	-0.010	0.393
ความยืดหยุ่น (Springiness)	-0.246	**0.651**	-0.057	-0.268
อนุภาคตกค้าง (Particles)	0.498	**-0.574**	-0.510	0.333
ความเหนียวในการดึงฟัน (Toothpull)	-0.093	**-0.673**	0.423	0.190
การเกาะกันของตัวอย่าง (Cohesiveness)	-0.459	-0.029	**0.885**	-0.008
การเกาะติดฟัน (Toothpack)	-0.109	0.443	**0.713**	-0.283
ความแข็ง (Hardness)	-0.599	-0.362	**0.632**	0.017
ความชุ่มชื้น (Moistness)	0.076	-0.055	-0.330	**0.870**
ความแน่นเนื้อ (Firmness)	-0.259	0.325	0.205	**0.818**
ความเหนียวของเนื้อ (Crumb toughness)	0.004	0.455	-0.486	**0.659**
ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวน (ร้อยละ)	**55.23**	**14.77**	**13.72**	**11.33**
ความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ (ร้อยละ)		**95.05**		

* ตัวแปรที่ตัดออกจากการวิเคราะห์ด้วย PCA เนื่องจากมีค่าคงที่ (มีระดับความเข้มเท่ากันทุกตัวอย่าง)

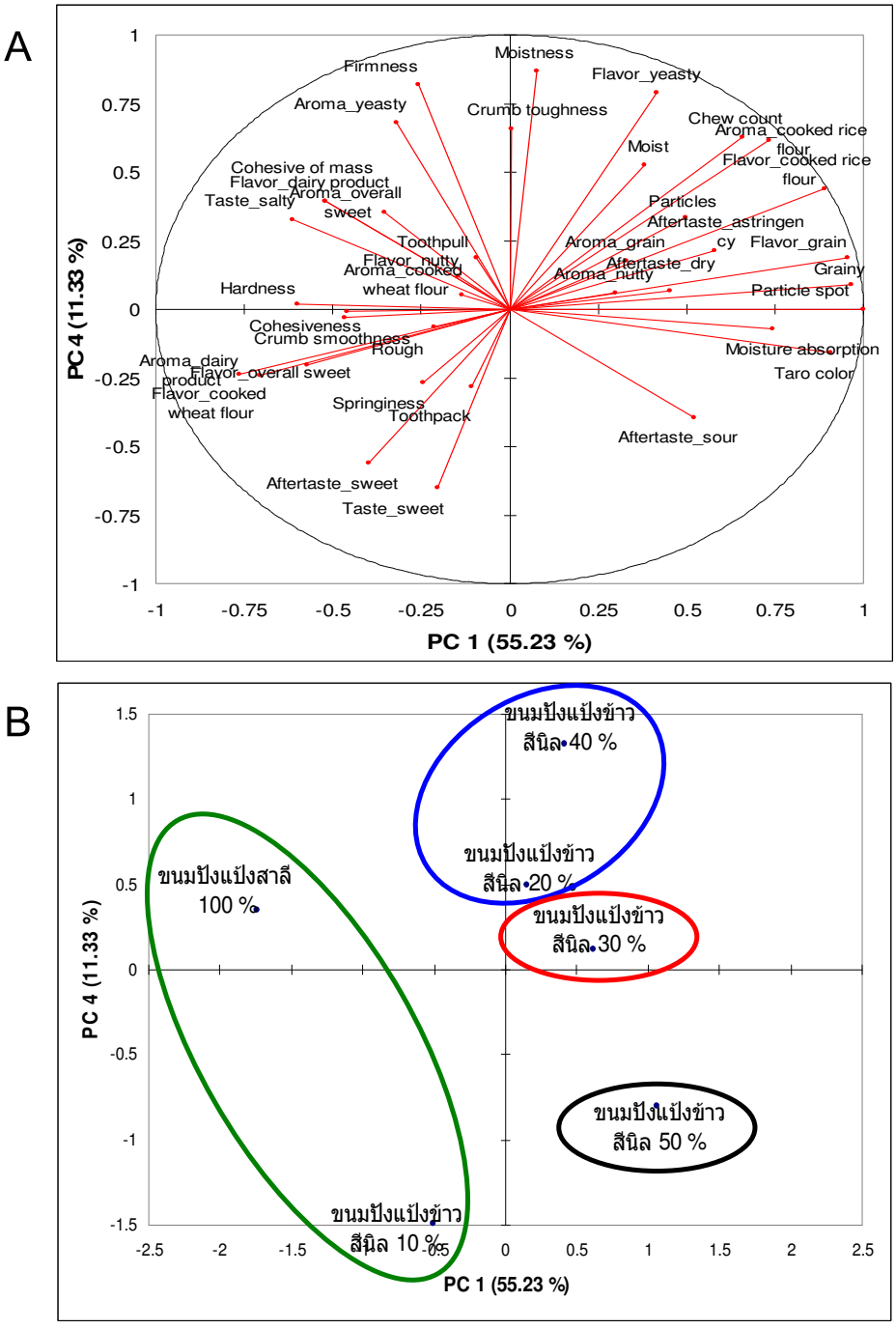
** ตัวเลขเข้ม หมายถึง ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรที่จัดอยู่ในองค์ประกอบนั้น (PC 1, PC 2, PC 3 หรือ PC 4)



ภาพที่ 4.5 แผนภาพ Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ 2 (PC 2) ของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ : (A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (B) Factor score plot ของตัวอย่างเนื้อขนมปัง 6 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.6 แผนภาพ Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ 3 (PC 3) ของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ : (A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (B) Factor score plot ของตัวอย่างเนื้อขนมปัง 6 ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.7 แผนภาพ Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ 4 (PC 4) ของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ : (A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (B) Factor score plot ของตัวอย่างเนื้อขนมปัง 6 ตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาแผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาและตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ (ภาพที่ 4.5 ถึง 4.7) ร่วมกับเทคนิควิธีการจัดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ Hierarchical cluster analysis ดังภาพที่ 4.8 พบว่า สามารถแบ่งตัวอย่างเนื้อขนมปังตามลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ออกได้เป็น 4 กลุ่ม (cluster) โดยแต่ละกลุ่มจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันดังนี้

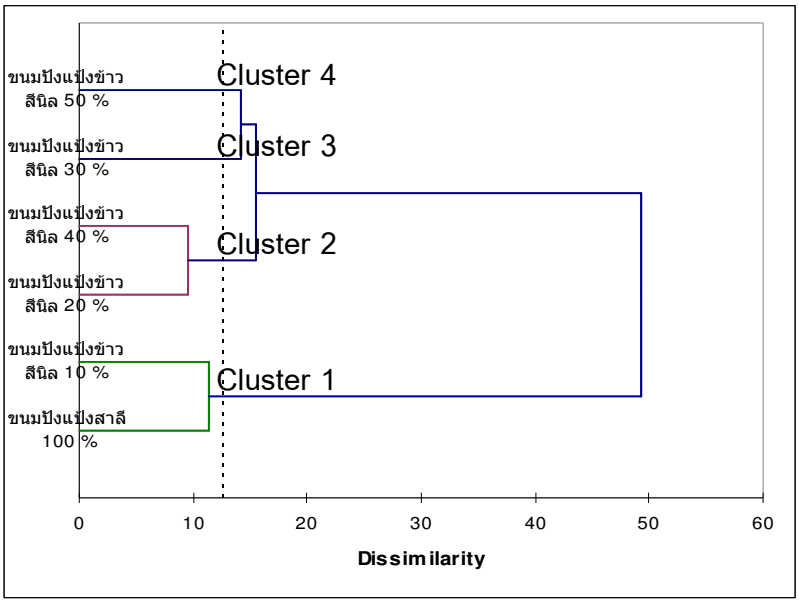
กลุ่มที่ 1 (cluster 1) ประกอบไปด้วยตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วน และเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณน้อย คือ ร้อยละ 10 ตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีความแข็ง (เมื่อกดด้วยนิ้วมือ) การเกาะติดฟัน กลิ่นรสแป้งสาลีสุก กลิ่นผลิตภัณฑ์นม รสเค็ม และรสหวานตกค้างมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่น มีความเรียบและความยืดหยุ่นปานกลาง แต่มีจุดในเนื้อขนมปัง สีเผือกกวน อนุภาคตกค้าง ความรู้สึกเป็นทราย กลิ่นรสธัญพืช กลิ่นแป้งข้าวสุก และกลิ่นรสแป้งข้าวสุกน้อย เนื่องจากเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้แป้งสาลีล้วนหรือใช้แป้งข้าวสีนิลในปริมาณน้อย ผู้ทดสอบจึงสามารถรับรู้กลิ่นรสและรสชาติตามธรรมชาติจากแป้งสาลีที่ผ่านการให้ความร้อนได้มากกว่ากลิ่นและกลิ่นรสแป้งข้าวสุกจากแป้งข้าวสีนิล การใช้แป้งสาลีล้วนหรือใช้แป้งข้าวสีนิลในปริมาณน้อย ทำให้เกิดจุดสีจากอนุภาคของแป้งข้าวสีนิลที่เป็นสีม่วงในเนื้อขนมปังได้น้อย และยังทำให้เกิดความรู้สึกเป็นทรายและอนุภาคตกค้างได้น้อยกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นด้วย

กลุ่มที่ 2 (cluster 2) ประกอบไปด้วยตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณปานกลางถึงมาก คือ ร้อยละ 20 และ 40 เนื่องจากมีการใช้แป้งข้าวสีนิลเป็นส่วนผสมในปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้ตัวอย่างเนื้อขนมปังในกลุ่มนี้ มีจุดในเนื้อขนมปัง สีเผือกกวน ความรู้สึกเป็นทราย กลิ่นรสธัญพืช กลิ่นแป้งข้าวสุก และกลิ่นรสแป้งข้าวสุกในระดับปานกลางถึงค่อนข้างมาก มีจำนวนการเคี้ยวตัวอย่างและกลิ่นรสขมตกค้างมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 (cluster 1) มีความเรียบ ความชื้น (เมื่อมองด้วยตา) และความหยาบ และการเกาะติดฟันปานกลาง แต่จะมีความแข็ง (เมื่อกดด้วยนิ้วมือ) กลิ่นผลิตภัณฑ์นม รสชาติหวานตกค้างน้อย เมื่อเทียบกับตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 (cluster 1) รวมทั้งยังมีกลิ่นรสแป้งสาลีน้อย เพราะปริมาณแป้งสาลีในส่วนผสมที่ลดลง

กลุ่มที่ 3 (cluster 3) เป็นตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณปานกลาง คือ ร้อยละ 30 ตัวอย่างจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับตัวอย่างในกลุ่มที่ 2 (cluster 2) คือ มีจุดในเนื้อขนมปัง สีเผือกกวน ความรู้สึกเป็นทราย กลิ่นแป้งข้าวสุก และกลิ่นรสแป้งข้าวสุกในระดับปานกลาง เพราะมีการใช้แป้งข้าวสีนิล

เป็นส่วนผสมในปริมาณที่มากขึ้น มีจำนวนการเคี้ยวตัวอย่างมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 (cluster 1) นอกจากนี้ยังมีความเหนียวของเนื้อ กลิ่นธัญพืช และกลิ่นถั่วมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ มีความเรียบ ความชื้น (เมื่อมองด้วยตา) ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นปานกลาง แต่มีความเหนียวในการดึงฟัน ความแข็ง รสหวานตกค้าง รวมทั้งกลิ่นและกลิ่นรสแป้งสาลีสุกน้อย เพราะปริมาณแป้งสาลีในส่วนผสมที่ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 (cluster 1)

กลุ่มที่ 4 (cluster 4) เป็นตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 50 ตัวอย่างจะมีจุดในเนื้อขนมปังและสีเผือกกวนจากแป้งข้าวสีนิลมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่น นอกจากนี้ยังมีความรู้สึกเป็นทรายและอนุภาคตกค้างที่เกิดจากอนุภาคที่บดไม่ละเอียดของแป้งข้าวสีนิล กลิ่นแป้งข้าวสุก กลิ่นรสแป้งข้าวสุก รสเปรี้ยวตกค้าง และรสขมตกค้างมาก อย่างไรก็ดีตัวอย่างจะมีความเรียบของเนื้อ ความเหนียวของเนื้อ ความยืดหยุ่น การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว และกลิ่นรสแป้งสาลีสุกน้อยกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ



ภาพที่ 4.8 แผนภาพการจัดแบ่งกลุ่มตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ Hierarchical cluster analysis โดยใช้ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

4.2.2.6 การยอมรับของผู้บริโภค

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคแสดงดังตารางที่ 4.17 จะเห็นว่า ขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดในทุกๆ ด้าน โดยมีคะแนนการยอมรับในด้านสีของเนื้อขนมปัง และลักษณะโพรงอากาศมากกว่าขนมปังแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีที่ทุกอัตราส่วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 50 จะได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับขนมปังสูตรอื่นๆ

อย่างไรก็ตามพบว่า คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรส รสชาติ ความนุ่มและเนื้อสัมผัสโดยรวมของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วน และขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับไม่เกินร้อยละ 30 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวม พบว่า ขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนได้รับคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมมากกว่าขนมปังสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 10 ถึง 30 มีคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และมีคะแนนสูงกว่าขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 40 และ 50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.17)

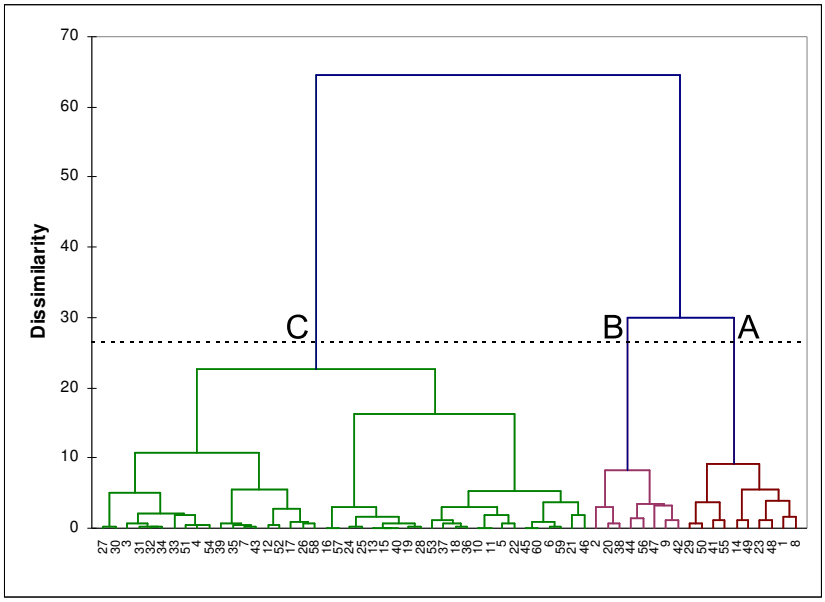
ตารางที่ 4.17 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

ลักษณะ	อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี					
ทางประสาทสัมผัส	0:100	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50
สีของเนื้อขนมปัง	6.50 ± 1.50 [a]	5.72 ± 1.44 [b]	5.68 ± 1.16 [b]	5.82 ± 1.20 [b]	5.68 ± 1.44 [b]	5.80 ± 1.58 [b]
ลักษณะโพรงอากาศ	6.15 ± 1.26 [a]	5.62 ± 1.26 [bc]	5.72 ± 1.04 [b]	5.60 ± 1.18 [bc]	5.35 ± 1.16 [bc]	5.30 ± 1.51 [c]
กลิ่นรส	6.00 ± 1.34 [a]	5.65 ± 1.18 [ab]	5.78 ± 1.20 [ab]	5.83 ± 1.06 [ab]	5.47 ± 1.28 [b]	5.03 ± 1.65 [c]
รสชาติ	6.13 ± 1.59 [a]	5.88 ± 1.14 [ab]	5.88 ± 1.30 [ab]	5.88 ± 1.09 [ab]	5.47 ± 1.42 [b]	4.83 ± 1.60 [c]
ความนุ่ม	6.35 ± 1.42 [a]	6.00 ± 1.18 [ab]	5.98 ± 1.48 [ab]	5.95 ± 1.35 [ab]	5.62 ± 1.62 [b]	4.28 ± 1.81 [c]
เนื้อสัมผัสโดยรวม	6.27 ± 1.44 [a]	5.90 ± 1.09 [a]	5.92 ± 1.28 [a]	5.90 ± 1.07 [a]	5.33 ± 1.56 [b]	4.57 ± 1.78 [c]
ความชอบโดยรวม	6.32 ± 1.35 [a]	5.87 ± 1.11 [b]	5.88 ± 1.20 [b]	5.85 ± 1.12 [b]	5.40 ± 1.59 [c]	4.53 ± 1.75 [d]

[a, b, c, ...] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.2.7 **แผนผังความชอบของผู้บริโภค** (Internal Preference Mapping)

เมื่อนำผลคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวม จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 60 คน มาใช้ในการจัดกลุ่มผู้บริโภคด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis ดังภาพที่ 4.9 พบว่า สามารถแบ่งผู้บริโภคออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A, B และ C มีจำนวนสมาชิกในแต่ละกลุ่มเท่ากับ 10, 8 และ 42 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 16.67, 13.33 และ 70 ของผู้บริโภคทั้งหมดที่เข้าร่วมการทดสอบ ตามลำดับ โดยคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่ม ที่มีต่อเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.18



ภาพที่ 4.9 แผนภาพการจัดกลุ่มผู้บริโภค ด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ Hierarchical cluster analysis โดยใช้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมจากการทดสอบการยอมรับของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4.18 คะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อจำแนกผู้บริโภคตาม cluster *

อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวสีนิล:แป้งสาลี	คะแนนด้านความชอบโดยรวม			
	ผู้บริโภคกลุ่ม A	ผู้บริโภคกลุ่ม B	ผู้บริโภคกลุ่ม C	ผู้บริโภคทั้งหมด **
0:100	5.50 ^{b}	5.13 ^{bc}	6.74 ^{a}	6.32 ^{a}
10:90	5.50 ^{b}	6.00 ^{a}	5.93 ^{b}	5.87 ^{b}
20:80	6.20 ^{b}	6.38 ^{a}	5.71 ^{b}	5.88 ^{b}
30:70	6.20 ^{b}	5.63 ^{b}	5.79 ^{b}	5.85 ^{b}
40:60	7.10 ^{a}	4.88 ^{c}	5.10 ^{c}	5.40 ^{c}
50:50	6.30 ^{ab}	6.00 ^{a}	3.83 ^{d}	4.53 ^{d}

$^{a, b, c, \cdots}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

* ผู้บริโภคกลุ่ม A มีจำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 16.67 ของผู้บริโภคทั้งหมด, ผู้บริโภคกลุ่ม B มีจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33 ของผู้บริโภคทั้งหมด และผู้บริโภคกลุ่ม C มีจำนวน 42 คน คิดเป็นร้อยละ 70 ของผู้บริโภคทั้งหมด

** ผู้บริโภคทั้งหมด มีจำนวน 60 คน

เมื่อนำข้อมูลการจัดกลุ่มผู้บริโภคที่วิเคราะห์ได้ มาใช้ในการสร้างแผนผังความชอบของผู้บริโภค (Preference mapping) ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.10 และเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่ม (ตารางที่ 4.18) ร่วมกับแผนผังความชอบของผู้บริโภคที่วิเคราะห์ได้ (ภาพที่ 4.10) พบว่าผู้บริโภคทั้งสามกลุ่มจะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของตัวอย่างเนื้อขนมปังนั้น ดังนี้

ผู้บริโภคในกลุ่ม A (10 คน) คิดเป็นร้อยละ 16.67 ของผู้บริโภคทั้งหมด จะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลเป็นส่วนผสมในปริมาณมาก ได้แก่ ตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 40 และ 50 การใช้แป้งข้าวสีนิลในปริมาณมาก ทำให้ตัวอย่างเนื้อขนมปังดังกล่าวมีลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเผือกกวน จุดในเนื้อขนมปัง กลิ่น/กลิ่นรสแป้งข้าวสุก ความรู้สึกเป็นทราย และอนุภาคตกค้างมาก และยังทำให้เกิดความรู้สึกแห้ง ฝาดเฝื่อน รวมทั้งเกิดรสเปรี้ยวตกค้างหลังการกลืนอีกด้วย อย่างไรก็ดีตัวอย่างเนื้อขนมปังข้างต้นจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความยืดหยุ่น ความแข็ง ความแน่นเนื้อ

และความเหนียวของเนื้อขนมปังน้อย เนื่องจากการทดแทนด้วยแป้งข้าวสีนิลในปริมาณมากจะไปเจือจางโปรตีนกลูเตนจากแป้งสาลี ส่งผลให้โดและโครงสร้างของขนมปังที่ผลิตได้มีความอ่อนแอ (เนื้อทอง และคณะ, 2544) เนื้อสัมผัสของขนมปังผลิตที่ได้จึงไม่ค่อยมีความยืดหยุ่น แต่จะมีความร่วนมากกว่าขนมปังจากแป้งสาลีล้วน นอกจากนี้ยังมีกลิ่น/กลิ่นรสแป้งสาลีสุกที่น้อยซึ่งเป็นไปตามปริมาณแป้งสาลีในสูตรที่น้อยลงเมื่อเทียบกับเนื้อขนมปังจากแป้งสาลีล้วน

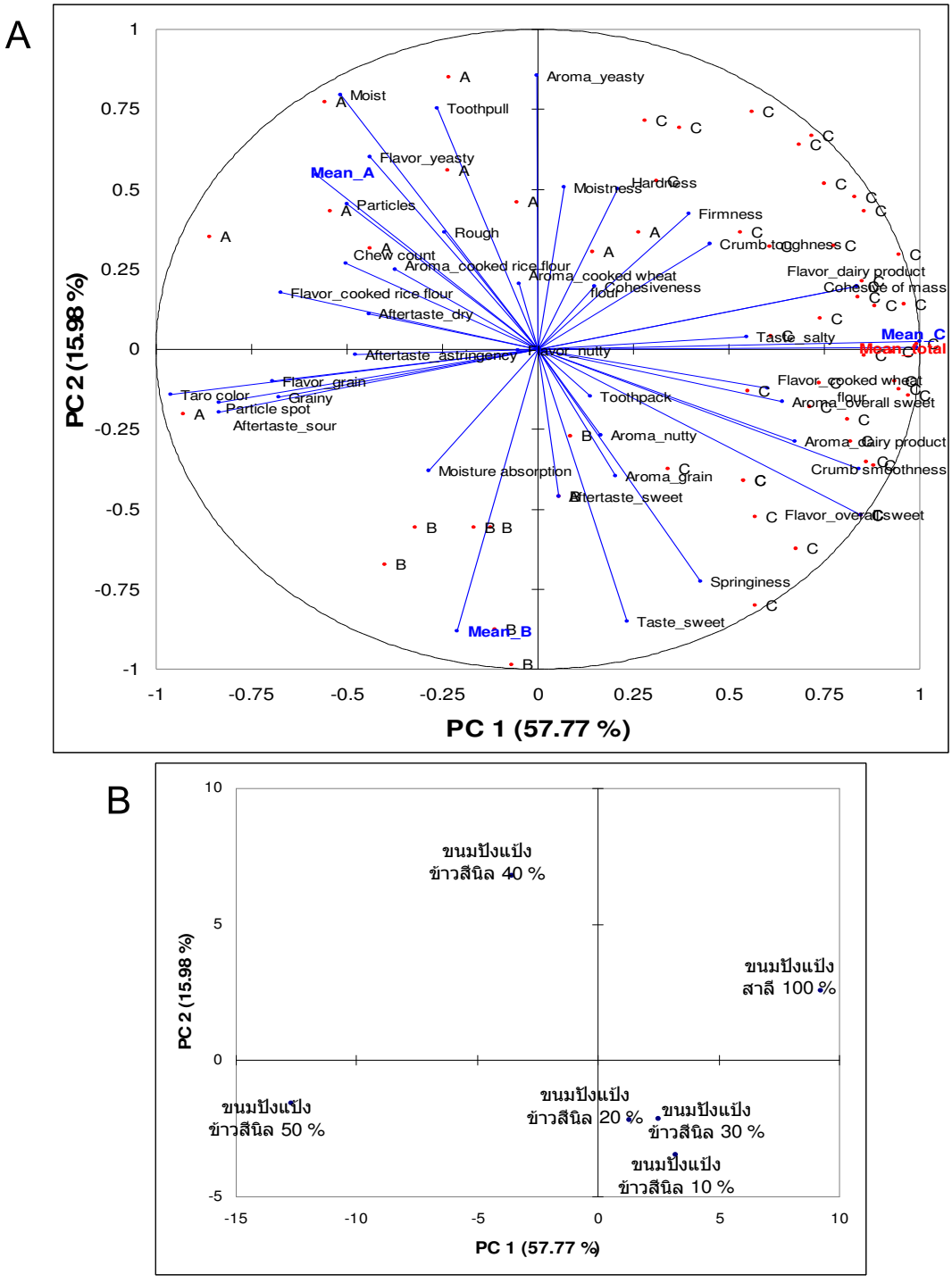
ผู้บริโภคในกลุ่ม B (8 คน) คิดเป็นร้อยละ 13.33 ของผู้บริโภคทั้งหมด จะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลเป็นส่วนผสมในปริมาณน้อยถึงปานกลาง ได้แก่ ตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 10, 20 และ 30 ตัวอย่างเนื้อขนมปังดังกล่าวมีการดูดน้ำ การเกาะติดฟัน กลิ่นถั่ว และกลิ่นธัญพืชมาก แต่มีความเหนียวในการดึงฟัน รวมทั้งอนุภาคตกค้าง และกลิ่น/กลิ่นรสแป้งข้าวสุกน้อย เพราะใช้แป้งข้าวสีนิลในส่วนผสมน้อยลง สำหรับลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านอื่นๆ ได้แก่ สีเผือกกวน จุดในเนื้อขนมปัง ความรู้สึกเป็นทราย ความยืดหยุ่น รสเปรี้ยวตกค้างหลังการกลืน และกลิ่น/กลิ่นรสแป้งสาลีสุกจะมีอยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่า ผู้บริโภคในกลุ่ม B บางคน จะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 50 อีกด้วย (ตารางที่ 4.18)

ผู้บริโภคในกลุ่ม C (42 คน) คิดเป็นร้อยละ 70 ของผู้บริโภคทั้งหมด ซึ่งเป็นกลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่ จะมีความชอบต่อขนมปังสูตรปกติ คือ ขนมปังจากแป้งสาลีล้วน ซึ่งมีลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความแข็ง และความแน่นเนื้อที่เหมาะสม กล่าวคือ มีเนื้อขนมปังที่ไม่ร่วนเหมือนกับตัวอย่างที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวสีนิลในปริมาณมาก มีความเหนียวของเนื้อ ความเรียบของเนื้อ การเกาะกันของตัวอย่าง (เมื่อกัด) การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยวมาก และยังมีกลิ่น/กลิ่นรสแป้งสาลีสุกมาก เพราะใช้แป้งสาลีล้วนในการผลิต ในขณะที่ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีเผือกกวน จุดในเนื้อขนมปัง กลิ่น/กลิ่นรสแป้งข้าวสุก ความรู้สึกเป็นทราย ความรู้สึกแห้ง ฝาดเฝื่อน รวมทั้งรสเปรี้ยวตกค้าง ซึ่งเกิดจากแป้งข้าวสีนิลจะมีในระดับน้อยหรือไม่มีเลย

เมื่อพิจารณาความชอบของผู้บริโภคทั้งหมด (Mean_Total) พบว่า ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชื่นชอบ คือ ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้จากขนมปังปกติซึ่งผลิตจากแป้งสาลีล้วน ได้แก่ ลักษณะทางเนื้อสัมผัสต่างๆ เช่น มีความแข็งและความแน่นเนื้อของเนื้อขนมปังที่เหมาะสม ไม่ร่วนจนเกินไป รวมทั้งมีความเหนียวของเนื้อ ความเรียบของเนื้อ และมีการเกาะกันของตัวอย่างเมื่อกัดหรือเคี้ยวมาก นอกจากนี้ผู้บริโภคยังมีความชอบต่อตัวอย่างที่ให้กลิ่น/กลิ่นรสแป้งสาลีสุกมาก ทั้งนี้เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความ

คุ้นเคยกับการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีล้วน จึงให้การยอมรับต่อลักษณะดังกล่าวข้างต้นได้มาก ส่วนลักษณะที่เกิดจากแป้งข้าวสีนิล เช่น จุดในเนื้อขนมปัง กลิ่น/กลิ่นรสแป้งข้าวสุก ความรู้สึกเป็นทราย อนุภาคตกค้าง ความรู้สึกแห้ง ความฝาดเฝื่อน และรสเปรี้ยวตกค้างหลังการกลืนนั้น ผู้บริโภคยังไม่ค่อยมีความคุ้นเคยจึงให้การยอมรับที่น้อยกว่า อย่างไรก็ดี จากแผนผังความชอบ จะพบว่า เราสามารถที่จะพัฒนาตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีให้ผู้บริโภคมีการยอมรับเพิ่มมากขึ้นได้ โดยการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งผสมให้มีความใกล้เคียงกับเนื้อสัมผัสที่ได้จากขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนมากยิ่งขึ้น (ภาพที่ 4.10)

จากผลการวิจัยทั้งหมดข้างต้น เมื่อพิจารณาจากปริมาตรและเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ผลิตได้ ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวน่าจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคใช้ในการเลือกซื้อขนมปัง จะพบว่า ขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนมีปริมาตรสูงที่สุด ส่วนขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 10 ถึง 30 จะมีปริมาตรรองลงมา สำหรับขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 40 ขึ้นไปนั้น จะมีปริมาตรต่ำกว่าขนมปังทั้งสองกลุ่มข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.8) ในส่วนค่าเนื้อสัมผัสที่วัดได้ พบว่า ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 และ 40 จะมีค่าความแน่นเนื้อที่ไม่แตกต่างจากขนมปังแป้งสาลีล้วน ($p > 0.05$) แต่ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 40 จะให้ค่าการคืนตัวที่น้อยกว่าขนมปังจากแป้งสาลีล้วน สำหรับการทดแทนที่ระดับร้อยละ 50 พบว่า จะให้ค่าเนื้อสัมผัสที่ด้อยกว่าค่าเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งสาลีล้วนในทุกๆ ด้าน (ตารางที่ 4.10) นอกจากนี้จากผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า ขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วนได้รับคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด ส่วนขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 10 ถึง 30 จะมีคะแนนรองลงมา โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากเหตุผลข้างต้นจึงเลือกการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสีนิลในระดับร้อยละ 30 ไปใช้สำหรับการผลิตขนมปัง เนื่องจากมีปริมาณแป้งข้าวสีนิลในสูตรมากที่สุด โดยที่คุณภาพของขนมปังที่ผลิตได้ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา พบว่า สามารถทำให้ผู้บริโภคมีการยอมรับขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีเพิ่มมากขึ้นได้ โดยการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งผสมให้มีความใกล้เคียงกับเนื้อสัมผัสที่ได้จากขนมปังแป้งสาลีล้วน ดังนั้นการทดลองในลำดับถัดไป ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเติมสารปรับปรุงคุณภาพขนมปังลงไปในสูตร ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะกล่าวในรายละเอียดต่อไป



ภาพที่ 4.10 แผนผังความชอบของผู้บริโภค ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ :
(A) แผนผังความชอบ (B) ตำแหน่งของตัวอย่างเนื้อขนมปัง 6 ตัวอย่าง

4.3 การศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปังในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

4.3.1 การศึกษาชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง

ผลของชนิดสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง ได้แก่ สูตรควบคุม (ไม่เติมสารปรับปรุงคุณภาพ), Sodium stearoyl-2-lactylate (SSL) ร้อยละ 0.5, Xanthan gum ร้อยละ 1.5 และ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง ที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพ (ปริมาตร น้ำหนัก ปริมาตรจำเพาะ และเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 แสดงดังตารางที่ 4.19 – 4.24 และภาพที่ 4.11 – 4.14 ดังมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1.1 ปริมาตร น้ำหนัก และปริมาตรจำเพาะ

การเติมสารปรับปรุงคุณภาพชนิดต่างๆ ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 ที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมปังอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ จะมีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ ขนมปังสูตรที่ใช้ SSL ร้อยละ 0.5 ซึ่งขนมปังทั้งสองสูตรจะมีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะมากกว่าขนมปังสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.19 ทั้งนี้เนื่องจาก KS 505 มีส่วนประกอบเป็นโมโนและไดกลีเซอร์ไรด์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งจะไปช่วยจับไขมันและน้ำอิสระในโดให้ผสมเข้าด้วยกันได้ดีขึ้น รวมทั้งช่วยให้ไขมันมีการกระจายตัวในเนื้อโดได้อย่างสม่ำเสมอมากขึ้น ทำให้โดมีความยืดหยุ่นและกักเก็บก๊าซได้มากขึ้น ปริมาตรขนมปังจึงเพิ่มขึ้น ในส่วนของ SSL นั้น จัดเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์เช่นเดียวกัน โดยหมู่ไฮโดรฟิลิคและหมู่ไลโปฟิลลิคของ SSL จะไปสร้างพันธะที่แข็งแรงกับโปรตีนกลูเตนและส่วนของอะไมโลสในสตาร์ช ทำให้โดมีความแข็งแรง สามารถกักเก็บก๊าซได้มากขึ้น ช่วยให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรที่ดี (Pyler, 1988)

อย่างไรก็ดีขนมปังที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 1.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ พบว่า จะมีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะต่ำที่สุด และมีค่าน้อยกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.19) จากการสังเกตของผู้วิจัยพบว่า โดที่เติม Xanthan gum นั้นจะมีความหนืดและค่อนข้างแข็งมากกว่าโดสูตรอื่นๆ กล่าวคือ โดขนมปังที่เติม Xanthan gum จะมีค่าความต้านทานต่อการยืดขยายของโด (resistance) ที่มากกว่าโดขนมปังสูตรอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้โดขยายตัวขณะอบได้น้อยลง ทำให้ขนมปังที่ผลิตได้มีปริมาตรต่ำ (Pyler, 1988) ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับรายงานของ Nishita และคณะ (1976) ที่ระบุว่า การนำ

Xanthan gum มาใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพในการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้า จะให้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำ

ตารางที่ 4.19 ผลของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปังชนิดต่างๆ ต่อปริมาตร น้ำหนัก และปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30

ชนิดสารปรับปรุงคุณภาพ	ปริมาตร (cm^3)	น้ำหนัก (g) ^{ns}	ปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g)
สูตรควบคุม	1876.33 $\pm$ 36.06 ^{c}	476.50 $\pm$ 3.54	3.94 $\pm$ 0.05 ^{c}
SSL	2171.00 $\pm$ 28.87 ^{b}	478.98 $\pm$ 1.87	4.53 $\pm$ 0.05 ^{b}
Xanthan gum	1690.00 $\pm$ 23.09 ^{d}	482.05 $\pm$ 0.85	3.51 $\pm$ 0.05 ^{d}
KS 505	2275.67 $\pm$ 15.28 ^{a}	473.63 $\pm$ 0.86	4.80 $\pm$ 0.03 ^{a}

$^{a, b, c, \ldots}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.3.1.2 เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) แสดงดังตารางที่ 4.20 จะเห็นว่า ขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ มีค่าความแน่นเนื้อ (firmness) น้อยกว่า หรือมีความนุ่มมากกว่าขนมปังที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดอื่นๆ รวมทั้งสูตรควบคุม (ไม่เติมสารปรับปรุงคุณภาพ) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากใน KS 505 มีส่วนประกอบเป็นโมโนและไดกลีเซอร์ไรด์ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ช่วยลดการพองตัวและการเกิดผลึกของแป้ง ลดความแข็งแรงของพันธะระหว่างเม็ดแป้งและกลูเตน และลดการเกิดพันธะข้ามของโปรตีนในโด ทำให้ความแน่นของเนื้อขนมปังมีค่าลดลง ช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ผลิตได้ดีขึ้น (พรวีนัส, 2544) สำหรับขนมปังสูตรที่ใช้ SSL ร้อยละ 0.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ พบว่า มีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าขนมปังสูตรควบคุมเช่นเดียวกัน ($p \leq 0.05$) แต่ยังมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าเมื่อเทียบกับขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 โดย SSL เป็นสารเสริมคุณภาพซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ช่วยทำขนมปังที่ได้มีเนื้อละเอียดและมีปริมาตรที่ดี (Pyler, 1988) ส่วนขนมปังที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 1.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพนั้น พบว่า มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด และมากกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากโดที่เติม Xanthan gum จะค่อนข้างแข็งมากกว่าโดขนมปังที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพ

ชนิดอื่น ทำให้เกิดการพองตัวได้น้อยขณะอบ จึงได้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำและมีความแน่นเนื้อมากกว่าขนมปังสูตรอื่น

ค่าการคืนตัว (springiness) ของขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพมีค่ามากกว่าขนมปังที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าการเกาะกันของตัวอย่าง (cohesiveness) พบว่า ขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5, Xanthan gum ร้อยละ 1.5 และสูตรควบคุม มีค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และมีค่าสูงกว่าขนมปังสูตรที่ใช้ SSL ร้อยละ 0.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.20) ขนมปังสูตรที่ใช้ Xanthan gum ร้อยละ 1.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพถึงแม้ว่าจะมีค่าความแน่นเนื้อสูง แต่ยังมีค่าการเกาะกันของตัวอย่างที่เหมาะสม กล่าวคือ การใช้ Xanthan gum ร้อยละ 1.5 จะทำให้ขนมปังที่ผลิตได้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งแต่มีความเป็นเนื้อเดียวกันดี เนื้อขนมปังที่ได้จะไม่ค่อยร่วน ทั้งนี้เนื่องจาก Xanthan gum มีคุณสมบัติในการเป็นสารยึดเกาะ จึงช่วยกักเก็บน้ำไว้ในโด และช่วยปรับปรุงคุณภาพโดขนมปังให้เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น (กนกกานต์, 2545)

ในส่วนของค่า gumminess และ chewiness พบว่า มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันและสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อ (firmness) (ตารางที่ 4.20) โดยขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ จะมีค่า gumminess และ chewiness น้อยกว่าขนมปังที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดอื่นๆ รวมทั้งสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพจะมีความนุ่มมากที่สุด (มีค่าความแน่นเนื้อน้อยที่สุด) จึงมีความยากในการเคี้ยวน้อยที่สุด (ค่า gumminess และ chewiness น้อยที่สุด) เมื่อเทียบกับขนมปังที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดอื่นๆ รวมทั้งสูตรควบคุม

ตารางที่ 4.20 ผลของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปังชนิดต่างๆ ต่อค่าเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30

ชนิด	ค่าเนื้อสัมผัส				
สารปรับปรุงคุณภาพ	firmness (g)	springiness	cohesiveness	gumminess (g)	chewiness (g)
สูตรควบคุม	303.09 $\pm$ 8.19 ^{b}	0.97 $\pm$ 0.01 ^{b}	0.72 $\pm$ 0.01 ^{a}	217.65 $\pm$ 4.20 ^{b}	210.02 $\pm$ 5.04 ^{b}
SSL	261.15 $\pm$ 14.35 ^{c}	0.92 $\pm$ 0.01 ^{c}	0.69 $\pm$ 0.01 ^{b}	179.67 $\pm$ 11.07 ^{c}	165.26 $\pm$ 9.82 ^{c}
Xanthan gum	571.65 $\pm$ 9.73 ^{a}	0.90 $\pm$ 0.02 ^{c}	0.71 $\pm$ 0.01 ^{a}	408.14 $\pm$ 7.49 ^{a}	367.41 $\pm$ 11.15 ^{a}
KS 505	192.63 $\pm$ 1.67 ^{d}	0.99 $\pm$ 0.01 ^{a}	0.74 $\pm$ 0.02 ^{a}	142.35 $\pm$ 1.63 ^{d}	140.58 $\pm$ 1.59 ^{c}

$^{a, b, c, ...}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.1.3 ลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบเชิงพรรณนา

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive test) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ สูตรควบคุม (ไม่เติมสารปรับปรุงคุณภาพ), Sodium stearoyl-2-lactylate (SSL) ร้อยละ 0.5, Xanthan gum ร้อยละ 1.5 และ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง โดยประเมินแยกกันในส่วนของเปลือก (crust) และเนื้อขนมปัง (crumb) มีรายละเอียดดังนี้

4.3.1.3.1 เปลือกขนมปัง

ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดสารปรับปรุงคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 4.21

เมื่อนำผลระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพ ทั้ง 17 ลักษณะ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) โดยตัดตัวแปร ได้แก่ รสหวาน (Taste_sweet) และรสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) ออก เนื่องจากระดับความเข้มของลักษณะดังกล่าวมีค่าเท่ากันทุกตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถสร้างองค์ประกอบใหม่ได้ 2 องค์ประกอบหลัก (principal component, PC) ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 91.65 ดังตารางที่ 4.22 สำหรับแผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสจำนวน 15 ลักษณะ และตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพทั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.21 ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพ

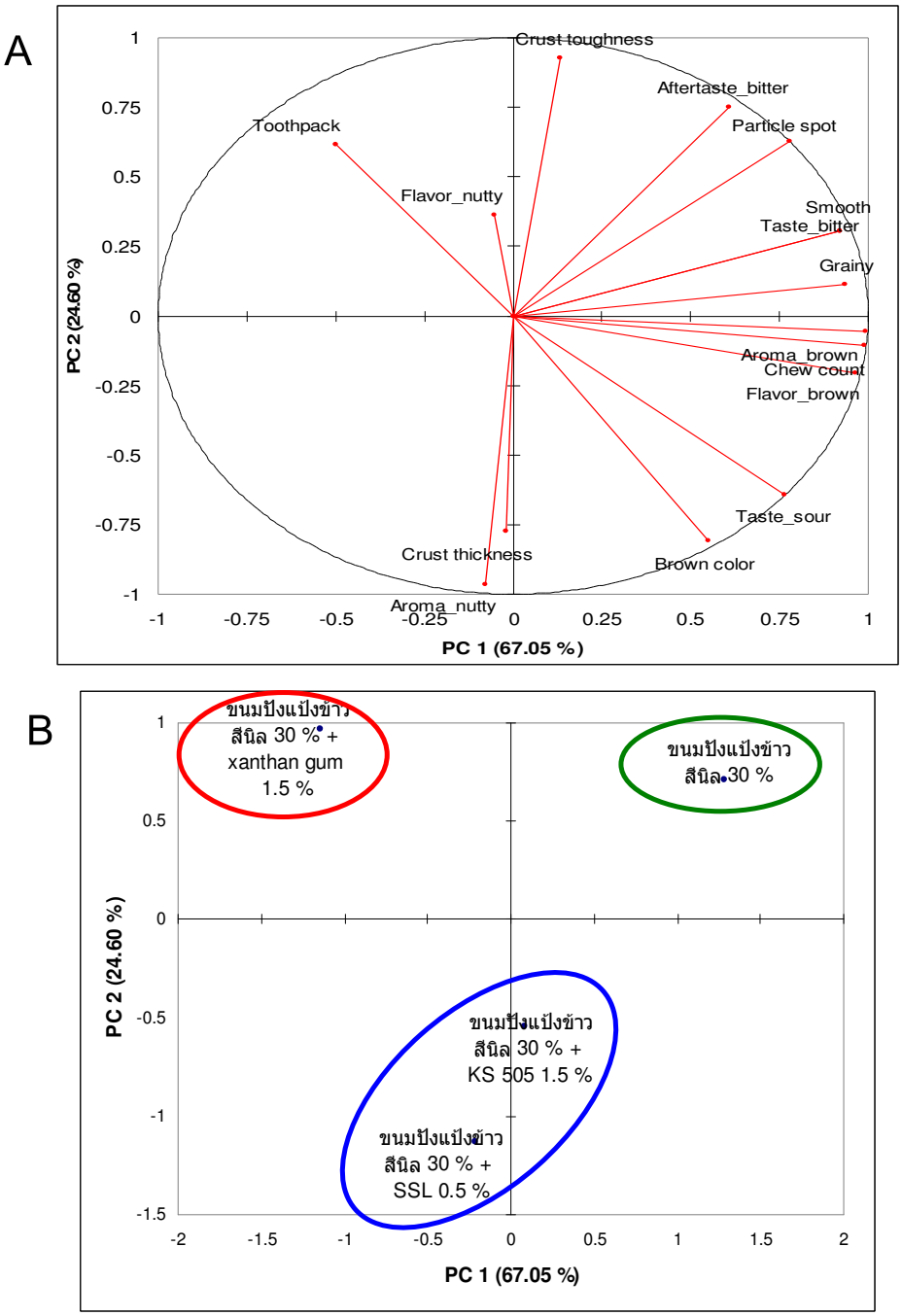
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดต่างๆ			
	สูตรควบคุม	SSL	Xanthan gum	KS 505
ลักษณะปรากฏ				
สีน้ำตาล	12.0	12.5	11.0	12.0
ความเรียบ	6.5	5.5	5.5	6.0
ความหนาของเปลือก	7.0	7.5	7.0	8.0
จุดในเปลือกขนมปัง	5.0	3.0	3.5	3.5
กลิ่น				
กลิ่นเกรียม	9.0	7.5	6.5	8.0
กลิ่นถั่ว	1.5	2.0	1.5	2.0
กลิ่นรส				
กลิ่นรสเกรียม	9.0	8.0	7.0	8.5
กลิ่นรสถั่ว	2.0	2.0	2.0	1.5
รสหวาน	1.5	1.5	1.5	1.5
รสเปรี้ยว	2.0	2.0	1.5	2.0
รสขม	3.0	2.0	2.0	2.5
ความรู้สึกตกค้าง				
รสหวานตกค้าง	0.5	0.5	0.5	0.5
รสขมตกค้าง	1.5	0.5	1.0	1.0
เนื้อสัมผัส				
ความเหนียวของเปลือก	5.0	3.5	5.0	4.5
ความรู้สึกเป็นทราย	5.0	3.5	2.5	3.0
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง	7.0	6.5	6.0	6.5
การเกาะติดฟัน	2.5	2.5	3.0	2.0

ตารางที่ 4.22 ค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**	
	PC 1	PC 2
ลักษณะปรากฏ		
ความเรียบ (Smooth)	**0.919**	0.303
จุดในเปลือกขนมปัง (Particle spot)	**0.780**	0.626
ความหนาของเปลือก (Crust thickness)	-0.019	**-0.773**
สีน้ำตาล (Brown color)	0.550	**-0.809**
กลิ่น		
กลิ่นเกรียม (Aroma_brown)	**0.994**	-0.056
กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty)	-0.077	**-0.966**
กลิ่นรส		
กลิ่นรสเกรียม (Flavor_brown)	**0.962**	-0.206
รสขม (Taste_bitter)	**0.919**	0.303
รสเปรี้ยว (Taste_sour)	**0.763**	-0.643
กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty)	-0.053	**0.364**
รสหวาน (Taste_sweet) *	0.000	0.000
ความรู้สึกตกค้าง		
รสขมตกค้าง (Aftertaste_bitter)	0.610	**0.749**
รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) *	0.000	0.000
เนื้อสัมผัส		
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count)	**0.990**	-0.104
ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy)	**0.933**	0.115
ความเหนียวของเปลือก (Crust toughness)	0.132	**0.925**
การเกาะติดฟัน (Toothpack)	-0.500	**0.617**
ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวน (ร้อยละ)	**67.05**	**24.60**
ความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ (ร้อยละ)	**91.65**	

* ตัวแปรที่ตัดออกจากการวิเคราะห์ด้วย PCA เนื่องจากมีค่าคงที่ (มีระดับความเข้มเท่ากันทุกตัวอย่าง)

** ตัวเลขเข้ม หมายถึง ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรที่จัดอยู่ในองค์ประกอบนั้น (PC 1 หรือ PC 2)



ภาพที่ 4.11 แผนภาพ Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ 2 (PC 2) ของเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง :

(A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

(B) Factor score plot ของตัวอย่างเปลือกขนมปัง 4 ตัวอย่าง

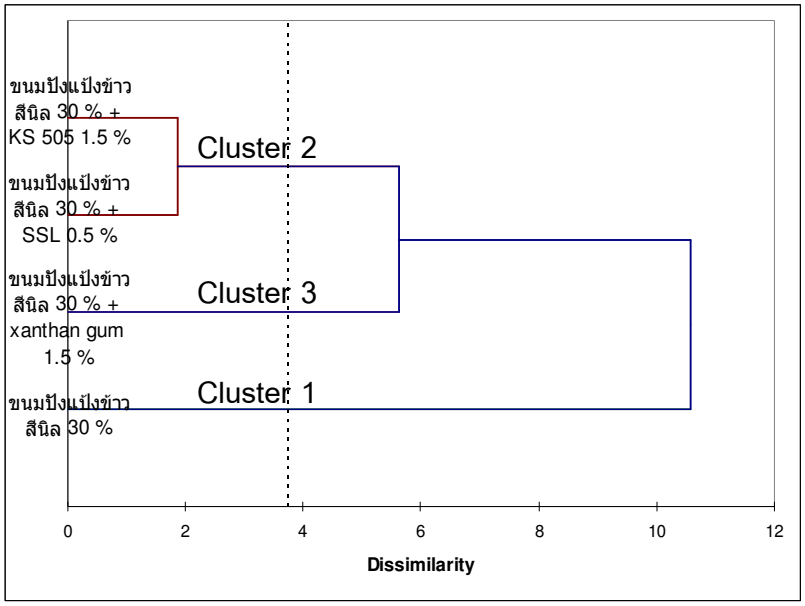
องค์ประกอบที่ 1 (PC 1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 67.05 ประกอบด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเรียบ (Smooth) จุดในเปลือกขนมปัง (Particle spot) กลิ่นเกรียม (Aroma_brown) กลิ่นรสเกรียม (Flavor_brown) รสขม (Taste_bitter) รสเปรี้ยว (Taste_sour) จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count) และความรู้สึกเป็นทราย (Grainy) ซึ่งทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านบวก สำหรับองค์ประกอบที่ 2 (PC 2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 24.60 ประกอบไปด้วยลักษณะด้านกลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) รสขมตกค้าง (Aftertaste_bitter) ความเหนียวของเปลือก (Crust toughness) และการเกาะติดฟัน (Toothpack) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านบวก และลักษณะด้านความหนาของเปลือก (Crust thickness) สีน้ำตาล (Brown color) และกลิ่นถั่ว (Aroma_nutty) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านลบ (ตารางที่ 4.22)

เมื่อพิจารณาแผนภาพ PCA ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาและตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง (ภาพที่ 4.11) ร่วมกับเทคนิควิธีการจัดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ Hierarchical cluster analysis ดังภาพที่ 4.12 พบว่า สามารถแบ่งตัวอย่างเปลือกขนมปังตามลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ออกได้เป็น 3 กลุ่ม (cluster) โดยแต่ละกลุ่มจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันดังนี้

กลุ่มที่ 1 (cluster 1) เป็นตัวอย่างเปลือกขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่เติมสารปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งจะมีความเหนียวของเปลือก ความรู้สึกเป็นทราย จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง รสขม รสขมตกค้าง กลิ่นเกรียม และกลิ่นรสเกรียมมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ มีความหนาของเปลือก และกลิ่นถั่วปานกลาง

กลุ่มที่ 2 (cluster 2) ประกอบด้วยตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้ KS 505 และ SSL เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ ตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีความหนาของเปลือกและกลิ่นถั่วมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่น แต่จะมีความเหนียวของเปลือกน้อย และมีความรู้สึกเป็นทราย รสขม รสขมตกค้าง กลิ่นเกรียม และกลิ่นรสเกรียมน้อยกว่าตัวอย่างเปลือกขนมปังสูตรควบคุม (cluster 1)

กลุ่มที่ 3 (cluster 3) เป็นตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้ Xanthan gum เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งจะมีความเหนียวของเปลือกและการเกาะติดฟันมาก แต่จะมีสีน้ำตาล ความรู้สึกเป็นทราย จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง รสเปรี้ยว กลิ่นเกรียม และกลิ่นรสเกรียมน้อยกว่าตัวอย่างกลุ่มอื่น



ภาพที่ 4.12 แผนภาพการจัดแบ่งกลุ่มตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง ด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ Hierarchical cluster analysis โดยใช้ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

4.3.1.3.2 **เนื้อขนมปัง**

ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดสารปรับปรุงคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 4.23

เมื่อนำผลระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพ ทั้ง 41 ลักษณะ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยตัดตัวแปร ได้แก่ รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) รสเค็มตกค้าง (Aftertaste_salty) และการเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว (Cohesive of mass) ออก เนื่องจากระดับความเข้มของลักษณะดังกล่าวมีค่าเท่ากันทุกตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถสร้างองค์ประกอบใหม่ได้ 2 องค์ประกอบหลัก (principal component, PC) ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 86.06 ดังตารางที่ 4.24 สำหรับแผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสจำนวน 38 ลักษณะ และตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพ ทั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4.13

ตารางที่ 4.23 ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดต่างๆ			
	สูตรควบคุม	SSL	Xanthan gum	KS 505
ลักษณะปรากฏ				
สีเผือกกวน	4.5	4.0	4.0	4.0
จุดในเนื้อขนมปัง	5.0	3.5	4.0	4.0
ความชื้น	5.5	6.0	6.0	6.0
ความหยาบ	8.0	7.5	8.5	9.0
กลิ่น				
กลิ่นแป้งสาลีสุก	4.0	4.0	5.0	4.5
กลิ่นแป้งข้าวสุก	5.0	4.0	4.5	5.0
กลิ่นหมัก	4.0	4.5	4.5	4.0
กลิ่นหวานโดยรวม	2.5	2.0	2.0	2.5
กลิ่นธัญพืช	3.0	1.5	2.0	2.0
กลิ่นถั่ว	2.0	1.5	1.5	1.5
กลิ่นผลิตภัณฑ์นม	1.5	2.0	1.5	1.5
กลิ่นรส				
กลิ่นรสแป้งสาลีสุก	4.5	4.5	5.5	5.0
กลิ่นรสแป้งข้าวสุก	5.0	4.5	4.5	5.5
กลิ่นรสหมัก	4.0	4.5	4.0	4.5
กลิ่นรสหวานโดยรวม	2.5	2.0	2.0	2.5
กลิ่นรสธัญพืช	2.5	2.0	2.0	2.0
กลิ่นรสถั่ว	1.0	1.5	1.5	2.0
กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม	2.0	2.0	1.5	2.0
รสหวาน	2.0	1.5	1.5	2.0
รสเปรี้ยว	1.5	1.5	1.5	1.0
รสเค็ม	1.5	2.0	1.5	2.0

ตารางที่ 4.23 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดต่างๆ			
	สูตรควบคุม	SSL	Xanthan gum	KS 505
ความรู้สึกตกค้าง				
ความฝาดเฝื่อน	2.0	1.5	1.5	2.0
รสแป้งสาลีสุกตกค้าง	1.5	1.5	1.0	1.5
รสหวานตกค้าง	0.5	0.5	0.5	0.5
รสเปรี้ยวตกค้าง	0.5	1.0	0.5	0.5
รสเค็มตกค้าง	0.5	0.5	0.5	0.5
ความแห้ง	2.5	2.0	2.5	2.0
เนื้อสัมผัส				
ความแข็ง	3.0	3.5	4.5	4.0
ความเรียบของเนื้อ	7.0	6.0	6.0	6.5
ความเหนียวของเนื้อ	4.0	3.5	4.5	3.0
ความยืดหยุ่น	5.5	4.5	4.0	6.0
ความแน่นเนื้อ	5.0	5.5	6.0	6.0
ความเหนียวในการดึงฟัน	4.0	4.5	4.5	4.0
การเกาะกันของตัวอย่าง	7.5	11.0	11.0	11.0
ความชุ่มชื้น	7.5	7.5	7.5	7.0
การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว	8.0	8.0	8.0	8.0
การดูดน้ำ	8.0	7.5	7.5	7.5
ความรู้สึกเป็นทราย	4.0	2.5	2.0	2.5
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง	7.0	7.0	7.5	6.5
การเกาะติดฟัน	3.0	3.5	4.0	3.5
อนุภาคตกค้าง	2.5	2.0	1.5	2.0

ตารางที่ 4.24 ค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง

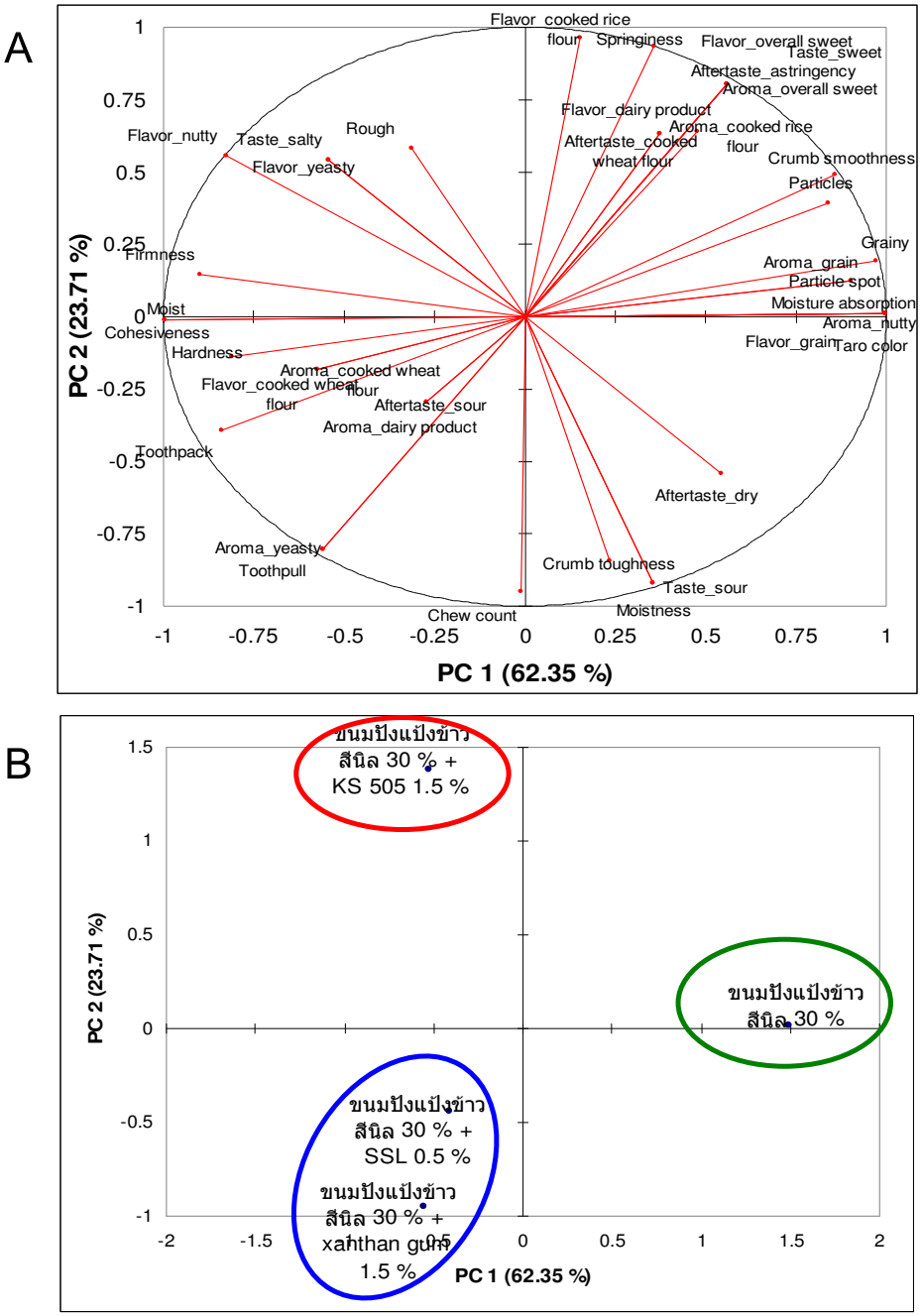
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**	
	PC 1	PC 2
ลักษณะปรากฏ		
สีเผือกกวน (Taro color)	**0.998**	0.009
จุดในเนื้อขนมปัง (Particle spot)	**0.901**	0.125
ความชื้น (Moist)	**-0.998**	-0.009
ความหยาบ (Rough)	-0.313	**0.581**
กลิ่น		
กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty)	**0.998**	0.009
กลิ่นธัญพืช (Aroma_grain)	**0.901**	0.125
กลิ่นแป้งสาลีสุก (Aroma_cooked wheat flour)	**-0.574**	-0.182
กลิ่นหวานโดยรวม (Aroma_overall sweet)	0.558	**0.804**
กลิ่นแป้งข้าวสุก (Aroma_cooked rice flour)	0.478	**0.639**
กลิ่นผลิตภัณฑ์นม (Aroma_dairy product)	-0.272	**-0.295**
กลิ่นหมัก (Aroma_yeasty)	-0.558	**-0.804**
กลิ่นรส		
กลิ่นรสธัญพืช (Flavor_grain)	**0.998**	0.009
กลิ่นรสหมัก (Flavor_yeasty)	**-0.542**	0.541
รสเค็ม (Taste_salty)	**-0.542**	0.541
กลิ่นรสแป้งสาลีสุก (Flavor_cooked wheat flour)	**-0.574**	-0.182
กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty)	**-0.828**	0.557
กลิ่นรสแป้งข้าวสุก (Flavor_cooked rice flour)	0.151	**0.965**
กลิ่นรสหวานโดยรวม (Flavor_overall sweet)	0.558	**0.804**
รสหวาน (Taste_sweet)	0.558	**0.804**
กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม (Flavor_dairy product)	0.372	**0.634**
รสเปรี้ยว (Taste_sour)	0.354	**-0.919**

ตารางที่ 4.24 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**	
	PC 1	PC 2
ความรู้สึกตกค้าง		
ความแห้ง (Aftertaste_dry)	**0.542**	-0.541
ความฝาดเฝื่อน (Aftertaste_astringency)	0.558	**0.804**
รสแป้งสาลีสุกตกค้าง (Aftertaste_cooked wheat flour)	0.372	**0.634**
รสเปรี้ยวตกค้าง (Aftertaste_sour)	-0.272	**-0.295**
รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) *	0.000	0.000
รสเค็มตกค้าง (Aftertaste_salty) *	0.000	0.000
เนื้อสัมผัส		
การดูดน้ำ (Moisture absorption)	**0.998**	0.009
ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy)	**0.972**	0.191
ความเรียบของเนื้อ (Crumb smoothness)	**0.857**	0.490
อนุภาคตกค้าง (Particles)	**0.839**	0.394
ความแข็ง (Hardness)	**-0.812**	-0.138
การเกาะติดฟัน (Toothpack)	**-0.839**	-0.394
ความแน่นเนื้อ (Firmness)	**-0.900**	0.144
การเกาะกันของตัวอย่าง (Cohesiveness)	**-0.998**	-0.009
ความยืดหยุ่น (Springiness)	0.358	**0.934**
ความเหนียวในการดึงฟัน (Toothpull)	-0.558	**-0.804**
ความเหนียวของเนื้อ (Crumb toughness)	0.235	**-0.843**
ความชุ่มชื้น (Moistness)	0.354	**-0.919**
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count)	-0.011	**-0.951**
การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว (Cohesive of mass) *	0.000	0.000
ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวน (ร้อยละ)	**62.35**	**23.71**
ความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ (ร้อยละ)	**86.06**	

* ตัวแปรที่ตัดออกจากการวิเคราะห์ด้วย PCA เนื่องจากมีค่าคงที่ (มีระดับความเข้มเท่ากันทุกตัวอย่าง)

** ตัวเลขเข้ม หมายถึง ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรที่จัดอยู่ในองค์ประกอบนั้น (PC 1 หรือ PC 2)



ภาพที่ 4.13 แผนภาพ Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ 2 (PC 2) ของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง :

(A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

(B) Factor score plot ของตัวอย่างเนื้อขนมปัง 4 ตัวอย่าง

องค์ประกอบที่ 1 (PC 1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 62.35 ประกอบไปด้วยลักษณะด้านสีเผือกกวน (Taro color) จุดในเนื้อขนมปัง (Particle spot) กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty) กลิ่นธัญพืช (Aroma_grain) กลิ่นรสธัญพืช (Flavor_grain) ความแห้ง (Aftertaste_dry) การดูดน้ำ (Moisture absorption) ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy) ความเรียบของเนื้อ (Crumb smoothness) และอนุภาคตกค้าง (Particles) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านบวก และลักษณะด้านความชื้น (Moist) กลิ่นรสหมัก (Flavor_yeasty) กลิ่นแป้งสาลีสุก (Aroma_cooked wheat flour) กลิ่นรสแป้งสาลีสุก (Flavor_cooked wheat flour) กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) รสเค็ม (Taste_salty) ความแข็ง (Hardness) การเกาะติดฟัน (Toothpack) ความแน่นเนื้อ (Firmness) และการเกาะกันของตัวอย่าง (Cohesiveness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านลบ ส่วนองค์ประกอบที่ 2 (PC 2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 23.71 ประกอบไปด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความหยาบ (Rough) กลิ่นหวานโดยรวม (Aroma_overall sweet) กลิ่นแป้งข้าวสุก (Aroma_cooked rice flour) กลิ่นรสแป้งข้าวสุก (Flavor_cooked rice flour) กลิ่นรสหวานโดยรวม (Flavor_overall sweet) กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม (Flavor_dairy product) รสหวาน (Taste_sweet) ความฝาดเฝื่อน (Aftertaste_astringency) รสแป้งสาลีสุกตกค้าง (Aftertaste_cooked wheat flour) และความยืดหยุ่น (Springiness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านบวก และลักษณะด้านกลิ่นผลิตภัณฑ์นม (Aroma_dairy product) กลิ่นหมัก (Aroma_yeasty) รสเปรี้ยว (Taste_sour) รสเปรี้ยวตกค้าง (Aftertaste_sour) ความเหนียวในการดึงฟัน (Toothpull) ความเหนียวของเนื้อ (Crumb toughness) ความชุ่มชื้น (Moistness) และจำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านลบ (ตารางที่ 4.24)

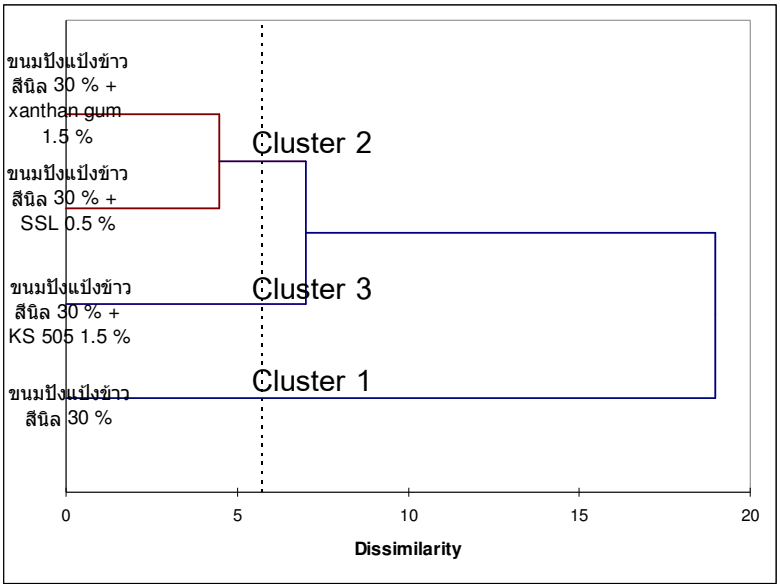
เมื่อพิจารณาแผนภาพ PCA ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาและตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง (ภาพที่ 4.13) ร่วมกับเทคนิควิธีการจัดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ Hierarchical cluster analysis ดังภาพที่ 4.14 พบว่า สามารถแบ่งตัวอย่างเนื้อขนมปังตามลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ออกได้เป็น 3 กลุ่ม (cluster) โดยแต่ละกลุ่มจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันดังนี้

กลุ่มที่ 1 (cluster 1) เป็นตัวอย่างเนื้อขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมสารปรับปรุงคุณภาพ จึงทำให้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคไม่ค่อยยอมรับมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ คือ มีความรู้สึกเป็นทรายและมีอนุภาคตกค้างมาก นอกจากนี้ยังมีการดูดน้ำ กลิ่นถั่ว กลิ่นธัญพืช และกลิ่นรสธัญพืชที่มากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ เล็กน้อย มีความ

ยืดหยุ่น กลิ่น/กลิ่นรสแป้งข้าวสุก และกลิ่น/กลิ่นรสแป้งสาลีสุกปานกลาง แต่จะมีการเกาะติดฟัน รสเค็ม กลิ่นหมัก และกลิ่นถั่วน้อยกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ เล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีความแข็ง ความแน่นเนื้อ และการเกาะกันของตัวอย่าง (เมื่อกัด) น้อย กล่าวคือ ตัวอย่างเนื้อขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมสารปรับปรุงคุณภาพจะมีเนื้อสัมผัสที่ร่วนมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่น ซึ่งเป็นลักษณะด้านเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคไม่ค่อยให้การยอมรับ ผลที่ได้สอดคล้องกับแผนผังความชอบของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วนต่างๆ (ภาพที่ 4.10) ในการทดลองที่ 4.2.2.7

กลุ่มที่ 2 (cluster 2) ประกอบด้วยตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ SSL และ Xanthan gum เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ ตัวอย่างในกลุ่มนี้มีความเหนียวในการดึงฟัน การเกาะติดฟัน และกลิ่นหมักมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ เล็กน้อย และมีความแข็ง ความแน่นเนื้อ และการเกาะกันของตัวอย่าง (เมื่อกัด) มากกว่าตัวอย่างเนื้อขนมปังสูตรควบคุม (cluster 1) เนื่องจาก SSL และ Xanthan gum ที่เติมลงไป จะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปังให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ทำให้เนื้อขนมปังไม่ร่วนมากจนเกินไป จึงมีลักษณะด้านเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น เมื่อเทียบกับเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังสูตรควบคุม (cluster 1) ตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ SSL และ Xanthan gum เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ (cluster 2) จะมีความยืดหยุ่น กลิ่น/กลิ่นรสแป้งข้าวสุก และกลิ่น/กลิ่นรสแป้งสาลีสุกปานกลาง แต่จะมีความเรียบของเนื้อ อนุภาคตกค้าง รสหวาน ความฝาดเฝื่อน และกลิ่น/กลิ่นรสหวานโดยรวมที่น้อยกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ เล็กน้อย มีกลิ่นธัญพืชน้อย นอกจากนี้ยังมีความรู้สึกเป็นทรายที่ผู้บริโภคไม่ค่อยยอมรับน้อยกว่าตัวอย่างเนื้อขนมปังสูตรควบคุม (cluster 1)

กลุ่มที่ 3 (cluster 3) เป็นตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งมีความยืดหยุ่น และกลิ่นถั่วมากกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ อีกทั้งยังมีความแข็ง ความแน่นเนื้อ และการเกาะกันของตัวอย่าง (เมื่อกัด) ที่มากกว่าตัวอย่างเนื้อขนมปังสูตรควบคุม (cluster 1) เนื่องจาก KS 505 มีคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ จึงช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปังให้มีความเหมาะสมมากขึ้น และทำให้เนื้อขนมปังไม่ร่วนมากเกินไปได้เช่นเดียวกันกับการใช้ SSL และ Xanthan gum ตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ (cluster 3) จะมีกลิ่น/กลิ่นรสแป้งข้าวสุก และกลิ่น/กลิ่นรสแป้งสาลีสุกในระดับปานกลางเช่นเดียวกันกับตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ เพราะมีปริมาณแป้งข้าวสีนิลที่ใช้ในสูตรเท่ากัน แต่จะมีความชุ่มชื้น ความเหนียวของเนื้อ จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง รสเปรี้ยว และความแห้งน้อยกว่าตัวอย่างในกลุ่มอื่นๆ เล็กน้อย รวมทั้งยังมีอนุภาคตกค้าง และความรู้สึกเป็นทรายที่ผู้บริโภคไม่ค่อยยอมรับน้อยกว่าตัวอย่างเนื้อขนมปังสูตรควบคุม (cluster 1)



ภาพที่ 4.14 แผนภาพการจัดแบ่งกลุ่มตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรชนิดของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง ด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ Hierarchical cluster analysis โดยใช้ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดข้างต้น จะเห็นว่า การใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง จะส่งผลให้ขนมปังที่ผลิตได้มีปริมาตรน้อยลง เมื่อเทียบกับขนมปังที่ใช้แป้งสาลีล้วน นอกจากนี้การใช้แป้งข้าวสีนิลในการผลิตขนมปัง ยังทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังที่ผลิตได้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคไม่ค่อยยอมรับเพิ่มมากขึ้น เช่น มีความรู้สึกเป็นทรายเมื่อรับประทาน รวมทั้งเนื้อขนมปังยังร่วนมากกว่าขนมปังจากแป้งสาลีล้วน อย่างไรก็ดีจากการทดลองพบว่า การเติมสารปรับปรุงคุณภาพในสูตรการผลิตขนมปังแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีจะช่วยปรับปรุงคุณภาพดังกล่าวได้ โดย KS 505 เป็นสารปรับปรุงคุณภาพที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมปังแป้งผสมสูงที่สุด และให้เนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งผสมที่ผลิตได้ดีที่สุด คือ มีความนุ่มและมีความยืดหยุ่นมากกว่าการใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดอื่น รวมทั้งยังมีลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกชนิดสารปรับปรุงคุณภาพ คือ KS 505 ไปใช้ในสูตรการผลิตต่อไป

4.3.2 การศึกษาปริมาณของสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง

ผลของปริมาณ KS 505 ได้แก่ ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักแป้ง ต่อคุณภาพทางกายภาพ (ปริมาตร น้ำหนัก ปริมาตรจำเพาะ และเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา การยอมรับของผู้บริโภค และแผนผังความชอบของผู้บริโภค) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 แสดงดังตารางที่ 4.25 – 4.32 และภาพที่ 4.15 – 4.18 ดังมีรายละเอียดดังนี้

4.3.2.1 ปริมาตร น้ำหนัก และปริมาตรจำเพาะ

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.25 จะเห็นว่า ปริมาณของ KS 505 ที่ใช้ในสูตรไม่มีผลต่อทั้งค่าน้ำหนัก ปริมาตร และปริมาตรจำเพาะขนมปังที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ดีขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง พบว่า จะมีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะสูงกว่าขนมปังสูตรอื่นๆ เล็กน้อย

ตารางที่ 4.25 ผลของ KS 505 ระดับต่างๆ ต่อปริมาตร น้ำหนัก และปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ปริมาณ KS 505 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	ปริมาตร (cm^3) ^{ns}	น้ำหนัก (g) ^{ns}	ปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g) ^{ns}
1	2140.00 $\pm$ 98.49	474.37 $\pm$ 1.18	4.51 $\pm$ 0.22
1.5	2283.33 $\pm$ 48.42	473.94 $\pm$ 0.10	4.82 $\pm$ 0.10
2	2210.00 $\pm$ 30.55	474.16 $\pm$ 1.54	4.66 $\pm$ 0.08

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.3.2.2 เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.26 จะเห็นว่า ขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง มีค่าความแน่นเนื้อ (firmness) น้อยที่สุด และมีค่าน้อยกว่าขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ ขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง จะมีความนุ่มมากกว่าขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก KS 505 มีลักษณะเป็นผงแห้ง อีกทั้งยังมีส่วนประกอบเป็นโมโนและไดกลีเซอร์ไรด์ที่ช่วยจับน้ำในโดขนมปัง การเติม KS 505 ในปริมาณที่มากกว่า อาจส่งผลให้ KS 505 ที่มากเกินพอไปแย่งจับน้ำกับโปรตีนกลูเตนในโดขนมปัง ทำให้เกิดโครงสร้างกลูเตนที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของ

น้ำหนักแป้ง จึงทำให้ขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้งที่ผลิตได้ มีปริมาตรต่ำกว่าเล็กน้อย (ตารางที่ 4.25) และมีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง ทั้งๆ ที่ใช้สารปรับปรุงคุณภาพในปริมาณที่มากกว่า

ค่าการคืนตัว (springiness) ของขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง มีค่ามากกว่าขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1 และ 2 ของน้ำหนักแป้ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ในส่วนของค่าการเกาะกันของตัวอย่าง (cohesiveness) ค่า gumminess และค่า chewiness พบว่า ปริมาณของ KS 505 ที่ใช้ในสูตร ไม่มีผลต่อค่าดังกล่าวของขนมปังที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.26) อย่างไรก็ดีจะเห็นว่าค่า gumminess และ chewiness จะมีความสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อ (firmness) (ตารางที่ 4.26) กล่าวคือ เมื่อขนมปังมีค่าความแน่นเนื้อมากขึ้น ค่า gumminess และ chewiness ซึ่งแสดงถึงความยากในการเคี้ยวก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.26 ผลของ KS 505 ระดับต่างๆ ต่อค่าเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30

ปริมาณ KS 505 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	ค่าเนื้อสัมผัส				
	firmness (g)	springiness	cohesiveness ^{ns}	gumminess (g) ^{ns}	chewiness (g) ^{ns}
1	243.76 $\pm$ 23.66 ^{ab}	0.95 $\pm$ 0.00 ^{b}	0.72 $\pm$ 0.01	176.73 $\pm$ 17.40	168.59 $\pm$ 16.93
1.5	191.56 $\pm$ 14.74 ^{b}	0.98 $\pm$ 0.01 ^{a}	0.73 $\pm$ 0.02	140.15 $\pm$ 10.63	137.57 $\pm$ 10.89
2	265.60 $\pm$ 5.13 ^{a}	0.95 $\pm$ 0.01 ^{b}	0.71 $\pm$ 0.01	189.57 $\pm$ 2.73	180.69 $\pm$ 3.44

$^{a, b}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.3.2.3 ลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบเชิงพรรณนา

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive test) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของสารปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ KS 505 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักแป้ง โดยประเมินแยกกันในส่วนของเปลือก (crust) และเนื้อขนมปัง (crumb) มีรายละเอียดดังนี้

4.3.2.3.1 เปลือกขนมปัง

ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 แสดงดังตารางที่ 4.27

เมื่อนำผลระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 ทั้ง 17 ลักษณะ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) โดยตัดตัวแปร ได้แก่ ความเรียบ (Smooth) ความหนาของเปลือก (Crust thickness) กลิ่นเกรียม (Aroma_brown) กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty) กลิ่นรสเกรียม (Flavor_brown) รสหวาน (Taste_sweet) รสเปรี้ยว (Taste_sour) รสขม (Taste_bitter) รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) และรสขมตกค้าง (Aftertaste_bitter) ออก เนื่องจากระดับความเข้มของลักษณะดังกล่าวมีค่าเท่ากันทุกตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถสร้างองค์ประกอบใหม่ได้ 2 องค์ประกอบหลัก (principal component, PC) ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 100 ดังตารางที่ 4.28 สำหรับแผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสจำนวน 7 ลักษณะ และตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 ทั้ง 3 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4.15

องค์ประกอบที่ 1 (PC 1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 83.15 ประกอบไปด้วยลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสีน้ำตาล (Brown color) ความเหนียวของเปลือก (Crust toughness) และจำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านบวก และลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกเป็นทราย (Grainy) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านลบ สำหรับองค์ประกอบที่ 2 (PC 2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 16.85 ประกอบไปด้วยลักษณะด้านจุดในเปลือกขนมปัง (Particle spot) กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) และการเกาะติดฟัน (Toothpack) ซึ่งล้วนมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านบวกทั้งหมด (ตารางที่ 4.28)

ตารางที่ 4.27 ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505

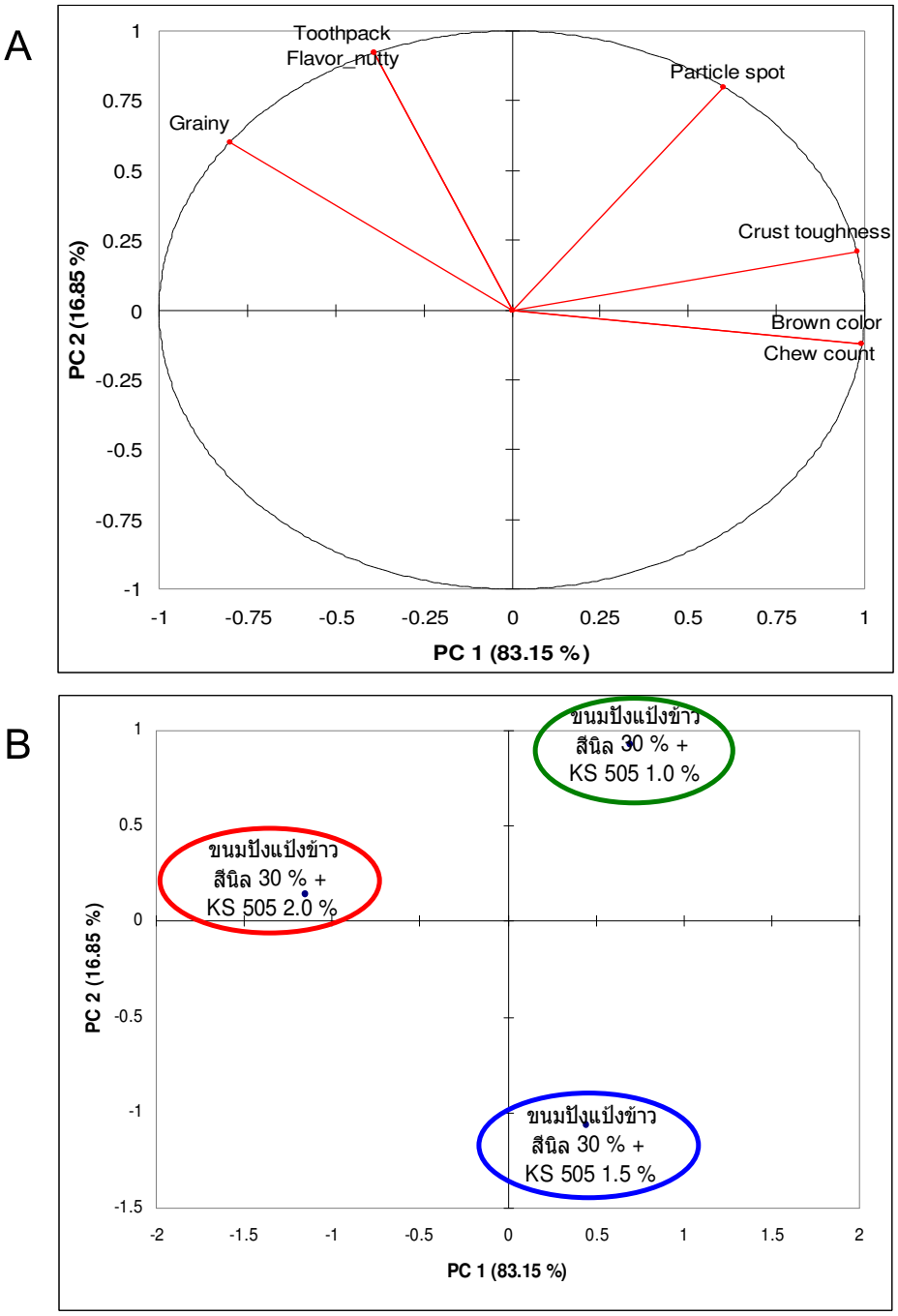
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้ KS 505 ปริมาณต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)		
	1.0	1.5	2.0
ลักษณะปรากฏ			
สีน้ำตาล	12.0	12.0	10.5
ความเรียบ	6.0	6.0	6.0
ความหนาของเปลือก	8.0	8.0	8.0
จุดในเปลือกขนมปัง	4.0	3.5	3.5
กลิ่น			
กลิ่นเกรียม	8.0	8.0	8.0
กลิ่นถั่ว	2.0	2.0	2.0
กลิ่นรส			
กลิ่นรสเกรียม	8.5	8.5	8.5
กลิ่นรสถั่ว	2.0	1.5	2.0
รสหวาน	1.5	1.5	1.5
รสเปรี้ยว	2.0	2.0	2.0
รสขม	2.5	2.5	2.5
ความรู้สึกตกค้าง			
รสหวานตกค้าง	0.5	0.5	0.5
รสขมตกค้าง	1.0	1.0	1.0
เนื้อสัมผัส			
ความเหนียวของเปลือก	5.0	4.5	3.5
ความรู้สึกเป็นทราย	3.5	3.0	4.0
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง	6.5	6.5	6.0
การเกาะติดฟัน	2.5	2.0	2.5

ตารางที่ 4.28 ค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**	
	PC 1	PC 2
ลักษณะปรากฏ		
สีน้ำตาล (Brown color)	**0.993**	-0.122
จุดในเปลือกขนมปัง (Particle spot)	0.602	**0.798**
ความเรียบ (Smooth) *	0.000	0.000
ความหนาของเปลือก (Crust thickness) *	0.000	0.000
กลิ่น		
กลิ่นเกรียม (Aroma_brown) *	0.000	0.000
กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty) *	0.000	0.000
กลิ่นรส		
กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty)	-0.391	**0.921**
กลิ่นรสเกรียม (Flavor_brown) *	0.000	0.000
รสหวาน (Taste_sweet) *	0.000	0.000
รสเปรี้ยว (Taste_sour) *	0.000	0.000
รสขม (Taste_bitter) *	0.000	0.000
ความรู้สึกตกค้าง		
รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) *	0.000	0.000
รสขมตกค้าง (Aftertaste_bitter) *	0.000	0.000
เนื้อสัมผัส		
ความเหนียวของเปลือก (Crust toughness)	**0.978**	0.209
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count)	**0.993**	-0.122
ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy)	**-0.798**	0.602
การเกาะติดฟัน (Toothpack)	-0.391	**0.921**
ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวน (ร้อยละ)	**83.15**	**16.85**
ความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ (ร้อยละ)	**100**	

* ตัวแปรที่ตัดออกจากการวิเคราะห์ด้วย PCA เนื่องจากมีค่าคงที่ (มีระดับความเข้มเท่ากันทุกตัวอย่าง)

** ตัวเลขเข้ม หมายถึง ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรที่จัดอยู่ในองค์ประกอบนั้น (PC 1 หรือ PC 2)



ภาพที่ 4.15 แผนภาพ Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ 2 (PC 2) ของเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 :

(A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

(B) Factor score plot ของตัวอย่างเปลือกขนมปัง 3 ตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ของตัวอย่างเปลือกขนมปังทั้ง 3 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4.27) พบว่า จะมีความใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเปลือกขนมปังทั้ง 3 ตัวอย่าง ใช้ปริมาณแป้งข้าวสีนิลในสูตรเท่ากัน และปริมาณของ KS 505 ที่ใช้นั้น ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อทำการจัดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ Hierarchical cluster analysis จึงไม่สามารถรวมตัวอย่างเข้าเป็นกลุ่มๆ ได้ อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาแผนภาพ PCA (ภาพที่ 4.15) จะเห็นว่า เปลือกขนมปังแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสบางลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

ตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแป้ง จะมีลักษณะด้านความเหนียวของเปลือกมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ และมีความรู้สึกเป็นทรายในระดับปานกลาง ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านจุดในเปลือกขนมปัง จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง การเกาะติดฟัน และกลิ่นรสถั่ว จะมีความใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่นๆ

ตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง จะมีลักษณะด้านความเหนียวของเปลือกปานกลาง มีจุดในเปลือกขนมปัง และจำนวนการเคี้ยวตัวอย่างใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่นๆ แต่จะมีลักษณะด้านความรู้สึกเป็นทราย การเกาะติดฟัน และกลิ่นรสถั่วน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย

ตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักแป้ง จะมีลักษณะด้านความรู้สึกเป็นทรายมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย มีจุดในเปลือกขนมปัง การเกาะติดฟัน และกลิ่นรสถั่วใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่น แต่จะมีลักษณะด้านความเหนียวของเปลือก สีน้ำตาล และจำนวนการเคี้ยวตัวอย่างที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย

4.3.2.3.2 **เนื้อขนมปัง**

ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสต่างๆ ของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 แสดงดังตารางที่ 4.29

เมื่อนำผลระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเปลือกขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 ทั้ง 41 ลักษณะ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) โดยตัดตัวแปร ได้แก่ ความชื้น (Moist) กลิ่นรสแป้งสาลีสุก (Flavor_cooked wheat flour) กลิ่นรสหวานโดยรวม (Flavor_overall sweet) กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) รสหวาน (Taste_sweet) รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) รสแป้งสาลีสุกตกค้าง (Aftertaste_cooked

wheat flour) รสเปรี้ยวตกค้าง (Aftertaste_sour) รสเค็มตกค้าง (Aftertaste_salty) การเกาะกันของตัวอย่าง (Cohesiveness) ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy) การดูดน้ำ (Moisture absorption) และจำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count) ออก เนื่องจากระดับความเข้มของลักษณะดังกล่าวมีค่าเท่ากันทุกตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถสร้างองค์ประกอบใหม่ได้ 2 องค์ประกอบหลัก (principal component, PC) ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 100 ดังตารางที่ 4.30 สำหรับแผนภาพ PCA ของค่าตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสจำนวน 28 ลักษณะ และตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 ทั้ง 3 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4.16

องค์ประกอบที่ 1 (PC 1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 63.58 ประกอบด้วยลักษณะด้านจุดในเนื้อขนมปัง (Particle spot) สีเผือกกวน (Taro color) ความหยาบ (Rough) กลิ่นแป้งข้าวสุก (Aroma_cooked rice flour) กลิ่นแป้งสาลีสุก (Aroma_cooked wheat flour) กลิ่นรสหมัก (Flavor_yeasty) กลิ่นรสธัญพืช (Flavor_grain) ความเหนียวของเนื้อ (Crumb toughness) การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว (Cohesive of mass) และอนุภาคตกค้าง (Particles) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านบวก และลักษณะด้านกลิ่นหวานโดยรวม (Aroma_overall sweet) กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม (Flavor_dairy product) รสเค็ม (Taste_salty) ความฝาดเฝื่อน (Aftertaste_astringency) ความแห้ง (Aftertaste_dry) ความเรียบของเนื้อ (Crumb smoothness) การเกาะติดฟัน (Toothpack) ความชุ่มชื้น (Moistness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 ทางด้านลบ ในส่วนขององค์ประกอบที่ 2 (PC 2) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 36.42 ประกอบด้วยลักษณะด้านกลิ่นรสแป้งข้าวสุก (Flavor_cooked rice flour) ความแน่นเนื้อ (Firmness) และความแข็ง (Hardness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านบวก และลักษณะด้านกลิ่นหมัก (Aroma_yeasty) กลิ่นธัญพืช (Aroma_grain) กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty) กลิ่นผลิตภัณฑ์นม (Aroma_dairy product) รสเปรี้ยว (Taste_sour) และความเหนียวในการดึงฟัน (Toothpull) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 2 ทางด้านลบ (ตารางที่ 4.30)

ตารางที่ 4.29 ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปัง ที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ปริมาณต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)		
	1.0	1.5	2.0
ลักษณะปรากฏ			
สีเผือกกวน	4.5	4.0	4.0
จุดในเนื้อขนมปัง	4.5	4.0	3.5
ความชื้น	6.0	6.0	6.0
ความหยาบ	9.0	9.0	8.5
กลิ่น			
กลิ่นแป้งสาลีสุก	5.0	4.5	4.5
กลิ่นแป้งข้าวสุก	5.5	5.0	4.5
กลิ่นหมัก	4.5	4.0	4.5
กลิ่นหวานโดยรวม	2.0	2.5	2.5
กลิ่นธัญพืช	2.5	2.0	2.5
กลิ่นถั่ว	2.0	1.5	2.0
กลิ่นผลิตภัณฑ์นม	2.0	1.5	2.0
กลิ่นรส			
กลิ่นรสแป้งสาลีสุก	5.0	5.0	5.0
กลิ่นรสแป้งข้าวสุก	5.0	5.5	4.5
กลิ่นรสหมัก	5.0	4.5	4.0
กลิ่นรสหวานโดยรวม	2.5	2.5	2.5
กลิ่นรสธัญพืช	2.5	2.0	2.0
กลิ่นรสถั่ว	2.0	2.0	2.0
กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม	2.0	2.0	2.5
รสหวาน	2.0	2.0	2.0
รสเปรี้ยว	1.5	1.0	1.5
รสเค็ม	1.5	2.0	2.0

ตารางที่ 4.29 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ปริมาณต่างๆ (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)		
	1.0	1.5	2.0
ความรู้สึกตกค้าง			
ความฝาดเฝื่อน	2.0	2.0	2.5
รสแป้งสาลีสุกตกค้าง	1.5	1.5	1.5
รสหวานตกค้าง	0.5	0.5	0.5
รสเปรี้ยวตกค้าง	0.5	0.5	0.5
รสเค็มตกค้าง	0.5	0.5	0.5
ความแห้ง	2.0	2.0	2.5
เนื้อสัมผัส			
ความแข็ง	3.5	4.0	3.0
ความเรียบของเนื้อ	6.5	6.5	7.0
ความเหนียวของเนื้อ	3.0	3.0	2.5
ความยืดหยุ่น	4.5	6.0	6.5
ความแน่นเนื้อ	5.0	6.0	5.0
ความเหนียวในการดึงฟัน	4.5	4.0	4.5
การเกาะกันของตัวอย่าง	11.0	11.0	11.0
ความชุ่มชื้น	6.5	7.0	7.5
การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว	8.0	8.0	7.5
การดูดน้ำ	7.5	7.5	7.5
ความรู้สึกเป็นทราย	2.5	2.5	2.5
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง	6.5	6.5	6.5
การเกาะติดฟัน	3.0	3.5	3.5
อนุภาคตกค้าง	2.0	2.0	1.5

ตารางที่ 4.30 ค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505

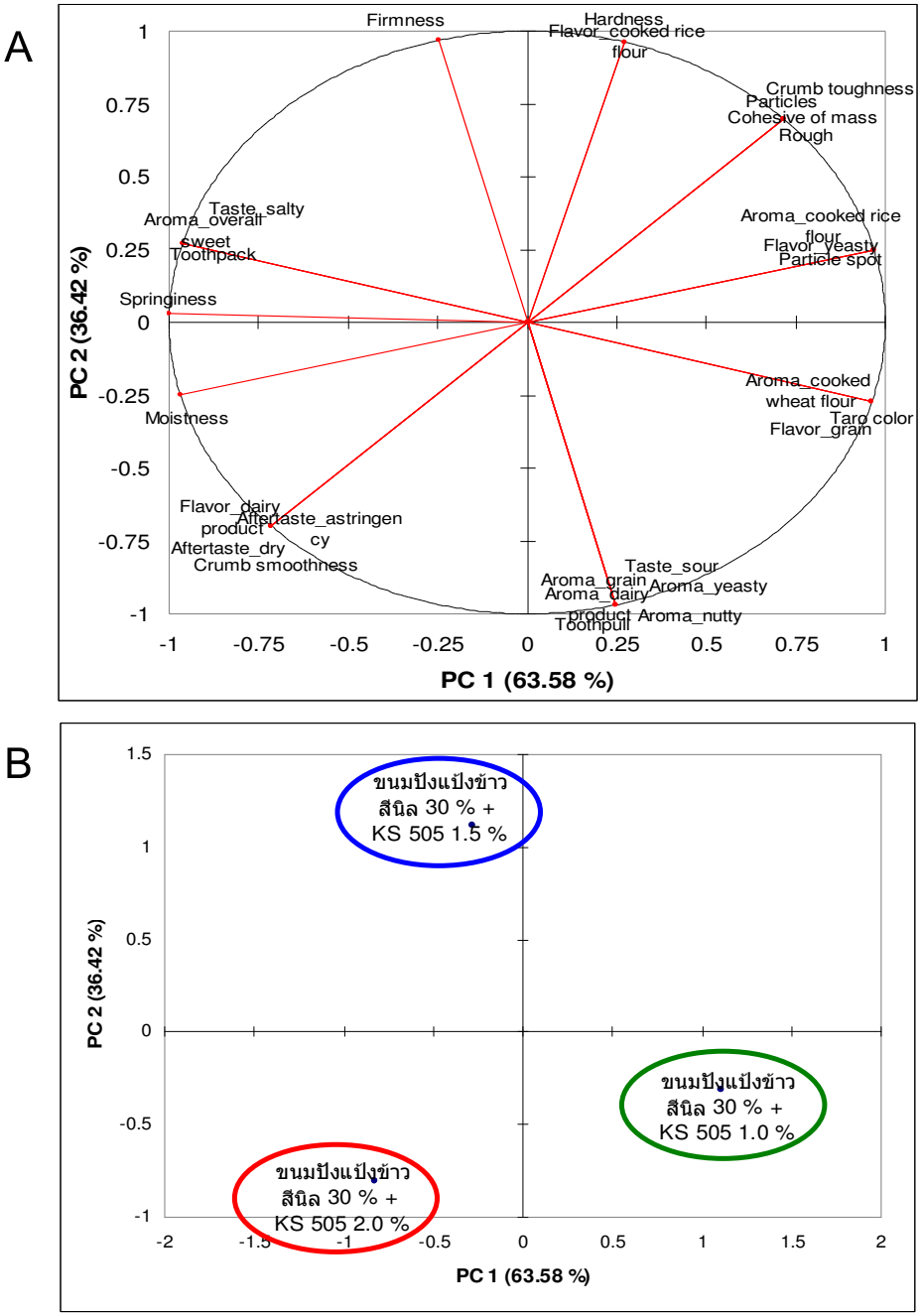
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**	
	PC 1	PC 2
ลักษณะปรากฏ		
จุดในเนื้อขนมปัง (Particle spot)	**0.969**	0.246
สีเผือกกวน (Taro color)	**0.962**	-0.271
ความหยาบ (Rough)	**0.716**	0.698
ความชื้น (Moist) *	0.000	0.000
กลิ่น		
กลิ่นแป้งข้าวสุก (Aroma_cooked rice flour)	**0.969**	0.246
กลิ่นแป้งสาลีสุก (Aroma_cooked wheat flour)	**0.962**	-0.271
กลิ่นหวานโดยรวม (Aroma_overall sweet)	**-0.962**	0.271
กลิ่นหมัก (Aroma_yeasty)	0.246	**-0.969**
กลิ่นธัญพืช (Aroma_grain)	0.246	**-0.969**
กลิ่นถั่ว (Aroma_nutty)	0.246	**-0.969**
กลิ่นผลิตภัณฑ์นม (Aroma_dairy product)	0.246	**-0.969**
กลิ่นรส		
กลิ่นรสหมัก (Flavor_yeasty)	**0.969**	0.246
กลิ่นรสธัญพืช (Flavor_grain)	**0.962**	-0.271
กลิ่นรสผลิตภัณฑ์นม (Flavor_dairy product)	**-0.716**	-0.698
รสเค็ม (Taste_salty)	**-0.962**	0.271
กลิ่นรสแป้งข้าวสุก (Flavor_cooked rice flour)	0.271	**0.962**
รสเปรี้ยว (Taste_sour)	0.246	**-0.969**
กลิ่นรสแป้งสาลีสุก (Flavor_cooked wheat flour) *	0.000	0.000
กลิ่นรสหวานโดยรวม (Flavor_overall sweet) *	0.000	0.000
กลิ่นรสถั่ว (Flavor_nutty) *	0.000	0.000
รสหวาน (Taste_sweet) *	0.000	0.000

ตารางที่ 4.30 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	องค์ประกอบ (PC)**	
	PC 1	PC 2
ความรู้สึกตกค้าง		
ความฝาดเฝื่อน (Aftertaste_astringency)	**-0.716**	-0.698
ความแห้ง (Aftertaste_dry)	**-0.716**	-0.698
รสแป้งสาลีสุกตกค้าง (Aftertaste_cooked wheat flour) *	0.000	0.000
รสหวานตกค้าง (Aftertaste_sweet) *	0.000	0.000
รสเปรี้ยวตกค้าง (Aftertaste_sour) *	0.000	0.000
รสเค็มตกค้าง (Aftertaste_salty) *	0.000	0.000
เนื้อสัมผัส		
ความเหนียวของเนื้อ (Crumb toughness)	**0.716**	0.698
การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว (Cohesive of mass)	**0.716**	0.698
อนุภาคตกค้าง (Particles)	**0.716**	0.698
ความเรียบของเนื้อ (Crumb smoothness)	**-0.716**	-0.698
การเกาะติดฟัน (Toothpack)	**-0.962**	0.271
ความชุ่มชื้น (Moistness)	**-0.969**	-0.246
ความยืดหยุ่น (Springiness)	**-0.999**	0.032
ความแน่นเนื้อ (Firmness)	-0.246	**0.969**
ความแข็ง (Hardness)	0.271	**0.962**
ความเหนียวในการดึงฟัน (Toothpull)	0.246	**-0.969**
การเกาะกันของตัวอย่าง (Cohesiveness) *	0.000	0.000
การดูดน้ำ (Moisture absorption) *	0.000	0.000
ความรู้สึกเป็นทราย (Grainy) *	0.000	0.000
จำนวนการเคี้ยวตัวอย่าง (Chew count) *	0.000	0.000
ความสามารถในการอธิบายความแปรปรวน (ร้อยละ)	**63.58**	**36.42**
ความแปรปรวนทั้งหมดที่อธิบายได้ (ร้อยละ)	**100**	

* ตัวแปรที่ตัดออกจากการวิเคราะห์ด้วย PCA เนื่องจากมีค่าคงที่ (มีระดับความเข้มเท่ากันทุกตัวอย่าง)

** ตัวเลขเข้ม หมายถึง ค่าน้ำหนักปัจจัยของตัวแปรที่จัดอยู่ในองค์ประกอบนั้น (PC 1 หรือ PC 2)



ภาพที่ 4.16 แผนภาพ Principal component analysis (PCA) ในแกนองค์ประกอบที่ 1 (PC 1) และ 2 (PC 2) ของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 :

(A) Correlation loading plot ของตัวแปรลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

(B) Factor score plot ของตัวอย่างเนื้อขนมปัง 3 ตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ของตัวอย่างเนื้อขนมปังทั้ง 3 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4.29) พบว่า จะมีความใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเนื้อขนมปังทั้ง 3 ตัวอย่าง ใช้ปริมาณแป้งข้าวสีนิลในสูตรเท่ากัน และปริมาณของ KS 505 ที่ใช้นั้น ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อทำการจัดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ Hierarchical cluster analysis จึงไม่สามารถรวมตัวอย่างเข้าเป็นกลุ่มเดียวกันได้ อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาแผนภาพ PCA (ภาพที่ 4.16) พบว่า เนื้อขนมปังแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสบางลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

ตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแป้ง จะมีลักษณะด้านกลิ่นแป้งสาลีสุก กลิ่นแป้งข้าวสุก กลิ่นรสหมัก และกลิ่นรสธัญพืชมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย มีความแข็งและความแน่นเนื้อปานกลาง แต่จะมีลักษณะด้านความชุ่มชื้น (เมื่อเคี้ยว) และความยืดหยุ่นน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ รวมทั้งมีการเกาะติดฟัน รสเค็ม และกลิ่นหวานโดยรวมน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย

ตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง จะมีลักษณะด้านความแข็งและความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย มีความชุ่มชื้น (เมื่อเคี้ยว) และความยืดหยุ่นในระดับปานกลาง แต่จะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวในการดึงฟัน รสเปรี้ยว กลิ่นถั่ว กลิ่นหมัก กลิ่นผลิตภัณฑ์นม และกลิ่นธัญพืชน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย

ตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักแป้ง จะมีลักษณะด้านความเรียบของเนื้อ ความชุ่มชื้น (เมื่อเคี้ยว) ความฝาดเฝื่อน ความแห้ง และกลิ่นรสผลิตภัณฑ์นมมากกว่าตัวอย่างอื่นเล็กน้อย มีความแข็ง ความแน่นเนื้อ และความยืดหยุ่นในระดับปานกลาง แต่จะมีลักษณะด้านความหยาบ ความเหนียวของเนื้อ การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว และอนุภาคตกค้างที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย

4.3.2.4 การยอมรับของผู้บริโภค

คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.31 จะเห็นว่าคะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อของขนมปังทุกสูตร มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะโพรงอากาศ กลิ่นรส รสชาติ ความนุ่ม และเนื้อสัมผัสโดยรวมสูงที่สุด และมีค่ามากกว่าขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวม พบว่า ขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง

ได้รับคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมมากที่สุด รองลงมาเป็นขนมปังสูตรที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง ส่วนขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้ง จะมีคะแนนการยอมรับโดยรวมน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังทั้งสองสูตรข้างต้น

ตารางที่ 4.31 ผลของ KS 505 ระดับต่างๆ ต่อคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30

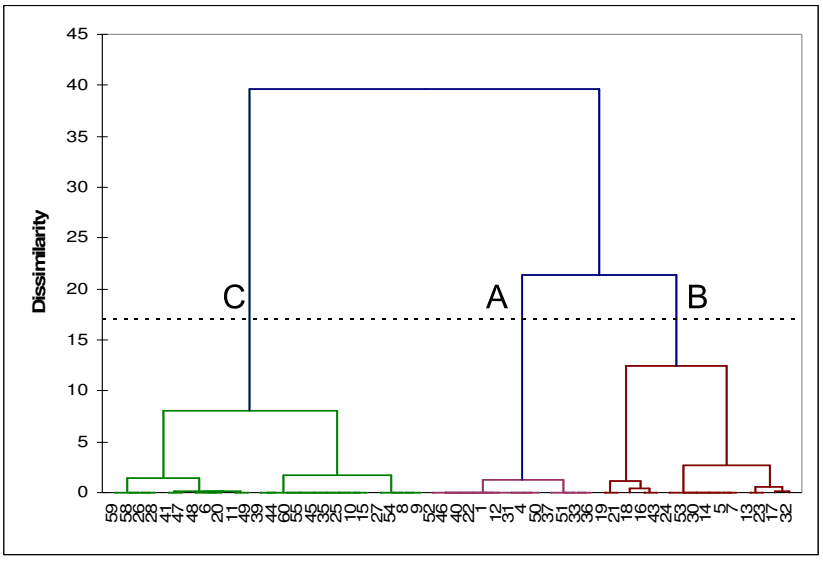
ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณ KS 505 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)		
	1	1.5	2
สีของเนื้อขนมปัง [ns]	6.05 ± 1.19	6.17 ± 1.04	5.92 ± 1.14
ลักษณะโพรงอากาศ	5.88 ± 1.17 [a]	6.12 ± 1.09 [a]	5.42 ± 1.36 [b]
กลิ่นรส	6.08 ± 1.24 [a]	6.22 ± 1.15 [a]	5.43 ± 1.32 [b]
รสชาติ	6.20 ± 1.19 [a]	6.30 ± 1.18 [a]	5.58 ± 1.36 [b]
ความนุ่ม	6.48 ± 1.31 [ab]	6.67 ± 1.20 [a]	6.18 ± 0.94 [b]
เนื้อสัมผัสโดยรวม	6.27 ± 1.13 [ab]	6.47 ± 1.26 [a]	6.03 ± 1.01 [b]
ความชอบโดยรวม	6.28 ± 1.15 [ab]	6.57 ± 1.18 [a]	6.02 ± 0.91 [b]

[a, b] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.3.2.5 **แผนผังความชอบของผู้บริโภค** (Internal Preference Mapping)

เมื่อนำผลคะแนนการยอมรับความชอบโดยรวม จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 60 คน มาใช้ในการจัดกลุ่มผู้บริโภคด้วยเทคนิค Hierarchical cluster analysis ดังภาพที่ 4.17 โดยตัดผู้บริโภคที่ให้คะแนนด้านความชอบโดยรวมเท่ากันทุกตัวอย่าง จำนวน 8 คน ออกจากการทำ cluster ผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถแบ่งผู้บริโภคที่เหลือ 52 คน ออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A, B และ C ซึ่งมีจำนวนสมาชิกในแต่ละกลุ่มเท่ากับ 13, 15 และ 24 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25, 28.85 และ 46.15 ของจำนวนผู้บริโภครวมทุก cluster ตามลำดับ โดยคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่ม ที่มีต่อเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 แสดงดังตารางที่ 4.32



ภาพที่ 4.17 แผนภาพการจัดกลุ่มผู้บริโภค ด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบ Hierarchical cluster analysis โดยใช้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมจากการทดสอบการยอมรับของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505

ตารางที่ 4.32 ผลของ KS 505 ระดับต่างๆ ต่อคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อจำแนกผู้บริโภคตาม cluster *

ปริมาณ KS 505 (ร้อยละของน้ำหนักแป้ง)	คะแนนด้านความชอบโดยรวม			
	ผู้บริโภคกลุ่ม A	ผู้บริโภคกลุ่ม B	ผู้บริโภคกลุ่ม C	ผู้บริโภคทั้งหมด **
1	7.31 [a]	6.13 [a]	5.71 [b]	6.28 [ab]
1.5	7.00 [b]	5.33 [b]	7.25 [a]	6.57 [a]
2	5.77 [c]	6.40 [a]	6.04 [b]	6.02 [b]

[a, b, c] ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

* ตัดผู้บริโภคที่ให้คะแนนความชอบโดยรวมเท่ากันทุกตัวอย่าง จำนวน 8 คน ออกจากการทำ cluster เหลือจำนวนผู้บริโภครวมทุก cluster 52 คน ผู้บริโภคกลุ่ม A มีจำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 25 ของจำนวนผู้บริโภครวมทุก cluster, ผู้บริโภคกลุ่ม B มีจำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 28.85 ของจำนวนผู้บริโภครวมทุก cluster และผู้บริโภคกลุ่ม C มีจำนวน 24 คน คิดเป็นร้อยละ 46.15 ของจำนวนผู้บริโภครวมทุก cluster

** ผู้บริโภคทั้งหมด มีจำนวน 60 คน

เมื่อนำข้อมูลการจัดกลุ่มผู้บริโภคที่วิเคราะห์ได้ มาใช้ในการสร้างแผนผังความชอบของผู้บริโภค (Preference mapping) ต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.18 และเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่ม (ตารางที่ 4.32) ร่วมกับแผนผังความชอบของผู้บริโภคที่วิเคราะห์ได้ (ภาพที่ 4.18) พบว่า ผู้บริโภคทั้งสามกลุ่มจะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของตัวอย่างเนื้อขนมปังนั้นดังนี้

ผู้บริโภคในกลุ่ม A (13 คน) คิดเป็นร้อยละ 25 ของจำนวนผู้บริโภครวมทุกกลุ่ม มีแนวโน้มที่จะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งมีลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสหมักและกลิ่นรสธัญพืชมากกว่าตัวอย่างอื่น มีความหยาบ ความแข็ง ความแน่นเนื้อ ความเหนียวของเนื้อ การเกาะตัวของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว และอนุภาคตกค้างในระดับปานกลาง แต่จะมีลักษณะด้านความชุ่มชื้น (เมื่อเคี้ยว) ความยืดหยุ่น การเกาะติดฟัน และกลิ่นหวานโดยรวมน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ

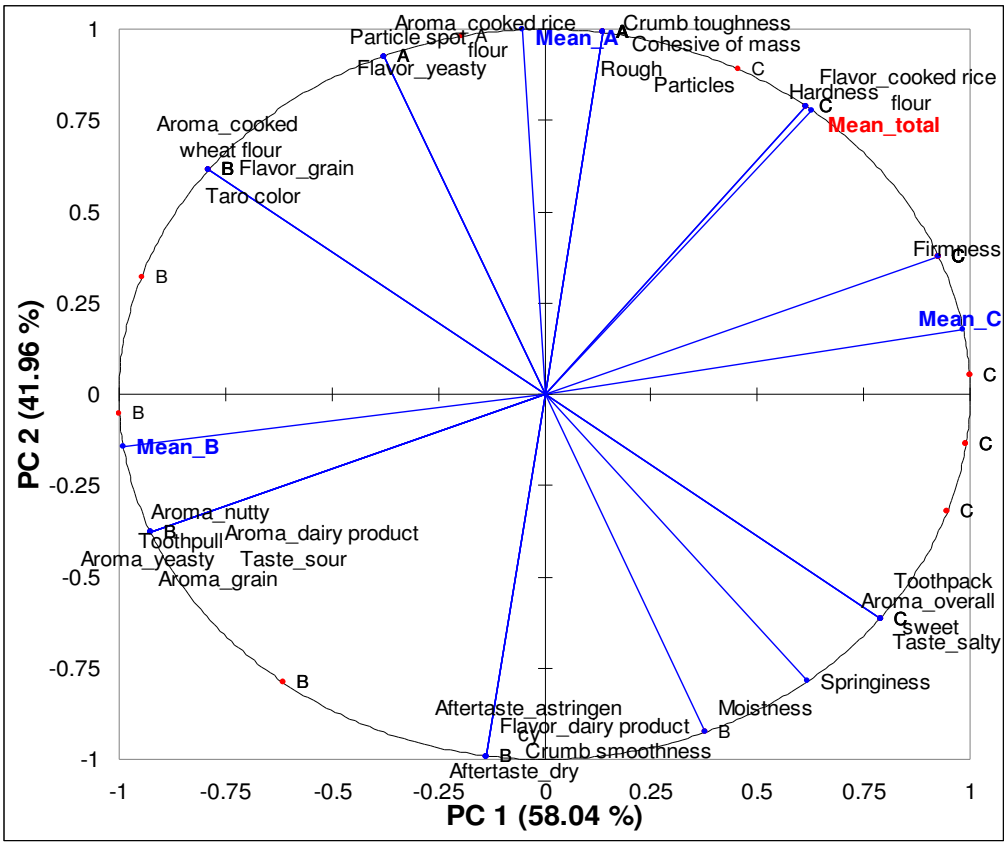
ผู้บริโภคในกลุ่ม B (15 คน) คิดเป็นร้อยละ 28.85 ของจำนวนผู้บริโภครวมทุกกลุ่ม ส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งมีลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความเรียบของเนื้อ ความชุ่มชื้น (เมื่อเคี้ยว) ความฝาดเฝื่อน ความแห้ง และกลิ่นรสผลิตภัณฑ์นมมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ มีความแข็ง ความแน่นเนื้อ ความเหนียวในการดึงฟัน รวมทั้งกลิ่นถั่ว กลิ่นธัญพืช กลิ่นหมัก และกลิ่นผลิตภัณฑ์นมในระดับปานกลาง แต่จะมีลักษณะด้านความหยาบ ความเหนียวของเนื้อ การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว อนุภาคตกค้าง และกลิ่นรสหมักที่น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคในกลุ่ม B บางคน จะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแป้ง อีกด้วย (ตารางที่ 4.32)

ผู้บริโภคในกลุ่ม C (24 คน) คิดเป็นร้อยละ 46.15 ของจำนวนผู้บริโภครวมทุกกลุ่ม ซึ่งเป็นกลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่ จะมีความชอบต่อตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งมีลักษณะด้านความแข็งและความแน่นเนื้อมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย มีความเหนียวของเนื้อ ความชุ่มชื้น (เมื่อเคี้ยว) ความยืดหยุ่น การเกาะกันของตัวอย่างระหว่างเคี้ยว การเกาะติดฟัน กลิ่นหวานโดยรวม และกลิ่นรสหมักปานกลาง แต่จะมีลักษณะด้านความเหนียวในการดึงฟัน รสเปรี้ยว กลิ่นถั่ว กลิ่นธัญพืช กลิ่นหมัก และกลิ่นผลิตภัณฑ์นมน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย

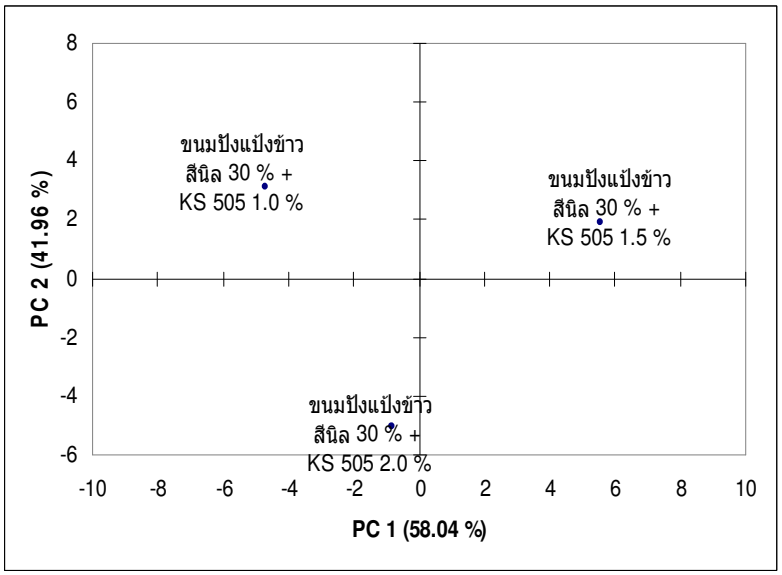
เมื่อพิจารณาความชอบของผู้บริโภคทั้งหมด (Mean_Total) จากแผนผังความชอบ (ภาพที่ 4.18) พบว่า ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชื่นชอบ คือ ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสต่างๆ เช่น ความแข็ง และความแน่นเนื้อของเนื้อขนมปังที่พอเหมาะ ไม่ร่วนจนเกินไป รวมทั้งมีความเหนียวของเนื้อ และมีการรวมตัวของตัวอย่างเมื่อเคี้ยวที่เหมาะสม ส่วนลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ค่อยให้การยอมรับ คือ ความรู้สึกแห้ง ความฝาดเฝื่อน รสเปรี้ยว กลิ่นหมัก และกลิ่นธัญพืช โดยตัวอย่างเนื้อขนมปังที่ใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง จะมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด เมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ

จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้น จึงเลือกปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพขนมปัง คือ KS 505 เท่ากับร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง ไปใช้ในสูตรการผลิต เนื่องจากให้ปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูงที่สุด ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ดีกว่า คือ มีความนุ่มและความยืดหยุ่นมากกว่า และได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปริมาณ KS 505 ในระดับอื่นๆ กล่าวคือการใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้ง จัดเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการผลิตขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30

A



B



ภาพที่ 4.18 แผนผังความชอบของผู้บริโภคต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของเนื้อขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 30 เมื่อแปรปริมาณของ KS 505 : (A) แผนผังความชอบ (B) ตำแหน่งของตัวอย่างเนื้อขนมปัง 3 ตัวอย่าง

4.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีและการทดสอบผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกก่อนนำออกสู่ตลาด

4.4.1 สมบัติทางเคมี

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก คือ ระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสีนิลเท่ากับร้อยละ 30 และใช้ KS 505 ร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักแป้งเป็นสารปรับปรุงคุณภาพ เปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีล้วน แสดงดังตารางที่ 4.33

4.4.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากตารางที่ 4.33 พบว่า ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่า แต่มีปริมาณโปรตีนและความชื้นน้อยกว่าขนมปังแป้งสาลีล้วนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวสีนิลและแป้งสาลีชนิดทำขนมปังที่วิเคราะห์ได้ โดยแป้งข้าวสีนิลจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่า แต่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง (ตารางที่ 4.1) อย่างไรก็ดีพบว่า ปริมาณไขมัน เส้นใย เถ้า และพลังงานของขนมปังทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4.33)

4.4.1.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างขนมปังแสดงดังตารางที่ 4.33 และภาพที่ 4.19 จะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบในช่วงระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่ศึกษา คือ 0-300 mg/ml ขนมปังใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก มีค่า EC_{50} เท่ากับ 218.93 mg/ml ในขณะที่ขนมปังจากแป้งสาลีล้วน พบว่า มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่ถึงร้อยละ 50 (EC_{50}) ในช่วงระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่ศึกษา จึงไม่สามารถคำนวณค่า EC_{50} ได้ (ตารางที่ 4.33) อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาภาพที่ 4.19 จะเห็นว่าขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก มีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระของ DPPH (DPPH radical) ได้ดีกว่าขนมปังจากแป้งสาลีล้วนในทุกช่วงระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่ศึกษา (0-300 mg/ml) โดยขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าขนมปังจากแป้งสาลีล้วนโดยเฉลี่ยประมาณ 1.3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบในช่วงระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่ศึกษา ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เกิดขึ้นจากสารแอนโทไซยานินและสารโปรแอนโทไซยานิดินที่พบในแป้ง

ข้าวสีนิล ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ (ณัฐภูมิ, 2550) สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขนมปังแป้งสาลีล้วนนั้น จะเกิดขึ้นได้จากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Maillard reaction products) ซึ่งเกิดขึ้นในขณะการอบขนมปัง รวมทั้งอาจเกิดจากส่วนผสมอื่นๆ ที่ใช้ในสูตร (Farombi และคณะ, 2000)

ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hsu และคณะ (2004) ที่ทดลองวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% Scavenging effect) ด้วยสาร DPPH ในขนมปังที่ใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 0 ถึง 25 ซึ่งพบว่า ขนมปังที่ไม่มีการทดแทนด้วยแป้งมันเทศ (*Dioscorea purpurea*) มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพียงเล็กน้อยที่ระดับหนึ่ง แต่เมื่อใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีในระดับที่เพิ่มมากขึ้น ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขนมปังก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย การที่ขนมปังที่ใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีมีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากในแป้งมันเทศมีสารพวกแอนโทไซยานินและสารโพลีฟีนอล ซึ่งเป็นตัวทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 4.33 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกและขนมปังแป้งสาลีล้วน

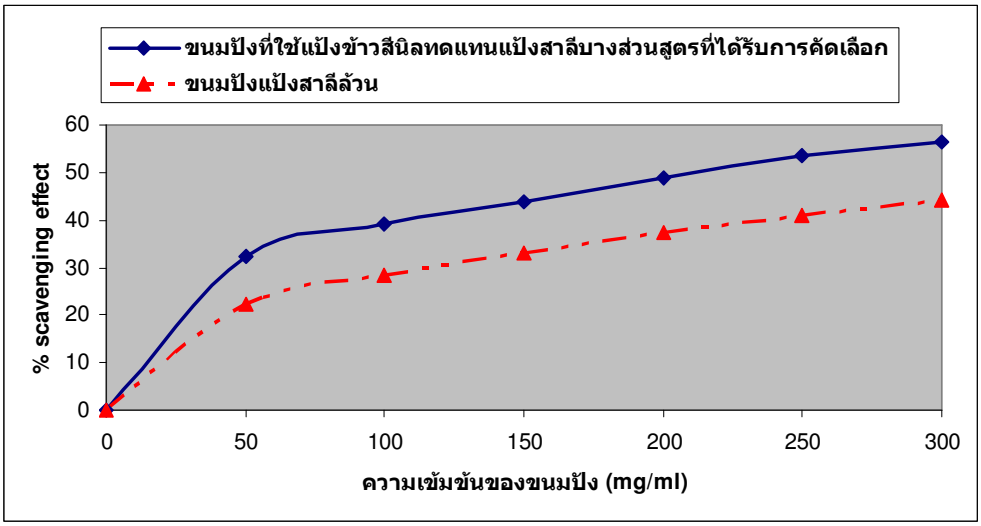
องค์ประกอบทางเคมี	ชนิดขนมปัง	
	ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลี	ขนมปังจากแป้งสาลีล้วน
ความชื้น (ร้อยละ)*	32.56 $\pm$ 0.43 [b]	34.06 $\pm$ 0.31 [a]
โปรตีน (ร้อยละ)*	8.51 $\pm$ 0.10 [b]	9.40 $\pm$ 0.04 [a]
ไขมัน (ร้อยละ)* [ns]	2.59 $\pm$ 0.16	2.66 $\pm$ 0.26
เถ้า (ร้อยละ)* [ns]	1.91 $\pm$ 0.01	1.90 $\pm$ 0.01
เส้นใย (ร้อยละ)* [ns]	0.14 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.02
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)*	54.29 $\pm$ 0.31 [a]	51.85 $\pm$ 0.37 [b]
พลังงาน (kcal/g) [ns]	4.28 $\pm$ 0.03	4.28 $\pm$ 0.03
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ, EC_{50} (mg/ml)	218.93 $\pm$ 0.58	- **

[a, b] ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

* ร้อยละโดยน้ำหนักเปียกของขนมปัง (wet basis)

** - คือ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่ถึงร้อยละ 50 (EC_{50}) ในช่วงระดับความเข้มข้น (mg/ml) ของตัวอย่างที่ศึกษา



ภาพที่ 4.19 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% Scavenging effect) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกและขนมปังแป้งสาลีล้วน

4.4.2 การทดสอบผลิตภัณฑ์ก่อนนำออกสู่ตลาด

เมื่อนำขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วน สูตรที่ได้รับการคัดเลือกพร้อมทั้งบรรจุภัณฑ์ที่ติดฉลากแล้ว (ภาพที่ 4.20) ไปทดสอบการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคจำนวน 200 คน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.34 ถึง 4.46

เมื่อพิจารณาข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบ จะเห็นว่า ผู้บริโภคเป็นเพศชายร้อยละ 24.0 และเพศหญิงร้อยละ 76.0 มีอายุอยู่ในช่วง 21-30 ปี มากที่สุดร้อยละ 48.0 รองลงมาคือ 15-20 ปี ร้อยละ 32.0 การศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุดร้อยละ 81.0 รองลงมาคือ ระดับปริญญาโท ร้อยละ 9.5 อาชีพส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นักศึกษามากที่สุดร้อยละ 74.5 รองลงมาคือ รับราชการ ร้อยละ 10.5 และพนักงานบริษัทเอกชน ร้อยละ 5.0 และรายได้ส่วนบุคคลต่อเดือนอยู่ในช่วงต่ำกว่า 10,001 บาท มากที่สุดร้อยละ 71.5 รองลงมาคือ 10,001-15,000 บาท ร้อยละ 13.5 (ตารางที่ 4.34)

ภาพที่ 4.20 ผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก พร้อมทั้งบรรจุภัณฑ์ที่ติดฉลากแล้ว

ผลการทดสอบ พบว่า ผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบมีความชอบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกๆ ด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยได้รับคะแนนด้านความชอบโดยรวม 6.23 คะแนน (ตารางที่ 4.35) เมื่อสอบถามการยอมรับของผู้บริโภคก่อนทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 79.0 ไม่ยอมรับร้อยละ 21.0 (ตารางที่ 4.37) การที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่เกิดจากความไม่คุ้นเคยในตัวผลิตภัณฑ์ และมีความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีและกลิ่นรสที่แปลกไปจากขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีล้วน รวมทั้งยังมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าเล็กน้อยและมีรสเปรี้ยวตกค้างหลังรับประทาน เมื่อสอบถามการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคก่อนทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคมีความตั้งใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์มาบริโภคร้อยละ 53.5 ไม่แน่ใจร้อยละ 31.0 และไม่ซื้อร้อยละ 15.5 (ตารางที่ 4.39) อย่างไรก็ดีเมื่อให้ผู้บริโภคได้ทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ โดยบอกผู้บริโภคให้ทราบข้อมูลว่า ตัวอย่างขนมปังที่ทดสอบไปนั้นเป็นขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวสีนิล ซึ่งเป็น

ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีส่วนผสมของข้าวสีนิลซึ่งประกอบไปด้วยสารองควัตถุพวกแอนโทไซยานินและโปรแอนโทไซยานิดิน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ และจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า ขนมปังข้าวสีนิลที่ผู้บริโภคได้ทดสอบไปนั้น มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีมากกว่าขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีล้วนถึง 1.3 เท่า จากนั้นจึงทำการสอบถามการยอมรับและการตัดสินใจซื้อ พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์มากขึ้นจากร้อยละ 79.0 เป็นร้อยละ 96.5 และมีความตั้งใจจะซื้อผลิตภัณฑ์มาบริโภคเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 53.5 เป็นร้อยละ 76.5 เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพซึ่งเป็นที่นิยมของผู้บริโภคในปัจจุบัน (ตารางที่ 4.37, 4.39, 4.41 และ 4.43) และเมื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อราคาของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก (ขนมปัง 12 แผ่น น้ำหนัก 450 กรัม ราคา 35 บาท) หลังจากทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ร้อยละ 78.0 คิดว่าราคาเหมาะสมกับคุณภาพ รองลงมาคือ คิดว่าราคาแพงกว่าคุณภาพ ร้อยละ 15.5 และคิดว่าราคาถูกกว่าคุณภาพมีน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 6.5 (ตารางที่ 4.45)

จากผลการทดสอบผู้บริโภคข้างต้นจะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในตลาด โดยที่จะต้องมีการนำเสนอให้ผู้บริโภคได้เห็นถึงคุณประโยชน์ด้านโภชนาการของผลิตภัณฑ์ เน้นให้เห็นถึงจุดเด่นของผลิตภัณฑ์ในแง่ของการเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยในการวางตลาดอาจนำเสนอให้ผู้บริโภคได้เห็นคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ด้วยการโฆษณา การแสดงข้อความที่สังเกตได้ง่ายและชัดเจนบนฉลาก หรือแสดงให้เห็นในรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากการที่ผู้บริโภคทราบหรือไม่ทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์นั้น จะส่งผลโดยตรงทั้งต่อการยอมรับและการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกมาบริโภค

ตารางที่ 4.34 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
เพศ		
ชาย	48	24.0
หญิง	152	76.0
อายุ		
15-20 ปี	64	32.0
21-30 ปี	96	48.0
31-40 ปี	20	10.0
41-50 ปี	17	8.5
มากกว่า 50 ปี ขึ้นไป	3	1.5
การศึกษา		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น	5	2.5
มัธยมศึกษาตอนต้น	2	1.0
มัธยมศึกษาตอนปลาย	6	3.0
อนุปริญญา/ปวส.	3	1.5
ปริญญาตรี	162	81.0
ปริญญาโท	19	9.5
ปริญญาเอก	3	1.5
อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา	149	74.5
พนักงานบริษัทเอกชน	10	5.0
รับราชการ	21	10.5
รับจ้างทั่วไป	8	4.0
ค้าขาย	5	2.5
พ่อบ้าน/แม่บ้าน	2	1.0
อื่นๆ	5	2.5

ตารางที่ 4.34 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน		
ต่ำกว่า 10,001 บาท	143	71.5
10,001 – 15,000 บาท	27	13.5
15,001 – 20,000 บาท	17	8.5
20,001 – 25,000 บาท	5	2.5
25,001 – 30,000 บาท	3	1.5
30,001 – 35,000 บาท	3	1.5
35,001 บาทขึ้นไป	2	1.0

ตารางที่ 4.35 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ร้อยละของผู้บริโภคที่ให้คะแนนการยอมรับในช่วง 1-9 คะแนน									คะแนนเฉลี่ย $\pm$ เบี่ยงเบนมาตรฐาน
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ลักษณะปรากฏ	0	0	0	13.0	21.0	28.5	27.5	9.0	1.0	6.02 $\pm$ 1.21
สี	0	0	0.5	11.5	19.0	33.0	23.5	11.5	1.0	6.06 $\pm$ 1.22
กลิ่นรส	0	0	0.5	13.5	20.5	26.5	27.5	10.5	1.0	6.03 $\pm$ 1.26
รสชาติ	0	0	1.5	14.0	13.5	28.5	30.0	10.5	2.0	6.11 $\pm$ 1.31
เนื้อสัมผัส	0	0	2.0	12.0	15.0	26.0	33.0	9.0	3.0	6.15 $\pm$ 1.33
ความชอบโดยรวม	0	0	0	11.0	14.5	29.5	32.5	11.0	1.5	6.23 $\pm$ 1.20

ตารางที่ 4.36 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบ

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
เพศ						
ชาย	5.60	5.83	6.04	6.15	6.17	6.19
หญิง	6.14	6.13	6.02	6.10	6.14	6.24
อายุ						
15-20 ปี	5.86	6.02	5.89	6.14	5.91	6.19
21-30 ปี	5.98	6.06	5.98	5.95	6.16	6.11
31-40 ปี	6.15	5.60	6.05	6.20	6.45	6.30
41-50 ปี	6.41	6.53	6.35	6.41	6.29	6.65
มากกว่า 50 ปี ขึ้นไป	7.33	7.33	8.33	8.33	8.33	7.67
การศึกษา						
ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น	7.60	6.80	6.40	7.20	7.00	7.80
มัธยมศึกษาตอนต้น	6.00	6.00	6.50	5.50	6.00	6.00
มัธยมศึกษาตอนปลาย	6.17	6.50	6.17	6.67	6.33	6.50
อนุปริญญา/ปวส.	5.67	5.67	6.00	6.33	6.67	6.67
ปริญญาตรี	5.96	6.07	5.94	6.04	6.04	6.13
ปริญญาโท	6.00	5.63	6.32	6.11	6.42	6.37
ปริญญาเอก	6.67	6.33	7.33	7.00	8.00	7.00
อาชีพ						
นักเรียน/นักศึกษา	5.90	5.99	5.89	5.99	5.99	6.09
พนักงานบริษัทเอกชน	6.10	6.20	6.20	6.30	6.30	6.60
รับราชการ	6.24	6.00	6.48	6.38	6.57	6.38
รับจ้างทั่วไป	6.75	6.38	6.38	6.88	7.13	7.25
ค้าขาย	6.60	6.80	6.20	6.60	6.00	6.00
พ่อบ้าน/แม่บ้าน	6.00	7.00	6.50	5.50	6.00	7.50
อื่นๆ	6.60	6.60	6.80	6.80	7.40	7.00

ตารางที่ 4.36 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน						
ต่ำกว่า 10,001 บาท	5.99	6.09	6.01	6.07	6.07	6.17
10,001 – 15,000 บาท	6.00	5.81	5.81	6.00	6.11	6.33
15,001 – 20,000 บาท	5.82	5.82	6.29	6.12	6.41	6.18
20,001 – 25,000 บาท	6.20	6.00	6.40	6.40	6.20	6.40
25,001 – 30,000 บาท	7.00	7.33	5.00	6.67	7.33	6.33
30,001 – 35,000 บาท	7.00	6.33	7.33	7.33	7.33	7.33
35,001 บาทขึ้นไป	6.50	7.00	6.50	7.00	6.50	7.00

ตารางที่ 4.37 การยอมรับของผู้บริโภคก่อนทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก

การยอมรับของผู้บริโภค	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ยอมรับ	158	79.0
ไม่ยอมรับ	42	21.0

ตารางที่ 4.38 การยอมรับของผู้บริโภคก่อนทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบ

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค	
	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ
เพศ		
ชาย	79.2	20.8
หญิง	78.9	21.1
อายุ		
15-20 ปี	82.8	17.2
21-30 ปี	74.0	26.0
31-40 ปี	85.0	15.0
41-50 ปี	82.4	17.6
มากกว่า 50 ปี ขึ้นไป	100	0
การศึกษา		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น	100	0
มัธยมศึกษาตอนต้น	100	0
มัธยมศึกษาตอนปลาย	100	0
อนุปริญญา/ปวส.	100	0
ปริญญาตรี	76.5	23.5
ปริญญาโท	78.9	21.1
ปริญญาเอก	100	0
อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา	78.5	21.5
พนักงานบริษัทเอกชน	50.0	50.0
รับราชการ	76.2	23.8
รับจ้างทั่วไป	100	0
ค้าขาย	100	0
พ่อบ้าน/แม่บ้าน	100	0
อื่นๆ	100	0

ตารางที่ 4.38 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค	
	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน		
ต่ำกว่า 10,001 บาท	81.8	18.2
10,001 – 15,000 บาท	77.8	22.2
15,001 – 20,000 บาท	58.8	41.2
20,001 – 25,000 บาท	60.0	40.0
25,001 – 30,000 บาท	100	0
30,001 – 35,000 บาท	100	0
35,001 บาทขึ้นไป	50	50

ตารางที่ 4.39 การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคก่อนทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก

การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ซื้ออย่างแน่นอน	23	11.5
อาจจะซื้อ	84	42.0
อาจจะซื้อหรือไม่ซื้อ	62	31.0
อาจจะไม่ซื้อ	21	10.5
ไม่ซื้ออย่างแน่นอน	10	5.0

ตารางที่ 4.40 การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคก่อนทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบ

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค				
	ซื้ออย่างแน่นอน	อาจจะซื้อ	อาจจะซื้อหรือไม่ซื้อ	อาจจะไม่ซื้อ	ไม่ซื้ออย่างแน่นอน
เพศ					
ชาย	8.3	31.3	43.8	8.3	8.3
หญิง	12.5	45.4	27.0	11.2	3.9
อายุ					
15-20 ปี	6.3	50.0	29.7	9.4	4.7
21-30 ปี	8.3	38.5	36.5	12.5	4.2
31-40 ปี	10.0	45.0	30.0	10.0	5.0
41-50 ปี	35.3	35.3	11.8	5.9	11.8
มากกว่า 50 ปี ขึ้นไป	100	0	0	0	0
การศึกษา					
ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น	60.0	0	40.0	0	0
มัธยมศึกษาตอนต้น	0	100	0	0	0
มัธยมศึกษาตอนปลาย	16.7	33.3	50.0	0	0
อนุปริญญา/ปวส.	0	33.3	66.7	0	0
ปริญญาตรี	9.3	43.2	31.5	10.5	5.6
ปริญญาโท	10.5	47.4	15.8	21.1	5.3
ปริญญาเอก	66.7	0	33.3	0	0
อาชีพ					
นักเรียน/นักศึกษา	6.0	44.3	32.9	12.1	4.7
พนักงานบริษัทเอกชน	10.0	40.0	30.0	20.0	0
รับราชการ	33.3	33.3	14.3	4.8	14.3
รับจ้างทั่วไป	25.0	37.5	37.5	0	0
ค้าขาย	20.0	20.0	60.0	0	0
พ่อบ้าน/แม่บ้าน	50.0	50.0	0	0	0
อื่นๆ	40.0	40.0	20.0	0	0

ตารางที่ 4.40 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค				
	ซื้ออย่างแน่นอน	อาจจะซื้อ	อาจจะซื้อหรือไม่ซื้อ	อาจจะไม่ซื้อ	ไม่ซื้ออย่างแน่นอน
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน					
ต่ำกว่า 10,001 บาท	9.8	42.0	33.6	11.2	3.5
10,001 – 15,000 บาท	3.7	51.9	33.3	3.7	7.4
15,001 – 20,000 บาท	11.8	41.2	17.6	17.6	11.8
20,001 – 25,000 บาท	40.0	20.0	20.0	0	20.0
25,001 – 30,000 บาท	33.3	33.3	33.3	0	0
30,001 – 35,000 บาท	66.7	33.3	0	0	0
35,001 บาทขึ้นไป	50.0	0	0	50.0	0

ตารางที่ 4.41 การยอมรับของผู้บริโภคหลังทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก

การยอมรับของผู้บริโภค	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ยอมรับ	193	96.5
ไม่ยอมรับ	7	3.5

ตารางที่ 4.42 การยอมรับของผู้บริโภคหลังทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบ

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค	
	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ
เพศ		
ชาย	97.9	2.1
หญิง	96.1	3.9
อายุ		
15-20 ปี	98.4	1.6
21-30 ปี	94.8	5.2
31-40 ปี	95.0	5.0
41-50 ปี	100	0
มากกว่า 50 ปี ขึ้นไป	100	0
การศึกษา		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น	100	0
มัธยมศึกษาตอนต้น	100	0
มัธยมศึกษาตอนปลาย	100	0
อนุปริญญา/ปวส.	100	0
ปริญญาตรี	96.3	3.7
ปริญญาโท	94.7	5.3
ปริญญาเอก	100	0
อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา	97.3	2.7
พนักงานบริษัทเอกชน	70.0	30.0
รับราชการ	100	0
รับจ้างทั่วไป	100	0
ค้าขาย	100	0
พ่อบ้าน/แม่บ้าน	100	0
อื่นๆ	100	0

ตารางที่ 4.42 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค	
	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน		
ต่ำกว่า 10,001 บาท	98.6	1.4
10,001 – 15,000 บาท	96.3	3.7
15,001 – 20,000 บาท	82.4	17.6
20,001 – 25,000 บาท	80.0	20.0
25,001 – 30,000 บาท	100	0
30,001 – 35,000 บาท	100	0
35,001 บาทขึ้นไป	100	0

ตารางที่ 4.43 การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคหลังทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก

การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ซื้ออย่างแน่นอน	55	27.5
อาจจะซื้อ	98	49.0
อาจจะซื้อหรือไม่ซื้อ	43	21.5
อาจจะไม่ซื้อ	3	1.5
ไม่ซื้ออย่างแน่นอน	1	0.5

ตารางที่ 4.44 การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคหลังทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบ

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค				
	ซื้ออย่างแน่นอน	อาจจะซื้อ	อาจจะซื้อหรือไม่ซื้อ	อาจจะไม่ซื้อ	ไม่ซื้ออย่างแน่นอน
เพศ					
ชาย	18.8	58.3	22.9	0	0
หญิง	30.3	46.1	21.1	2.0	0.7
อายุ					
15-20 ปี	23.4	54.7	18.8	1.6	1.6
21-30 ปี	26.0	45.8	26.0	2.1	0
31-40 ปี	20.0	55.0	25.0	0	0
41-50 ปี	47.1	47.1	5.9	0	0
มากกว่า 50 ปี ขึ้นไป	100	0	0	0	0
การศึกษา					
ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น	80.0	20.0	0	0	0
มัธยมศึกษาตอนต้น	0	100.0	0	0	0
มัธยมศึกษาตอนปลาย	33.3	50.0	16.7	0	0
อนุปริญญา/ปวส.	0	66.7	33.3	0	0
ปริญญาตรี	25.3	50.6	21.6	1.9	0.6
ปริญญาโท	31.6	42.1	26.3	0	0
ปริญญาเอก	66.7	0	33.3	0	0
อาชีพ					
นักเรียน/นักศึกษา	24.2	50.3	23.5	1.3	0.7
พนักงานบริษัทเอกชน	30.0	30.0	30.0	10.0	0
รับราชการ	33.3	52.4	14.3	0	0
รับจ้างทั่วไป	50.0	50.0	0	0	0
ค้าขาย	20.0	60.0	20.0	0	0
พ่อบ้าน/แม่บ้าน	50.0	50.0	0	0	0
อื่นๆ	60.0	20.0	20.0	0	0

ตารางที่ 4.44 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค				
	ซื้ออย่างแน่นอน	อาจจะซื้อ	อาจจะซื้อหรือไม่ซื้อ	อาจจะไม่ซื้อ	ไม่ซื้ออย่างแน่นอน
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน					
ต่ำกว่า 10,001 บาท	28.0	49.7	21.0	0.7	0.7
10,001 – 15,000 บาท	11.1	59.3	29.6	0	0
15,001 – 20,000 บาท	29.4	41.2	17.6	11.8	0
20,001 – 25,000 บาท	60.0	20.0	20.0	0	0
25,001 – 30,000 บาท	33.3	66.7	0	0	0
30,001 – 35,000 บาท	66.7	33.3	0	0	0
35,001 บาทขึ้นไป	50.0	0	50.0	0	0

ตารางที่ 4.45 ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อราคาของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก หลังจากทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ (ขนมปัง 12 แผ่น 450 กรัม ราคา 35 บาท)

ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อราคา	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ราคาถูกกว่าคุณภาพ	13	6.5
ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ	156	78.0
ราคาแพงเกินกว่าคุณภาพ	31	15.5

ตารางที่ 4.46 ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อราคาของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก หลังจากทราบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ (ขนมปัง 12 แผ่น 450 กรัม ราคา 35 บาท) เมื่อจำแนกตามลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคที่เข้าร่วมการทดสอบ

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค		
	ราคาถูกกว่าคุณภาพ	ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ	ราคาแพงเกินกว่าคุณภาพ
เพศ			
ชาย	6.3	77.1	16.7
หญิง	6.6	78.3	15.1
อายุ			
15-20 ปี	7.8	78.1	14.1
21-30 ปี	6.3	83.3	10.4
31-40 ปี	5.0	70.0	25.0
41-50 ปี	0	64.7	35.3
มากกว่า 50 ปี ขึ้นไป	33.3	33.3	33.3
การศึกษา			
ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น	0	60.0	40.0
มัธยมศึกษาตอนต้น	0	50.0	50.0
มัธยมศึกษาตอนปลาย	0	50.0	50.0
อนุปริญญา/ปวส.	0	100	0
ปริญญาตรี	6.8	80.9	12.3
ปริญญาโท	5.3	73.7	21.1
ปริญญาเอก	33.3	33.3	33.3
อาชีพ			
นักเรียน/นักศึกษา	7.4	80.5	12.1
พนักงานบริษัทเอกชน	10.0	80.0	10.0
รับราชการ	4.8	66.7	28.6
รับจ้างทั่วไป	0	87.5	12.5
ค้าขาย	0	20.0	80.0
พ่อบ้าน/แม่บ้าน	0	50.0	50.0
อื่นๆ	0	100	0

ตารางที่ 4.46 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละของผู้บริโภค		
	ราคาถูกกว่าคุณภาพ	ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ	ราคาแพงเกินกว่าคุณภาพ
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน			
ต่ำกว่า 10,001 บาท	6.3	77.6	16.1
10,001 – 15,000 บาท	7.4	81.5	11.1
15,001 – 20,000 บาท	5.9	88.2	5.9
20,001 – 25,000 บาท	0	60.0	40.0
25,001 – 30,000 บาท	0	66.7	33.3
30,001 – 35,000 บาท	33.3	33.3	33.3
35,001 บาทขึ้นไป	0	100	0

4.5 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษา โดยนำผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก มาเก็บรักษาไว้ในถุงพลาสติกใสโพลีเอทิลีน ชนิด Food grade ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 3 วัน ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี (ปริมาณน้ำอิสระและปริมาณความชื้น) คุณภาพทางกายภาพ (ค่าสี และเค้าโครงเนื้อสัมผัส) และคุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมปังที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.47-4.50 ดังนี้

4.5.1 ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4.47 พบว่า ปริมาณน้ำอิสระและความชื้นของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกมีแนวโน้มที่จะลดลง เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น การเก็บรักษาที่ระยะเวลานาน 3 วัน จะทำให้ปริมาณน้ำอิสระและความชื้นของขนมปังลดน้อยลงกว่าขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ (ระยะการเก็บรักษา 0 วัน) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากขนมปังเมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานมากขึ้น จะเกิดการสูญเสียความชื้นไปสู่บรรยากาศ จึงทำให้ปริมาณน้ำอิสระและความชื้นมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับตอนที่อบเสร็จใหม่ๆ จิตธนาและอรอนงค์ (2539) รายงานว่า ขนมปังจะมีคุณภาพดีที่สุดหลังจากที่นำออกจากเตาอบประมาณ 2-3 ชั่วโมง ขนมปังที่อยู่ในสภาพดีจะมีความชื้นอย่างต่ำร้อยละ 30 แต่เมื่อตั้งขนมปังทิ้งไว้ระยะหนึ่ง พบว่า ขนมปังมีโอกาสที่จะสูญเสียความชื้นไปกับบรรยากาศ

ได้มาก นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บรักษาขนมปัง ขนมปังจะเกิดการคืนตัวของแป้งสุก ทำให้แป้งสุกเกิดการเปลี่ยนคุณสมบัติเป็นเจลแป้งที่แข็งขึ้น (retrogradation) เมื่อเจลแข็งขึ้นจะมีการขับน้ำออกมาจากเจลแป้ง จึงทำให้อัตราการแห้งของขนมปังเพิ่มขึ้น (อรพิน, 2533; จิตธนา และอรอนงค์, 2539) ส่งผลให้ขนมปังมีปริมาณน้ำอิสระและความชื้นลดลง เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น

ตารางที่ 4.47 สมบัติทางเคมีของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อผ่านการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)	สมบัติทางเคมี	
	น้ำอิสระ (a_w)	ความชื้น (ร้อยละ)*
0	0.917 ± 0.003^{ab}	34.43 ± 0.09^{a}
1	0.920 ± 0.001^{a}	34.02 ± 0.06^{b}
2	0.915 ± 0.001^{bc}	29.29 ± 0.02^{c}
3	0.913 ± 0.000^{c}	28.52 ± 0.02^{d}

a, b, c, ... ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

* ร้อยละโดยน้ำหนักเปียกของขนมปัง (wet basis)

4.5.2 ค่าสี L*, a* และ b*

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.48 จะเห็นว่า ค่าความสว่าง (ค่าสี L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อผ่านการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ขนมปังที่ผ่านการเก็บรักษานาน 3 วัน จะยังคงมีสีม่วงคล้ายสีเผือกกวนเหมือนกับขนมปังตอนที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ (ระยะการเก็บรักษา 0 วัน)

ตารางที่ 4.48 ค่าสี L*, a* และ b* ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อผ่านการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)	ค่าสี L* [ns]	ค่าสี a* [ns]	ค่าสี b* [ns]
0	58.08 $\pm$ 0.60	3.28 $\pm$ 0.36	8.61 $\pm$ 0.24
1	58.52 $\pm$ 1.70	3.52 $\pm$ 0.06	8.34 $\pm$ 0.24
2	59.44 $\pm$ 0.48	3.70 $\pm$ 0.16	8.88 $\pm$ 0.33
3	59.04 $\pm$ 0.69	3.76 $\pm$ 0.07	8.95 $\pm$ 0.08

[ns] ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.5.3 เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส

จากตารางที่ 4.49 พบว่า ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับความยากในการเคี้ยวตัวอย่างซึ่งพิจารณาได้จากค่า gumminess และ chewiness ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น การที่ขนมปังที่ผ่านการเก็บรักษามีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น จึงต้องเพิ่มแรงในการเคี้ยวให้มากขึ้น ทำให้มีความยากในการเคี้ยวเพิ่มขึ้นนั่นเอง การเก็บรักษาที่ระยะเวลานาน 2 วัน ขึ้นไป จะทำให้ค่าการคืนตัวของตัวอย่าง (springiness) และค่าการเกาะกันของตัวอย่าง (cohesiveness) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปังที่ผ่านการเก็บรักษาไม่เกิน 1 วัน กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก มีเนื้อสัมผัสที่ไม่ค่อยยืดหยุ่นและมีความแข็งร่วนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ค่อยให้การยอมรับ การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังดังกล่าว เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิด staling ของขนมปัง หรือเกิดการคืนตัวของสตาร์ช (retrogradation) ในระหว่างการเก็บรักษาขนมปัง ทำให้เนื้อขนมปังแห้ง แข็ง และร่วนมากขึ้น นอกจากนี้ความชื้นในเนื้อขนมปังจะเคลื่อนย้ายไปยังเปลือกนอก ทำให้เปลือกนอกเหนียว และไม่กรอบเหมือนกับตอนที่อบเสร็จใหม่ๆ (จิตธนาและอรอนงค์, 2539; Charalambous, 1993)

ตารางที่ 4.49 เค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อผ่านการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)	ค่าเนื้อสัมผัส				
	firmness (g)	springiness	cohesiveness ^{ns}	gumminess (g) ^{ns}	chewiness (g) ^{ns}
0	193.90 $\pm$ 14.20 ^{d}	0.96 $\pm$ 0.01 ^{a}	0.74 $\pm$ 0.01 ^{a}	142.50 $\pm$ 8.77 ^{d}	137.30 $\pm$ 9.32 ^{d}
1	290.41 $\pm$ 10.21 ^{c}	0.96 $\pm$ 0.00 ^{a}	0.72 $\pm$ 0.01 ^{a}	208.78 $\pm$ 4.17 ^{c}	199.61 $\pm$ 3.92 ^{c}
2	465.77 $\pm$ 4.97 ^{b}	0.94 $\pm$ 0.01 ^{b}	0.64 $\pm$ 0.02 ^{b}	298.13 $\pm$ 10.56 ^{b}	278.84 $\pm$ 13.93 ^{b}
3	592.00 $\pm$ 40.78 ^{a}	0.93 $\pm$ 0.01 ^{b}	0.63 $\pm$ 0.02 ^{b}	370.17 $\pm$ 28.77 ^{a}	344.84 $\pm$ 25.40 ^{a}

$^{a, b}$ ค่าเฉลี่ยในแนวคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

พรวีนัส (2544) ทดลองเก็บรักษาขนมปังที่ใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 เป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขนมปังจะมีค่าความแน่นเนื้อของเนื้อในเพิ่มขึ้น และมีปริมาณความชื้นของเนื้อในขนมปังลดลง Caul และ Vaden (1972) รายงานว่า ขนมปังแซนด์วิชที่ไม่ใส่วัตถุกันเสียจะคงความสดใหม่ (ไม่เกิดการ staling) อยู่ได้ภายในระยะเวลา 1-2 วัน หลังจากอบเสร็จ การเก็บรักษาขนมปังที่ระยะเวลานาน 4 วัน ขึ้นไป พบว่า ขนมปังจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งร่วน (เกิดการ staling) อย่างชัดเจน ซึ่งผลการวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมา มีความสอดคล้องกับค่าเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือกที่ผ่านการเก็บรักษานาน 0 ถึง 3 วัน ที่วิเคราะห์ได้ข้างต้น (ตารางที่ 4.49)

4.5.4 คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ดังตารางที่ 4.58 พบว่า ขนมปังที่ผ่านการเก็บรักษาในระยะเวลาไม่เกิน 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จะมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วงที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมปังปอนด์ (มผช.747/2548) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2548) ที่กำหนดคุณภาพว่าขนมปังปอนด์จะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 1×10^4 และ 100 โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม สำหรับขนมปังที่ผ่านการเก็บรักษานานตั้งแต่ 4 วัน พบว่า เริ่มจะมีกลิ่นเปรี้ยวผิดปกติ รวมทั้งมีโคโลนีของเชื้อราปรากฏอยู่บนผิวขนมปัง จึงไม่ได้ทำการทดสอบ ดังนั้นขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก จึงมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 3 วัน ณ อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของพรวีนัส (2544) ที่รายงานว่าขนมปังที่ใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในระดับร้อยละ 30 สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้เป็นระยะเวลานาน 3 วัน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Plessas และคณะ (2005) ที่รายงานว่า ขนมปังที่ใช้ยีสต์ในการหมักจะเกิดการเน่าเสียจากยีสต์และรา เมื่อผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{O}C นานตั้งแต่ 4 วันขึ้นไป

ตารางที่ 4.50 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสีนิลทดแทนแป้งสาลีบางส่วนสูตรที่ได้รับการคัดเลือก เมื่อผ่านการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)	คุณภาพทางจุลินทรีย์	
	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	จำนวนยีสต์และรา (CFU/g)
0	< 100	< 100
1	1.0×10^2	< 100
2	2.8×10^3	< 100
3	7.8×10^3	< 100
4*	-	-

* ปรากฏเชื้อราบนขนมปัง ขนมปังเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์