โครงการย่อยที่ 3
การพัฒนาแป้งกล้วยน้ำว้าที่มีสมบัติพรีไบโอติก และต้านอนุมูลอิสระ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ

ชื่อโครงการ การพัฒนาแป้งกล้วยน้ำว้าที่มีสมบัติพรีไบโอติก และต้านอนุมูลอิสระสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ (Prebiotic and Antioxidative Functionalities of 'Nam Wah' banana Flours for Healthier Snack Development)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 **จำนวนเงิน** 1,000,000.- บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ วันที่ 3 มิถุนายน 2553 ถึง 2 มิถุนายน 2554

ชื่อผู้วิจัย นางเนตรนภิส วัฒนสุชาติ [1]

นางสาววนิดา เทวารุทธิ์[2]

นายพิสุทธิ์ บุตรสุวรรณ[3]

และนางสาววาสนา นาราศรี[4]

บทคัดย่อ

การวิจัยแป้งกล้วยน้ำว้าที่มีสมบัติพรีไบโอติกเพื่อใช้เป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์อาหารว่างทางเลือกสำหรับประชาชนและส่งเสริมการบริโภคผลิตภัณฑ์จากแป้งกล้วยที่มีผลดีต่อสุขภาพ สามารถช่วยให้ระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดี และลดภาวะเสี่ยงต่อโรคทางอายุรกรรมต่างๆ ได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหลอดเลือดอุดตัน โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาแป้งกล้วยน้ำว้าจาก 3 พันธุ์ คือ มะลิอ่อง ละอองน้ำ และขาวนวล โดยตรวจสอบสมบัติพรีไบโอติก (prebiotic property) ได้แก่ รีซิสแทนด์สตาร์ช (resistant starch, RS)หรือสตาร์ชที่ทนทานการย่อย และอัตราการย่อยสตาร์ช (*in vitro* starch digestibility) ในด้านคุณค่าทางโภชนาการ (nutritional qualities) ได้ตรวจสอบองค์ประกอบสารอาหาร (proximate compositions) ใย

---

[1] วท.ด. (วิทยาศาสตร์การอาหาร) ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร 50 ถนนงามวงศ์วาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กทม. 10900 โทรศัพท์ 029428629 ต่อ 603

[2] วท.ม. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร) ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร 50 ถนนงามวงศ์วาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กทม. 10900 โทรศัพท์ 029428629 ต่อ 606

[3] วท.ม. (เทคโนโลยีอาหาร) ฝ่ายกระบวนการผลิต สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร 50 ถนนงามวงศ์วาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กทม. 10900 โทรศัพท์ 029428629 ต่อ 611

[4] วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร 50 ถนนงามวงศ์วาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กทม. 10900 โทรศัพท์ 029428629 ต่อ 607

อาหาร (dietary fibers) และน้ำตาลทั้งหมด (total sugars) รวมทั้งสมบัติเชิงพันธภาพ (anti-oxidative properties) ของเนื้อ/แป้งกล้วย และผลิตภัณฑ์อาหารว่างเชิงอุตสาหกรรม 3 ชนิด: สแน็คกล้วย บิสกิตกล้วย และเครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอ ผลการศึกษา พบว่า เนื้อกล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์ในระยะดิบมี RS สูงสุด (57.1 ± 1.2, 63.4 ± 2.5 และ 64.1 ± 1.3 ก./100 ก. ตามลำดับ) และปริมาณ RS จากกล้วยดิบ ห่าม และสุก มีค่าแตกต่างกัน คือปริมาณ RS ของกล้วยน้ำว้าดิบทั้งสามพันธุ์ค่อยๆ ลดลงจนกล้วยเริ่มสุก พบว่ามี RS 17.1 ± 1.1, 13.5 ± 0.3 และ 14.3 ± 5.7 ก./100 ก. ตามลำดับ เมื่อนำกล้วยดิบมาเตรียมเป็นแป้ง พบว่ามีปริมาณ RS สูงเช่นกัน (57.1 ± 1.5, 59.0 ± 1.2 และ 55.1 ± 0.7 ก./100 ก. ตามลำดับ) และยังพบสตาร์ชที่ย่อยได้ digestible starch สูงที่สุดในระยะสุก มีปริมาณ 36.0 ± 0.4, 46.0 ± 6.4 และ 38.8 ± 2.2 ก./100 ก. ตามลำดับ ทำให้กล้วยน้ำว้าสุกย่อยได้ง่ายกว่ากล้วยระยะดิบและห่าม เนื่องจากกล้วยดิบ-ห่ามยังมีสตาร์ชและกากใยสูง ซึ่งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเมื่อกล้วยเริ่มสุก ในการตรวจสอบอัตราการย่อยสตาร์ช พบว่ากล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์ มีสมบัติพรีไบโอติกที่ดีสามารถทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ α-amylase โดยที่แป้งกล้วยมีอัตราการย่อยต่ำกว่าสตาร์ชกล้วย อย่างมาก และแป้งกล้วยละอองน้ำมีอัตราการย่อยต่ำสุด (17.9 ± 0.1 ก./100 ก.) สอดคล้องกับแป้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำที่ปริมาณ RS สูงที่สุดในทำนองเดียวกันอัตราการย่อยสตาร์ชที่ 90 นาที ของเนื้อกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำในระดับดิบ ห่าม และสุก (9.2 ± 0.2, 11.8 ± 0.3 และ 11.6 ± 0.7 ก./100 ก.ตามลำดับ) มีอัตราการย่อยต่ำกว่ากล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องและกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวล สำหรับผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยน้ำว้าจาก 3 พันธุ์ พบว่ามีอัตราการย่อยสตาร์ชต่ำ (18.8 ±0.1, 19.1 ± 0.0 และ 22.0 ± 0.1 ก./100 ก.ตามลำดับ) เมื่อย่อยนาน 90 นาที ซึ่งแสดงถึงความแข็งแกร่งของโครงสร้าง extrudate ที่สามารถทนทานการย่อยได้ดีจึงจัดเป็น slow digestible products ส่วนเครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอมีอัตราการย่อย 45.0 ± 0.1 ก./100 ก.ในการเตรียมแป้งปรับสภาพด้วยวิธีการ boiling, extrusion cooking และ drum drying พบว่าวิธี boiling ทำให้ RS คงอยู่มากกว่าวิธีอื่น เมื่อต้มนาน 1 และ 2 นาที มี RS 25.4 ± 1.1 และ 16.0 ± 0.6 ก./100 ก.ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาต้มนานขึ้นจะมีผลให้ปริมาณ RS ลดลง สรุปได้ว่าวิธีการต้มจะได้แป้งกล้วยที่มีสมบัติพรีไบโอติกที่เหมาะสม ขณะที่ extrusion cooking มีผลให้ RS ลดลงอย่างมากเหลือเพียง 1.88 ± 0.4 ก./100 ก.และ drum drying มีผลให้ RS ลดลงเช่นกันเหลือเพียง 1.4 ± 0.1 ก./100 ก.แต่เมื่อเติม guar gum และ pectin ทำให้ RS เพิ่มขึ้นเป็น 3.4 ± 0.1 และ 3.3 ± 0.1 ก./100 ก.ตามลำดับ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยน้ำว้าต้นแบบด้วยวิธีการ extrusion cooking ด้วยแป้งกล้วยน้ำว้า 100% เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบและการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรที่เติมแป้งกล้วยน้ำว้า 40-80% ถึงแม้ความกรอบแต่ละสูตรจะแตกต่างกันบ้าง เมื่อพิจารณาใยอาหารทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สแน็คจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องและกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำ พบว่ามีปริมาณค่อนข้างสูง 5.27 ± 0.1 และ 5.19 ± 0.0 ก./100 ก.ตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วยสูตรแป้งกล้วย 45% พบว่า RS มีปริมาณต่ำเช่นกัน (2.39 ก./100 ก.) มีคะแนนความชอบและการยอมรับโดยรวมต่อคุณลักษณะ

ค่อนข้างต่ำ แต่พบว่ามีใยอาหารสูงถึง 6.59 ± 0.2 ก./100 ก.ที่สำคัญในการศึกษานี้พบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอที่เตรียมจากแป้งกล้วยน้ำว้าปรับสภาพด้วยวิธีการต้มจะมี RS สูงกว่าผลิตภัณฑ์อื่นโดยเฉพาะสูตรเติมสตาร์ชกล้วยน้ำว้า 30% ทำให้เครื่องดื่มมี RS ที่ได้จากการคำนวณ สูงมากถึง 13.14 ถึง 15.77 ก./100 ก.และเมื่อเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมดื่ม จะมี RS 3.94 ถึง 4.73 g/serving size (200 mL) สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้าดิบ ห่ามและสุก พบว่า กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องละอองน้ำ และขาวนวล มีพลังงาน 126.22 ± 0.3 ถึง 128.70 ± 2.0, 123.58 ± 0.1 ถึง 130.82 ±0.3 และ 129.50 ± 1.0 ถึง 144.96 ±0.5 kcal/100 g ตามลำดับ โดยที่ระยะสุกมีพลังงานน้อยสุด กล้วยดิบมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำสุด และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อใกล้สุก ระหว่าง 17.46 ± 0.2 ถึง 17.86 ± 0.9 ก./100 ก.และน้ำตาลที่พบในกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องและละอองน้ำมีเพียง 2 ชนิด คือ กลูโคสและฟรักโทส ส่วนกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวล พบได้ทั้งกลูโคส ฟรักโทส และซูโครส สำหรับใยอาหารทั้งหมดพบว่ามีปริมาณสูงในระยะดิบระหว่าง3.41 ± 0.0 ถึง 4.26 ± 0.0 ก./100 ก.เมื่อเทียบระหว่างระยะดิบ-สุก พบว่าใยอาหารชนิดละลายน้ำซึ่งประกอบด้วย pectin fructan และอื่นๆ นั้น มีปริมาณมากในระยะใกล้สุกมากกว่าระยะดิบ ขณะที่ชนิดไม่ละลายน้ำซึ่งประกอบด้วย cellulose, hemicellulose และ อื่นๆ พบได้มากในกล้วยน้ำว้าระยะดิบและห่ามสูงกว่าระยะสุก นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยทั้งสามระยะ มีใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำสูงกว่าชนิดละลายน้ำโดยที่ชนิดละลายน้ำจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จากระยะดิบจนถึงสุก ขณะที่ชนิดไม่ละลายน้ำกลับมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จากระยะดิบจนถึงสุก

ผลการศึกษาปริมาณสารฟีโนลิคทั้งหมดที่แสดงผลการเป็น gallic acid equivalent และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay และ DPPH assay ซึ่งแสดงผลเป็น vitamin C และ trolox equivalent สำหรับ FRAP assay โดยที่ DPPH assay แสดงผลเป็น scavenging percentage ส่วนปริมาณสาร condensed tannin วิเคราะห์ด้วยวิธี vanillin assay ที่แสดงผลเป็น catechin equivalent จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารฟีโนลิคทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับระยะการสุกของกล้วย กล้วยน้ำว้าดิบจะมีปริมาณสารต่างๆ และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากล้วยสุกทั้งในเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วย โดยในเปลือกกล้วยมีปริมาณสารต่างๆ และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในเนื้อกล้วยมาก ทั้งนี้พันธุ์กล้วยไม่มีผลต่อปริมาณสารสำคัญต่างๆ รวมถึงคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน นอกจากนี้กระบวนการผลิตที่ร้อนมีผลกระทบทำให้ปริมาณสารฟีโนลิคทั้งหมด และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระลดลงโดยไม่มีผลต่อปริมาณสาร condensed tannin

Abstract

Research on prebiotic properties of 'Nam Wah' banana Flours for Healthier Snack Development was objected to develop modification process for prebiotic banana flours from three cultivars of 'Nam Wah' banana such as 'Mali-ong', 'La-ong nam' and 'Khao nuan' and to determine

resistant starch (RS), the *in vitro* starch digestibility (SD) as well as nutritional qualities of the flours and developed products such as extruded banana snacks, banana biscuits and "Prebio-banana" drink. The results showed that RS of banana pulps obtained from three cultivars and three ripening stages (unripe, almost ripe and ripe) were different. At unripe stage, a very high RS contents of 57.1 ± 1.2, 63.4 ± 2.5 and 64.1 ± 1.3 g/100g, respectively, were found. A gradual decrease in RS was occurred until reaching a ripe stage and had the contents of 17.1 ± 1.1, 13.5 ± 0.3 and 14.3 ± 5.7 g/100g. When the flours was processed from raw bananas of the three cultivars, a high in RS was also shown with the contents of 57.1 ± 1.5, 59.0 ± 1.2 and 55.1 ± 0.7 g/100g, respectively and this meant that banana flours had a prebiotic functionality presenting an enzymatic resistance to α-amylase digestion. At ripe stage, digestible starch from three cultivars showed the highest contents of 36.0 ± 0.4, 46.0 ± 6.4 and 38.8 ± 2.2 g/100g, respectively; this meant that the ripe bananas could be easier digested than the unripe and almost ripe ones, which contains higher RS and dietary fibers. For the *in vitro* starch digestibility, the banana flours from the three cultivars exhibited a slower rate of starch digestibility than the banana starch and the 'La-ong nam' had the slowest rate of 17.9 ± 0.1 g/100g after 90 min digestion. This was agreed with the highest RS content for 'La-ong nam' flour and a slower starch digestibility rate of 'La-ong nam' pulps during ripening stage (9.2 ± 0.2, 11.8 ± 0.3 and 11.6 ± 0.7 g/100g, respectively) than 'Mali-ong' and 'Khao nuan'. For banana snacks from the three cultivars, a starch digestion over a period of 90 min was slow at a rate of 18.8 ±0.1, 19.1 ± 0.0 and 22.0 ± 0.1 g/100g, respectively, due to stability of extrudate structure in resistant to enzymatic digestion, accounting for slow digestible products. While "Prebio-banana" drink had a starch digestion rate of 45.0 ± 0.1 g/100g. For modification process for prebiotic flours using methods of boiling, extrusion cooking และ drum drying, it showed that boiling retained the highest content of RS. When raw *mali-ong* banana was boiled for 1 and 2 min., RS were 25.4 ± 1.1 and 16.0 ± 0.6 g/100g, respectively, and the contents was decreased with an increase of boiling time. This indicated that boiling treatment was an appropriate process for modification of prebiotic banana flour. While extrusion cooking retained a very low RS of 1.88 ± 0.4 g/100g and drum drying had 1.4 ± 0.1 g/100g, addition of guar gum and pectin increased the contents of RS to 3.4 ± 0.1 and 3.3 ± 0.1 g/100g, respectively. Thus, the developed banana snacks with 100% flour by using extrusion cooking could be a healthy snack prototype because there were not different in overall preference and acceptance among the snacks formulated with 40 to 100% banana flours, although little difference in crispness was observed. When considering with total dietary fibers, the banana snacks made from

'Mali-ong' and 'La-ong nam' had a high contents of 5.27 ± 0.1 และ 5.19 ± 0.0 g/100g, respectively. For banana biscuits developed using 45% banana flour, the content of RS was very low (2.39 g/100g), but high in dietary fibers (6.59 ± 0.2 g/100g), while preference and acceptance toward product characteristics were quite low. In this study, "Prebio-banana" drink products made with the banana flour modified by using boiling treatment retained a very high RS, particularly when 30% addition of banana starch was incorporated in the formula. From calculation, RS of "Prebio-banana" drink was 13.14 to 15.77 g/100g powder and 3.94 to 4.73 g/serving size (200 mL) for ready to drink. For nutritional qualities of the three cultivars with three ripening stages, the obtained energy were 126.22 ± 0.3 to 128.70 ± 2.0, 123.58 ± 0.1 to 130.82 ±0.3 และ 129.50 ± 1.0 to 144.96 ±0.5 kcal/100 g, respectively, and the lowest energy was found at a ripe stage. For total sugars, the lowest contents was found at unripe stage and gradually increased to the highest contents of 17.46 ± 0.2 to 17.86 ± 0.9 g/100g at ripe stage. Only glucose and fructose was found with 'Mali-ong' and 'La-ong nam' and the contents increased with ripening as well, while glucose fructose and sucrose was found with 'Khao nuan'. For total dietary fibers, unripe bananas had the highest content of 3.41 ± 0.0 to 4.26 ± 0.0 g/100g. Moreover, soluble dietary fibers, comprising of pectin, fructan and others, were higher at ripe than unripe stage, whereas insoluble dietary fibers, comprising of cellulose, hemi-cellulose, others, were higher at unripe and almost-ripe than ripe stage. In particular, the bananas had higher content of insoluble fibers than soluble fibers, and the content of soluble fibers tended to increase with ripening, whereas the content of insoluble fibers tended to decrease with ripening. From the results of processing effect on total phenolic content, anti-oxidant activities and condensed tannin, it showed that total phenolic content of bananas was depended on the ripening period. Unripe bananas had the highest total phenolic content, also antioxidant activities with both of pulp and peel. As the assumption, banana peel had a higher total phenolic content and antioxidant activities from DPPH assay and FRAP assay. The cultivars of banana has no effect ($p<0.05$) through all evaluation. On the other hand, tannin content had been affected by the processing method. The tannin content evaluation of the starch samples and snack presented high content. The heat treatments may play the important role to improve activities of the structural tannin via vanillin assay.

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

กล้วยน้ำว้าเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ควรส่งเสริมการบริโภคแก่ประชาชนทั้งในรูปสด และการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ในปัจจุบันข้อมูลองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับคุณประโยชน์ของกล้วยมีเพิ่มขึ้นมากมายนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการ (nutritional values) ในด้านเป็นอาหารที่

ให้พลังงาน วิตามินและแร่ธาตุ รวมทั้งใยอาหาร ที่สำคัญ กล้วยมีองค์ประกอบสารสำคัญ (functional ingredients) หลายชนิดที่มีการศึกษายืนยันคุณประโยชน์เพื่อการส่งเสริมการบริโภคทั้งในรูปกล้วยดิบ สุก และผลิตภัณฑ์กล้วยพร้อมรับประทาน ประกอบกับประเทศไทยมีพันธุ์กล้วยที่หลากหลายซึ่งควรศึกษาทั้งพันธุ์ที่ปลูกจำหน่ายและพันธุ์พื้นบ้าน ซึ่งควรนำมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตภัณฑ์อาหารในเชิงอุตสาหกรรม ให้หลากหลายมากขึ้นและเป็นทางเลือกเพื่อสุขภาพให้กับคนไทย โดยเฉพาะกล้วยน้ำว้า ซึ่งมีศักยภาพเชิงเศรษฐกิจให้ผลิตผลกล้วยสูง ควรที่จะส่งเสริมการใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมอาหารอย่างเป็นรูปธรรมให้มากขึ้น ดังนั้นการพัฒนาการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างเพื่อสุขภาพ จึงเป็นทางเลือกที่ดีแก่ผู้บริโภคทุกระดับโดยเฉพาะเด็กและเยาวชน

อาหารว่างทางเลือกเพื่อสุขภาพที่เหมาะสมกับเด็ก และเยาวชน

ปัจจุบัน ภาวะเศรษฐกิจ และสังคม วิถีการดำรงชีวิตของคนไทยได้รับอิทธิพลจากกระแสโลกาภิวัฒน์ส่งผลกระทบต่อการบริโภคอาหารและสุขภาพของคนไทย การบริโภคอาหารที่ไม่สมดุล เกินปริมาณความต้องการของร่างกาย โดยเฉพาะอาหารแบบตะวันตกที่มี น้ำตาล ไขมัน และโซเดียมในปริมาณสูง เป็นสาเหตุให้เกิดโรคต่างๆ ทางอายุรกรรม เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคหัวใจ และ อื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งเป็นปัญหาคุกคามภาวะสุขภาพและบั่นทอนคุณภาพชีวิตของคนไทยอยู่ในขณะนี้ การวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณประโยชน์ทางโภชนาการต่อผู้บริโภคจึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทขนมที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเด็กและเยาวชน ซึ่งเป็นวัยที่ร่างกายควรได้รับประทานอาหารที่ดีมีคุณค่าสารอาหารครบสมบูรณ์ต่อการเจริญเติบโตของร่างกายและสมอง

ผลิตภัณฑ์ บิสกิตถั่วเขียว และ สแนคเบญจรงค์ข้าว 5 สี เป็นขนมทางเลือกเพื่อสุขภาพที่พัฒนาสูตรโดย เนตรนภิส และจุฬาลักษณ์ (2550, 2551) มีองค์ประกอบ น้ำตาล ไขมัน และเกลือโซเดียมในปริมาณต่ำกว่าสูตรทั่วไป เพิ่มวัตถุดิบจากธรรมชาติ ได้แก่ ธัญพืช ถั่ว ใบหม่อน ขมิ้น และอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ รวมทั้งโปรตีนและแคลเซียม ที่จำเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของเด็ก และออกแบบบรรจุภัณฑ์ขนาดหนึ่งหน่วยบริโภค (one serving size) 30 กรัม ที่เหมาะสมต่อการบริโภคหนึ่งครั้ง ทั้งนี้ได้เผยแพร่ต้นแบบผลิตภัณฑ์สู่กลุ่มเป้าหมายเพื่อส่งเสริมการผลิตและการบริโภค โดยเฉพาะได้สร้างภาคีเครือข่ายความร่วมมือกับผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมขนมในการพัฒนาและผลิตผลิตภัณฑ์ขนมทางเลือกเพื่อสุขภาพเชิงการค้า เพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพเด็กและช่วยลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเป็นโรคอ้วนและอื่นๆ

ผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเขียวเพื่อสุขภาพ ทำจากถั่วเมล็ดแห้ง ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วเหลือง เป็นแหล่งอาหารโปรตีนจากพืชที่มีคุณภาพ และราคาถูก มีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 20-40 รวมทั้งมีใยอาหาร โฟเลท วิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญค่อนข้างสูง การบริโภคถั่วเมล็ดแห้งเป็นประจำ จึงช่วยป้องกันท้องผูกและโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วย

โรคเบาหวานให้ดีขึ้นและยังทำให้ระดับโคเลสเตอรอลในเลือดลดลง ซึ่งผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเขียวนี้เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพสำหรับเด็ก ที่พัฒนาสูตร โดยการเติม ถั่วเขียว หรือ ถั่วแดง ร้อยละ 40 ของน้ำหนักแป้ง มีส่วนผสมโปรตีนเข้มข้น (whey protein concentrate) และแคลเซียมเพื่อช่วยเสริมคุณค่าโภชนาการให้ครบถ้วน สูตรและขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากสามารถผลิตได้ทั้งในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรม

สำหรับ สแนคเบญจรงค์ ทำจาก ข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของไทย นำมาแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และเหมาะสำหรับเป็นขนมเด็กเพื่อสุขภาพ ข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก คือ ข้าวกล้องจากข้าวหอม ข้าวเจ้าหอมนิล และ มีส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ แป้งสาลี ข้าวโพด คอร์นกริต แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม และแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น จากนั้นนำมาแปรรูป ด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (extrusion process) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย และมีประสิทธิภาพต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพองกรอบและมีความปลอดภัยต่อการบริโภค นอกจากนี้ “สแนคเบญจรงค์” ยังประกอบไปด้วยวัตถุดิบอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติสร้างสุขภาพ (functional Food) ที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย และได้พัฒนาให้มีรูปลักษณ์สะดุดตาและจูงใจผู้บริโภค โดยมีรูปร่างคล้ายโดนัทชิ้นเล็ก แต่งเติมให้มีสีสันสะดุดตา 5 สี ล้วนแล้วแต่เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง ใบหม่อน (mulbeery) ขมิ้น (turmeric) และข้าวแดง (angkak) ซึ่งมีคุณประโยชน์ในด้านการต้านอนุมูลอิสระ และลดโคเลสเตอรอล ซึ่งเหมาะที่จะเป็นอาหารว่างสำหรับทุกเพศทุกวัย

ประโยชน์ของ resistant starch

อาหารสุขภาพ (health foods) มีแนวโน้มความต้องการจากผู้บริโภคมากยิ่งขึ้นทั้งภายในและต่างประเทศ ในปัจจุบัน resistant starch ซึ่งเป็น functional component ที่พบในพืชจำพวกคาร์โบไฮเดรท และเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาวิจัย เพราะให้คุณประโยชน์ต่อสุขภาพเช่นเดียวกับ dietary fiber และมีสมบัติ low glycemic index หรือ slow rate of starch digestibility นั่นคือ resistant starch ย่อยสลายได้ช้าในระบบทางเดินอาหาร ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในสภาวะควบคุม (Ohr, 2004) และ resistant starch ยังมีสมบัติ prebiotic property เป็น fermentable substrate ให้กับแบคทีเรีย *Lactobacillus sp.* ในลำไส้ใหญ่ จึงช่วยให้ระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดี เสริมสร้างร่างกายให้แข็งแรงและมีสุขภาพที่ดี การบริโภคเป็นประจำสามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อโรคอายุรกรรมต่างๆ ได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหลอดเลือดอุดตัน โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น

คุณลักษณะของ resistant starch

Resistant starch หมายถึง สตาร์ช (รวมกับผลผลิตจากโมเลกุลสตาร์ชที่ถูกทำลายบางส่วนแล้ว) ที่ทนทานหรือไม่สามารถดูดซึมผ่านผนังเซลล์ลำไส้เล็กของคนปกติทั่วไป และมีคุณประโยชน์ต่างๆ

เทียบเท่ากับ dietary fiber Resistant starch สามารถเกิดขึ้นตามธรรมชาติได้เองในอาหาร เช่น มันฝรั่ง พืชวงศ์ถั่ว และกล้วย เป็นต้น มีค่าระหว่าง 7 % ถึง 11 % ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด โดยที่กลุ่มธัญพืชพบ resistant starch ปริมาณไม่สูงมากนักถึงแม้จะเป็นแหล่งสำคัญของสตาร์ช การแปรรูปและการเก็บรักษาหลังจากทำให้สุกแล้ว จะมีผลให้ปริมาณ resistant starch เพิ่มขึ้น (Wursch, 1999) ปริมาณ resistant starch ในผลิตภัณฑ์อาหารแปรผันโดยตรงกับค่าดัชนีน้ำตาล หรือ glycemic index (GI) ที่บ่งชี้ถึงการดูดซึมน้ำตาลโดยระบบการย่อย แป้งหรือสตาร์ชที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำจึงมีผลดีต่อสุขภาพเหมาะกับผู้ป่วยโรคเบาหวาน โรคอ้วน และนักกีฬาบางประเภท รวมทั้ง ผู้ที่นิยมการออกกำลังกาย

ปริมาณ resistant starch ในอาหารชนิดต่างๆ

ชนิดอาหาร	% ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด
Bread	2.2 – 4.3
Special bread	7.2 – 9.5
Breakfast cereal	0 – 9.0
Whole grain cereals	1.7 –12.3
Potato	0.6 – 9.0
Pasta	1.3 – 4.2
Pulses	12.0- 20.0

โดยปกติ resistant starch สามารถเกิดขึ้นโดยกระบวนการ gelatinization ด้วยการให้ความร้อน หลังจากที่โมเลกุลอไมโลสเกิดการคืนตัว (retrogradated amylose) จะมีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นโมเลกุลเส้นตรง (linear chain molecules) ได้โครงสร้างที่อัดแน่น เช่น เมื่อนำสตาร์ชข้าวโพดที่มีปริมาณ amylose สูง (~ 70 % หรือเรียกว่า amylomaize starch) ผสมกับน้ำ และทำให้เย็นลงภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ ความเข้มข้น และการเก็บรักษา ผลผลิตที่ได้มี resistant starch สูงประมาณ 45 % การเพิ่มปริมาณ resistant starch สามารถทำได้ด้วยวิธีการย่อยด้วยเอนไซม์หรือกรด (enzymatic หรือ acid hydrolysis ก่อนการ gelatinization เพื่อให้ได้ linear chain molecules เพิ่มขึ้น และความยาวของสายโมเลกุลกลูโคสขนาด 15 – 80 glucose units (~ 65) จะจัดเรียงตัวเป็น resistant starch ที่ให้ผลผลิตสูงขึ้น (Wursch, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิด amylose-lipid complex จะมีผลกระทบทำให้ผลผลิต resistant starch ลดลง เนื่องจากโมเลกุลอไมโลสที่คืนตัวแล้วกลับไปจับกับโมเลกุลไขมันแทนการสร้างเป็นโครงสร้าง resistant starch (Cui and Oates, 1999).

นอกจากสมบัติเด่นของ resistant starch ที่สามารถทนทานการย่อยด้วยเอนไซม์แล้ว ยังพบว่ามีสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ที่สำคัญ ได้แก่ dietary fiber functionality, unique molecular weight

distribution, high melting temperature, high heat of gelatinization, excellence processing tolerance เป็นต้น (Yong and Jeffcoat, 2003)

ประเภทของ resistant starch แบ่งเป็น 4 ประเภท (Englyst *et al.*, 1992) ได้แก่

1. RS-I: สตาร์ช (physically inaccessible starch) ที่จับตัวอยู่ภายในผนังเซลล์ของพืชต่าง ๆ เช่น ธัญพืช, เมล็ดถั่ว และพืชอื่น ไม่สามารถนำออกมาใช้ประโยชน์ได้หรือย่อยได้ด้วยเอนไซม์
2. RS-II: เม็ดสตาร์ชที่มีสมบัติเป็น resistant starch โดยธรรมชาติ (native resistant starch granules) สามารถพบได้กับตัวอย่าง เช่น มันฝรั่ง กล้วยหอม และ สตาร์ชข้าวโพดที่มีอไมโลสสูง
3. RS-III: สตาร์ชที่เกิดจากการคืนตัว (retrograded starch) หลังจากการแปรรูปด้วยความร้อน โดยโครงสร้าง amylose หรือ linear chain molecules มีการจัดเรียงตัวใหม่ (recrystallization) เมื่อเย็นตัวลง เช่น cooked and cooled potatoes, bread crusts, corn flakes และ retrograded high amylase maize starch เป็นต้น
4. RS-IV: สตาร์ชที่เตรียมได้จากการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลสตาร์ช โดยวิธีการต่าง ๆ เช่นทางเคมี (esterification, etherification or cross-linking) ทางกายภาพ (heat-moisture treatment, annealing) และทางแรงกล (extrusion) (Woo and Seib, 2002)

คุณประโยชน์ของ resistant starch

สตาร์ชเป็น complex carbohydrate ที่มีโครงสร้างเป็น polysaccharides และเป็นองค์ประกอบหลักของแหล่งอาหารแป้ง เมื่อรับประทานเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร โดยปกติเอนไซม์ ∝-1,4-amylase ภายในลำไส้เล็กจะย่อยโมเลกุลอไมโลส และอไมโลเพคติน ที่ตำแหน่ง ∝-1,4 - glucosidic bonds ลดขนาดโมเลกุลได้เป็นโมเลกุลกลูโคส และดูดซึมเข้าสู่ระบบกระแสเลือดอย่างรวดเร็ว ขณะที่เอนไซม์ ∝ - amylase นี้ จะไม่ย่อยโมเลกุลอไมโลเพคตินที่ตำแหน่ง ∝-1,6–glucosidic bonds ทำให้เกิดการย่อยที่ไม่สมบูรณ์เหลือส่วนของโมเลกุลในบริเวณ amorphous regions สำหรับ resistant starch โครงสร้างโมเลกุลจะมีความทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ∝-1,4 - amylase ที่หลั่งออกจากเซลล์ผนังลำไส้เล็ก และเมื่อผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่ บักเตรีจะย่อย (fermentation) resistant starch ได้เป็น short chain fatty acids เช่น acetate, butyrate และ propionate ได้มีการวิจัยพบว่า butyrate สร้างความแข็งแรงให้กับเซลล์ผนังสำไส้ใหญ่ (colon cells) และมีผลดีต่อการเจริญของบักเตรีที่มีประโยชน์ต่อลำไส้ ส่งผลให้อัตราเสี่ยงการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ลดลง (Wursch, 1999) นอกจากนี้งานวิจัยด้านสุขภาพยังชี้ให้เห็นว่าผลของการย่อย resistant starch ที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ทำให้ร่างกายได้รับปริมาณพลังงานในระดับต่ำกว่าปกติ ซึ่งก่อให้เกิดคุณประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านอื่นๆ อีก คือ

- ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจาก resisatnt starch มีสมบัติ low glycemic index
- ควบคุมน้ำหนักร่างกายของผู้ป่วยโรคอ้วน (obesity)
- ลดระดับไขมันในเลือด เช่น tryglycerides และ cholesterol
- ลดอาการท้องผูก

ความสำคัญของกล้วย และองค์ประกอบ resistant starch

กล้วย (*Musa*) จัดเป็นพืชไม่มีเนื้อไม้ (Herbaceous plant) ที่ มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ออกผลตามฤดูกาลและเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากมีปริมาณแป้งเป็นองค์ประกอบราว 70% โดยน้ำหนักแห้ง การแปรรูปเป็นแป้งหรือสตาร์ชเพื่อใช้เป็นอาหารหรือประโยชน์อื่นๆทางอุตสาหกรรม จึงเป็นที่น่าวิจัยและพัฒนา

ประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์เต็มไปด้วยพืชพันธุ์มากมายที่เป็นแหล่งแป้งทั้งในกลุ่มพืชหัว ธัญพืช เมล็ดถั่วและพืช รวมทั้ง กล้วยหลากหลายชนิด ชนิดที่นิยมรับประทานได้แก่ กล้วยหอม กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง กล้วยหักมุก ซึ่งปลูกเพื่อจำหน่ายเชิงการค้า ส่วนพันธุ์พื้นเมืองและกล้วยป่าไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย ได้แก่ กล้วยหิน กล้วยนางพญา กล้วยพม่าแหกคุก กล้วยงาช้าง กล้วยเทพนม เป็นต้น การศึกษาวิจัย resistant starch จากแป้งชนิดต่างๆ พบว่า แป้งกล้วยดิบเป็นแหล่ง resistant starch ที่สำคัญ พบว่า แป้งดิบจากกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอม กล้วยเล็บมือนาง และกล้วยหัก ที่คนไทยนิยมบริโภคมีปริมาณระหว่าง 52.2± 4.1% ถึง 61.4 ± 2.3% (of total starch, dry matter basis) โดยที่ กล้วยหักมุกมีปริมาณสูงสุดถึง 61.4 ± 2.3% รองลงมาเป็น กล้วยไข่ 57.7 ± 1.1% (Vatanasuchart *et al.*, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Englyst *et al.* (1992) และ Goni *et al.* (1996) ที่พบว่าแป้งกล้วยมีปริมาณ resistant starch 51.3% ถึง 53.1%.

Tongdang and Saasagal (2006) ได้ศึกษาสมบัติเคมีกายภาพ และลักษณะโครงสร้างเม็ดสตาร์ชของกล้วยน้ำว้า และกล้วยหิน พบว่ามีปริมาณอไมโลส 26.9% และ 23.29% ตามลำดับ มีลักษณะผลึก (crystallinity type) ชนิด A มีค่าความเป็นผลึก 23.98% และ 25.11% ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบด้วย differential scanning calorimeter (DSC) พบว่ามีค่าความร้อนที่สลายโครงสร้าง 17.43 และ 20.16 J/g สูงกว่าสตาร์ชจากข้าว และมันสำปะหลัง

Hu *et al.* (2004) ได้ศึกษา resistant starch (RS) and in vitro starch digestibility ในข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆ ที่นิยมบริโภคในประเทศจีน โดยจำแนกตามปริมาณอไมโลสเป็น 4 กลุ่ม พบว่า ข้าวแต่ละชนิดมีปริมาณ RS และ ค่า glycemic index (GI) แตกต่างกัน พันธุ์ที่มีปริมาณอไมโลสสูง จะมีปริมาณ RS สูง ตาม พันธุ์ indica ที่มี amylose 26.8% มีปริมาณ RS สูงสุด 3.2% dry weight และค่าที่ได้จากการตรวจสอบด้วย rapid visco analyzer พบว่าข้าวพันธุ์นี้มีเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ำกว่าข้าวชนิดอื่นที่ศึกษา และมีค่า estimate glycemic score ต่ำ ซึ่งบ่งชี้ว่าสามารถทนทานการย่อยได้ดี

ปัจจัยการแปรรูปหรือการทำให้สุกที่มีผลกระทบต่อปริมาณ resistant starch

การแปรรูปอาหารจำพวกแป้งมีผลต่อ resistant starch ด้วยกระบวนการ retrogradation เช่น การให้ความร้อนด้วยการต้ม (boiling)ที่อุณหภูมิ 100 °C ความดันไอน้ำ (pressure cooking) ที่ 121°C และ extrusion cooking เป็นต้น Viilalobos *et al.* ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ Tortilla ซึ่งทำจากข้าวโพดโดยกระบวนการ extrusion ที่เตรียมด้วย 2 ขั้นตอน คือ การต้มข้าวโพดให้เป็น Masa และการแช่แป้ง (steeping) ให้ได้ Nixtamal ก่อนที่จะ extrude และอบให้สุกกรอบเป็น tortilla เมื่อนำผลผลิตจากแต่ละขั้นตอนมาศึกษาพบว่า tortilla มี RS-III (3.12 %) สูงกว่า Masa (2.05 %) and Nixtamal (2.18%) เมื่อเทียบกับ retrograded corn starch มีค่า RS-III เท่ากับ 1.99% และเมื่อเก็บรักษานานถึง 72 ชม. พบว่า tortilla มีค่าRS-III สูงขึ้นเป็น 3.87% เมื่อศึกษาอัตราการย่อยด้วยเอนไซม์แอมมิเลส หรือ *in vitro* starch digestibility rate พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดนี้ มีอัตราการย่อย 50% หลังจากเริ่มปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ธัญพืชอื่นๆ และสามารถย่อยได้เร็วกว่า ผลิตภัณฑ์กลุ่มถั่ว เช่น cooked beans and Indian legumes

Sagum and Arcot (2000) ได้ศึกษาผลการแปรรูปข้าวพันธุ์ต่างๆ หรือการทำให้สุกด้วยวิธีการให้ความร้อน ต่อปริมาณ RS and in vitro starch digestibility พบว่าข้าวดิบที่มีปริมาณอไมโลสสูงจะมี RS-II สูง เช่นกัน เมื่อทำให้สุกด้วยการต้มและความดันไอน้ำ ข้าวจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ได้ง่ายขึ้นและมี RS ต่ำลง ซึ่งเป็น retrograded starch หรือ RS-III

Gonzalez-Soto *et al.* (2006) ได้ศึกษาการเกิด resistant starch จาก กล้วย มะม่วง เปรียบเทียบกับข้าวโพด ด้วยเครื่อง experimental single screw extruder of low shear rates and only one heating zone of 130 °ซ พบว่า ปริมาณสตาร์ชจากกล้วย มะม่วง และข้าวโพด เท่ากับ 96.8% 95.3% and 97.0% ตามลำดับ ปริมาณอไมโลส เท่ากับ 34.9% 37.1% and 33.7% ตามลำดับ ปริมาณ resistant starch จากกล้วยที่ผลิตได้ด้วย screw speed 40 rpm มีค่าสูงสุด 4.98% ส่วนปริมาณ RS จากมะม่วง และข้าวโพด ที่ screw speed 30 rpm พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.05% และ 2.05% ตามลำดับ

สตาร์ชถั่วและผลิตภัณฑ์ถั่วมีปริมาณ resistant starch สูง เนื่องจากมีปริมาณอไมโลสสูง ราว 40% ประกอบกับ มีโครงสร้างแบบ amylose-lipid complex ส่งผลให้มีความทนทานต่อต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ amylase จากรายงานของ Osorio-Diaz *et al.* (2002) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณ RS and *in vitro* starch digestibility จากผลิตภัณฑ์ถั่วบรรจุกระป๋องที่จำหน่ายเชิงการค้า เปรียบเทียบกับแป้งถั่วบรรจุกระป๋องและแป้งถั่วทั่วไป และตรวจสอบปริมาณ resistant starch (RS-I RS-II and RS-III) โดยรวม ด้วยวิธี Goni *et al.* (1996) พบว่าถั่วบรรจุกระป๋องมี RS ต่ำสุด (2.4%-2.8%) ขณะที่แป้งถั่วมีค่า 4.4%-56.1% และ เมื่อตรวจสอบปริมาณ retrograded resistant starch (RRS or RS-III) ด้วยวิธีการแบบ dietary fiber residues พบว่าปริมาณต่ำกว่าเกือบครึ่งหนึ่ง ที่สำคัญคือถั่วกระป๋องมีการอัตราย่อยต่ำมาก เท่ากับ 20% หลังจากเริ่มปฏิกิริยาแล้ว 60 นาที ขณะที่ cooked legumes และทำเป็นแป้งแห้งกลับมีค่าอัตราการย่อยสูง

ราว 60%-80% หลังจาก 60 นาที เนื่องจาก แป้งสุกแห้งเป็นแป้งที่โครงสร้างเม็ดสตาร์ชถูกทำลายแล้ว บางส่วนจึงย่อยได้ง่ายกว่า

Antioxidant Activities

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่มีคุณสมบัติในการป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาจากสารอนุมูลอิสระกับไขมัน โปรตีน และกรดนิวคลีอิก อนุมูลอิสระคือ โมเลกุลหรืออะตอมของสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระที่ขาดคู่ (unpaired electron) ซึ่งสารเหล่านี้จะไวต่อการเกิดปฏิกิริยา และเป็นพิษได้ สารต้านอนุมูลอิสระนั้นจะพบได้ในพืชผักและผลไม้หลากหลายชนิด กล้วยก็เป็นพืชอีกชนิดที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะอยู่ในกลุ่มของ flavonoid ซึ่งจะมีสาร Catechin สาร gallocatechin (Someya *et al.* 2002) และ gallic acid เป็นหลัก โดยแต่ละพันธุ์นั้นก็มีปริมาณสารเหล่านี้แตกต่างกันไป

Mendez *et al.* (2003) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยเปรียบเทียบในกล้วยสุก 2 พันธุ์ คือ กล้วยจาก Tenerife (Pequena Enana) และกล้วยจาก Equador ซึ่งวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่า ในกล้วยจาก Tenerife และ Equador มีสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของ Catechin และ Gallic acid โดยทั้งสองพันธุ์นั้นมีปริมาณสาร Catechin ต่างกัน โดยกล้วยจาก Equador มีมากกกว่า แต่ปริมาณสาร Gallic acid ของกล้วยทั้งสองพันธุ์นั้นมีปริมาณเท่ากัน จึงเห็นได้ว่าพันธุ์ของกล้วยนั้นมีอิทธิพลต่อปริมาณและคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีการนำกล้วยไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเช่น Ovando-Martinez *et al.* (2009) ได้ศึกษาปริมาณสารฟีโนลิคทั้งหมดในแป้งพาสต้า ที่ผสมกันระหว่างแป้งสาลี และแป้งกล้วยดิบสูงสุด 45% แล้ววิเคราะห์ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระจาก polyphenol, condense tannins และ hydrolysable polyphenol ที่สกัดจากแป้งกล้วยดิบด้วยวิธี free radical-scavenging assay (ABTS) พบว่า หลังจากผ่านกระบวนการต้มสุก พาสต้าที่มีส่วนผสมของแป้งกล้วย 45% มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าพาสต้าที่ไม่มีแป้งกล้วยหลายเท่า โดยเฉพาะประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของ hydrolyable polyphenol ที่มีเพิ่มขึ้นถึง 35 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งพาสต้าปกติ ในประเทศไทยนั้นก็มีการศึกษาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระของกล้วยน้ำว้าสุกเปรียบเทียบกับผลไม้อื่นๆ (Patthamakanokporn, 2004) พบว่าปริมาณสารฟีโนลิคทั้งหมดที่ทดสอบด้วยวิธี Folin-ciocalteu พบว่า กล้วยน้ำว้ามีปริมาณฟีโนลิคต่ำที่สุดคือ 14±0.5 mg/100 g เทียบเท่า gallic acid เมื่อเทียบกับมะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงเขียวเสวย ฝรั่ง มังคุด ในขณะที่ Lim *et al.* (2007) หาปริมาณฟีโนลิคของกล้วยน้ำว้าด้วยวิธี Folin-ciocalteu เหมือนกัน แต่เป็นกล้วยแก่ที่เพิ่งเก็บมาจากต้น และมาจากมาเลเซีย พบว่ามีปริมาณฟีโนลิค 51±7 mg/100 g เทียบเท่า gallic acid ซึ่งมากกว่ากล้วยน้ำว้าในการทดลองของ Patthanakanokporn เกือบ 4 เท่าตัว จึงอาจกล่าวได้ว่า อายุของกล้วย และแหล่งเพาะปลูกอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาณสารฟีโนลิคในกล้วยน้ำว้าจากทั้งสองการทดลองมีปริมาณที่แตกต่างกัน

การศึกษาวิจัยผลของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณ resistant starch และอัตราการย่อยด้วยเอนไซม์ รวมทั้ง สมบัติ antioxidant activites จึงน่าสนใจที่จะดำเนินการ เพื่อให้ทราบถึงการใช้ประโยชน์กล้วยทั้งดิบและสุกที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณ resistant starch สูง และทราบถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี กายภาพ โครงสร้างสตาร์ชต่างๆ ของกล้วยน้ำว้า ซึ่งสามารถเป็นแนวทางการแนะนำให้ประชาชนรู้จักการเลือกบริโภคกล้วยน้ำว้าที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ ตลอดจนสามารถขยายการผลิตสู่ภาคอุตสาหกรรม และส่งเสริมการส่งออกจำหน่ายต่างประเทศรวมทั้งเป็นผลดีต่อเกษตรกรที่เพาะปลูกโดยทางอ้อม

ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างกล้วย

เก็บตัวอย่างกล้วยน้ำว้าดิบ 3 พันธุ์ที่มีอายุ 90-120 วัน 1) พันธุ์มะลิอ่องปลูกที่ จ. ปทุมธานี 2) พันธุ์ละอองน้ำปลูกที่ จ. ชลบุรี และ 3) พันธุ์ขาวนวล ปลูกที่จังหวัดนครนายก จำนวนชนิดละ 20 เครือ หรือประมาณ 120 หวี (Figure 3-1) ทำการสุ่มตัวอย่างกล้วยดิบ (unripe or green)ทันที และบ่มตัวอย่างกล้วยที่เหลือแต่ละสายพันธุ์เพื่อการสุ่มเก็บตัวอย่างในระยะห่าม (almost ripe) และระยะสุก (ripe) แล้วจึงเตรียมตัวอย่างเนื้อกล้วยสด และแป้งกล้วยจากกล้วยทั้งสามระยะ (ripening stages) (Figure 3-1) เพื่อนำไปตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ และใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

1.1 การเตรียมตัวอย่างเนื้อกล้วยสด : ปอกเปลือกกล้วย และหั่นตามขวางเป็นแผ่นบางประมาณ 1 มม. คลุกเคล้ากล้วยที่หั่นทั้งหมดให้เข้ากันดี ตักใส่ถุงเย็น 500 กรัม จำนวน 10 ถุง นำเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง -18 °ซ เพื่อการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ต่อไป (ภาคผนวก 3-1)

1.2 การเตรียมตัวอย่างแป้งกล้วย : ทำการชั่งน้ำหนักผลกล้วยที่ตัดจากหวีทั้งหมด และผลกล้วยที่ปอกเปลือกแล้วนำมาหั่นตามขวางเป็นแผ่นบาง ประมาณ 1 มม. วางแผ่ให้เสมอกันบนถาด อบในตู้อบลมร้อน 55-60 °ซ นานประมาณ 6 ชม. แล้วตีป่นให้เป็นผงละเอียด และชั่งน้ำหนักแป้งกล้วยที่ได้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ และใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป (ภาคผนวก 3-1)

สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี นำตัวอย่างแป้งกล้วยบางส่วนมาบดละเอียดอีกครั้งหนึ่งโดยร่อนผ่านตะแกรง (sieve) ขนาด 100 mesh เพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ต่อไป

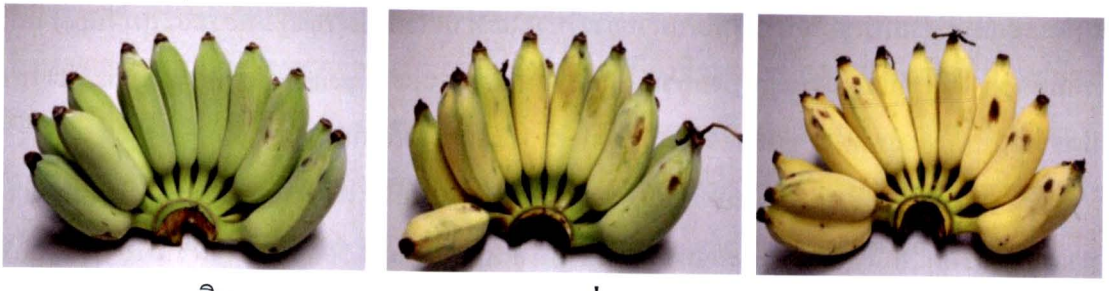
1. พันธุ์มะลิอ่อง

ดิบ ห่าม สุก

2. พันธุ์ละอองน้ำ

ดิบ ห่าม สุก

3. พันธุ์ขาวนวล



ดิบ ห่าม สุก

Figure 3-1 กล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์ 3 ระยะความดิบ-สุกที่ศึกษา

2. การปรับสภาพแป้งกล้วยให้คงปริมาณ resistant starch ในระดับสูง

ในการนำแป้งกล้วยมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารจำเป็นต้องผ่านการทำให้สุกและมีลักษณะแห้งเป็นผงเพื่อการถนอมอาหารและการเก็บรักษาให้มีความปลอดภัยด้านอาหาร จึงได้ทดลองปรับสภาพแป้งกล้วยจากพันธุ์มะลิอ่องด้วย 3 วิธีการ คือ การต้มและอบลมร้อน (boiling and hot air drying), extrusion cooking และ drum drying โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 Boiling and hot air drying : นำผลกล้วยทั้งเปลือก จำนวน 14 ลูก น้ำหนัก 1.2 กิโลกรัม ต้มในน้ำเดือด 2 liters เป็นเวลา 2, 4, 8 และ 10 นาที จำนวน 4 ชุดการทดลอง ตักขึ้นผึ่งให้เย็น แล้วจึงปอกเปลือกและหั่นเป็นแผ่นบาง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55-60°ซ นาน 6 ชั่วโมง แล้วตีป่นให้เป็นผงละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อตรวจสอบปริมาณ resistant starch

2.2 Extrusion cooking : ได้ทดลองผลิตแป้งกล้วยปรับสภาพด้วยการเติมส่วนผสม pectin, guar gum และ citric acid แล้วผ่านกระบวนการทำให้สุกเครื่อง Twin Screw Extruder with 3.0 mm. diameter die hole (Hermann Berstoff Laboratory Co-rotating Twin Screw Extruder รุ่น ZE 25x33D, Germany) ใช้สภาวะความเร็วสกรู 350 rpm อัตราการป้อนน้ำ 30-40 Hz อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ 120°ซ สำหรับสภาวะเครื่องโดยละเอียดได้แสดงใน ภาคผนวก 2 แล้วนำ extrudate ที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อตรวจสอบปริมาณ resistant starch

2.3 Drum drying : ได้ทดลองผลิตแป้งกล้วยปรับสภาพด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง หรือ drum drier โดยการเตรียมเนื้อกล้วย 25% ผสมกับ pectin หรือ guar gum 5% ลงในน้ำเปล่า และเตรียมตัวอย่างที่ไม่เติม pectin หรือ guar gum เพื่อใช้เปรียบเทียบเป็นตัวอย่างควบคุม นำตัวอย่างมาปั่นให้ละเอียดนาน 1 นาที ทำให้เป็นเจลที่อุณหภูมิ 80 °ซ คนตลอดเวลา และผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง homogenizer นาน 30 นาที ทำให้เย็นลงแล้วเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 1 คืน นำไปทำแห้งด้วยเครื่อง drum dry อุณหภูมิ 180 °ซ แล้วบดตัวอย่างที่ได้ให้เป็นผงละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เพื่อตรวจสอบปริมาณ resistant starch

3. การพัฒนาผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย (banana snacks) โดยกระบวนการ extrusion cooking

ได้ทดลองผลิตผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย ด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder with 3.0 mm. diameter die hole (Hermann Berstoff Laboratory Co-rotating Twin Screw Extruder รุ่น ZE 25x33D, Germany) โดยใช้แป้งผสมระหว่างตัวอย่างแป้งกล้วยแต่ละพันธุ์ (มะลิอ่อง และละอองน้ำ และขาวนวล) ผสมกับแป้งข้าวเจ้า รวม 4 ชุดการทดลองในสัดส่วน 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 ป้อนเข้าเครื่องที่มีสภาวะความเร็วสกรู 350 rpm อัตราการป้อนน้ำ 30-40 Hz อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ 120°ซ สำหรับสภาวะเครื่องโดยละเอียดได้แสดงใน ภาคผนวก 3-2 โดยมีขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยดังนี้

เตรียมวัตถุดับ แป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งข้าวเจ้า
อัตราส่วน 40: 60, 60:40, 80:20 และ100:0
⇓
ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Telegram Bear Mixer
⇓
เครื่อง Twin Screw Extruder
ปรับสภาวะการผลิตให้เหมาะสม
(ความชื้น อุณหภูมิ อัตราการป้อน และความเร็วรอบของสกรู ฯลฯ)
⇓

ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพอง
มีรูปร่างและขนาดตามรูปแบบของหน้าแปลน
⇓

เข้าตู้อบ
(อุณหภูมิ 80 °ซ 15 นาที)
เพื่อลดอุณหภูมิลงให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ
⇓
เคลือบด้วยน้ำเคลือบรสช็อคโกแลต (ภาคผนวก)
⇓
ผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยจากแป้งกล้วยน้ำว้ารสช็อคโกแลต

4. การพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วย (banana biscuits) โดยกระบวนการ baking

ได้ทดลองผลิตผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วยระดับอุตสาหกรรม ณ โรงงานบริษัทวาไรตี้ ฟู้ดส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เลขที่ 44/4 หมู่ 10 ถนนพระราม 2 อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร โดยการเตรียมแป้งกล้วยน้ำว้าจากพันธุ์ละอองน้ำผสมกับแป้งข้าวเจ้า จำนวน 2 สูตร ใช้ อัตราส่วนแป้งกล้วย 45% และ 60% ผสมกับแป้งข้าวเจ้า (โดยน้ำหนักแห้ง) โดยมีส่วนผสม ดังนี้ และ ขั้นตอนการผลิตบิสกิตกล้วย ดังแสดงใน ภาคผนวก 3-3

ส่วนผสม	สูตร 1	สูตร 2
แป้งกล้วย, กิโลกรัม	12.5	17.5
แป้งข้าวเจ้า, กิโลกรัม	22.5	17.5
แป้งมันสำปะหลัง, กิโลกรัม	3	3
แป้งมันฝรั่ง, กิโลกรัม	0.6	0.6
แป้งสาลี, กิโลกรัม	0.6	0.6
ผงฟู, กรัม	60	60
น้ำตาลทราย, กิโลกรัม	1.1	1.1
เกลือ, กิโลกรัม	0.2	0.2
น้ำเปล่า	12	12

5. การพัฒนาผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยผงสำเร็จรูปที่มีปริมาณ resistant starch สูง

ได้ทดลองผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยผงสำเร็จรูปที่มีปริมาณ resistant starch สูง (Prebio-banana drink) โดยใช้แป้งกล้วยพันธุ์มะลิอ่องที่ได้ผ่านการปรับสภาพให้คงปริมาณ resistant starch ในระดับที่พัฒนาได้สูงสุดด้วยวิธีการทำให้สุกและอบแห้ง ตามข้อ 2.1 สูตรที่พัฒนาขึ้นมีส่วนผสมแป้งกล้วยบดละเอียดเป็นหลัก จำนวน 2 สูตร ดังนี้

ส่วนผสม	สูตรมอล์ตมิลค์ (%)	สูตรโกโก้ (%)
กล้วยผง	40.0	40.0
น้ำตาลทรายบด (บริษัทมิตรผล)	25.0	25.0
นมผง (ตราสวนดุสิต)	23.0	19.0
Maltodextrin (บริษัท Nutrition Sc.)	10.0	10.0
กลิ่นมอล์ตมิลค์ (บริษัท V Mane Fils)	3.0	-
ผงโกโก้ (บริษัท Van Houten)	-	6.0

ผสมส่วนผสมทั้งหมดแต่ละสูตรให้เข้ากัน บรรจุในซองอลูมิเนียม แล้วปิดผนึกให้สนิท เก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อจะชงดื่ม ใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยผงสำเร็จรูป 30 กรัม ชงกับน้ำร้อน 200 มิลลิลิตร ทั้งนี้ส่วนประกอบนมผงที่ใช้นั้นอาจเลือกได้จาก นมจากสัตว์ เช่น นมวัว นมแพะ เป็นต้น รวมทั้งผลผลิตที่สกัดได้จากพืช เช่น นมถั่วเหลือง นมข้าวโพด เป็นต้น

6. การตรวจสอบสมบัติ prebiotic properties

6.1 วิเคราะห์ปริมาณ resistant starch, digestible starch และ total starch ของตัวอย่างเนื้อกล้วยสดและ แป้งกล้วย และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาจากทั้งสามพันธุ์ รวมทั้ง แป้งกล้วยที่ปรับสภาพให้คงปริมาณ resistant starch สูง และ แป้งข้าวเจ้า โดยใช้วิธี enzymatic assay จากบริษัท Magazyme (McCleary *et al.*, 2002) เอนไซม์สำคัญที่ใช้คือ pancreatic alpha-amylase เพื่อย่อย digestible starch และใช้ amyloglucosidase เพื่อย่อย resistant starch ที่เหลือจากการแยกเหวี่ยงแล้วจะได้ glucose molecules และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 nm คำนวณปริมาณ resistant starch และdigestible starch จากค่า glucose (mg) ที่คำนวนได้ คูณด้วย 0.9 และปริมาณ total starch จะเท่ากับ ผลรวมของปริมาณ resistant starch กับ digestible starch รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงไว้ใน ภาคผนวก 3-4

6.2 ตรวจสอบอัตราการย่อยสตาร์ช (rate of *in vitro* starch digestibility) ของตัวอย่างเนื้อกล้วยและแป้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์ต่างๆ รวมทั้ง ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ ตามวิธีการดัดแปลงของ Goni *et al.*,

(1997) เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพความทนทานของ resistant starch ต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (porcine alpha-amylase) ให้ได้ glucose molecules มากน้อยเพียงใด ในช่วงเวลา 30, 60, 90, 120, 150 and 180 นาที โดยคำนวนเป็นปริมาณ digestible starch ต่อน้ำหนักตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้ (%) มาสร้างกราฟต่อระยะเวลาการย่อย (นาที) รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงไว้ใน ภาคผนวก 3-4

7. การตรวจสอบคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

7.1 Texture characteristics: ทำการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสตัวอย่างผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย (extruded banana snack) และ บิสกิตกล้วย (banana biscuit) ที่พัฒนาได้ ด้วยเครื่อง TA.XT2i/25 texture analyzer, P50 cylinder stainless probe แรงกดด้วยอัตราเร็ว 2 mm/sec เพื่อทำการตรวจวัด ความแน่นเนื้อ และ ความกรอบ(firmness and crispness) ของตัวอย่างแต่ละชุดการทดลองจำนวน 20 ชิ้นรวมทั้งวัดค่า bulk density (g/cm^3) และ ค่า expansion ratio (cross-sectional diameter of developed banana snacks to diameter of the die)

7.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation): ทำการตรวจสอบคุณลักษณะความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา 3 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย บิสกิตกล้วย และเครื่องดื่มกล้วยผงสำเร็จรูป โดยผู้ชิม 25-30 คน ใช้วิธี descriptive test (1 – 5 scale) และ acceptance and preference test (1 – 9 hedonic scale) ในด้าน สี ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความกรอบ และความชอบและการยอมรับโดยรวม แบบประเมินผลทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงไว้ในภาคผนวก 3-5

8. การตรวจสอบ nutritional compositions ของตัวอย่างกล้วย และผลิตภัณฑ์

เพื่อให้ได้ทราบคุณค่าทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้าทั้งสามพันธุ์ ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ proximate compositions และค่าพลังงาน, ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fibers) ใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ (soluble and non- soluble dietary fiber) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugars) รวมทั้ง glucose, fructose and sucrose ที่เป็นองค์ประกอบ ด้วยวิธี AOAC standard และHigh Performance Liquid Chromatography

9. การตรวจสอบ antioxidant properties ของตัวอย่างกล้วย (ภาคผนวก 3-6)

9.1 สกัดสารฟีโนลิค และสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย เนื้อกล้วยสด เปลือกกล้วยสด แป้งกล้วย และ สแน็คกล้วยที่ผลิตจากแป้งกล้วย 100% ในส่วนของเนื้อกล้วยสดและเปลือกกล้วย สุ่มตัวอย่างมาสกัดจากกล้วย 3 ระยะ คือ กล้วยดิบ กล้วยห่าม และกล้วยสุก จากนั้นนำกล้วยมาปอกเปลือก ส่วนที่เป็นเนื้อนำมา

ล้างน้ำสะอาดและหั่นเป็นชิ้นหนาประมาณ 0.3-0.5 mm แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยในถุงซิปปิดสนิทไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20°C หากยังไม่นำมาสกัด

สกัดสารฟีโนลิคจากเนื้อกล้วยโดยนำเนื้อกล้วยสด 30 กรัม มาสกัดด้วยสารละลาย methanol 100 mlใน blender ที่ความเร็วระดับสูงเป็นเวลา 5 นาที นำไปสกัดต่อใน water bath shaker เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไป centrifuge เพื่อแยกสารละลายออกจากกาก centrifuge ที่ความเร็วรอบ 4500 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วแยกสารละลายออก นำกากมาสกัดซ้ำด้วยสารละลาย methanol 50 ml เขย่าสารละลายและกากให้เข้ากันดี นำไปสกัดต่อใน water bath shaker เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไป centrifuge เพื่อแยกสารละลายออกจากกาก centrifuge ที่ความเร็วรอบ 4500 rpm เป็นเวลา 15 นาทีอีกครั้ง จากนั้นเก็บสารสกัดไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20°C หากยังไม่นำมาวิเคราะห์ สารสกัดไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน หากเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า -20°C แต่ต่ำกว่า 0°C ไม่ควรเก็บไว้เกิน 1 สัปดาห์ เพราะจะทำให้คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสารฟีโนลิคลดลง

อัตราส่วนของตัวอย่างและสารละลายในการสกัดขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างดังแสดงในตาราง เนื่องจากในตัวอย่างแต่ละชนิดนั้นมีความชื้น และปริมาณสารฟีโนลิคไม่เท่ากัน ตัวอย่างที่มีความชื้นสูงจึงใช้ปริมาณมากกว่า และตัวอย่างที่มีปริมาณสารฟีโนลิคเข้มข้นกว่าจะใช้ปริมาณตัวอย่างต่ำกว่า

อัตราส่วนของตัวอย่างและสารละลายในการสกัด

ตัวอย่าง	การสกัดรอบที่ 1		การสกัดรอบที่ 2
	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณสารละลาย (ml)	ปริมาณสารละลาย (ml)
เนื้อกล้วย	30	100	50
เปลือกกล้วย	15	100	50
แป้งกล้วย / snack	5	100	50

9.2 วิเคราะห์สารฟีโนลิค สารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนมูลอิสระ และสาร condensed tannin: ปริมาณ Total phenolic content วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assay (Waterhouse, 2005) และ คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระวิเคราะห์ด้วย 2 วิธี คือ 1) Free radical scavenging capacity by DPPH method (Brand-williams *et al.*, 1995) และ 2) Ferrous ion chelating activity โดยการวัดที่ absorbance 562 nm ของสารประกอบ iron(II)-ferrozine (Lim *et al.*, 2007) และการวิเคราะห์ปริมาณ Codensed Tannins: วิเคราห์ปริมาณ Tannins โดยวิธี vanillin assay ซึ่งประยุกต์มาจากวิธีของ Chavan *et al.* (2001)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลผลิตจากการเตรียมแป้งกล้วย

ในการเตรียมตัวอย่างแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้าสด 3 พันธุ์ ได้แก่ มะลิอ่อง ละอองน้ำ และขาวนวล เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างเชิงอุตสาหกรรมนั้น ผลผลิตแป้งกล้วยที่ได้จากตัวอย่างกล้วยแต่ละชนิดได้แสดงไว้ใน (Table 3-1) พบว่า พันธุ์มะลิอ่อง มีเปลือกที่บางกว่าพันธุ์ละอองน้ำ ทำให้น้ำหนักเนื้อกล้วยที่ปอกเปลือกและหั่นแล้วได้ % ผลผลิต (81%) สูงกว่าพันธุ์มะลิอ่องและขาวนวลที่ได้ % ผลผลิต เท่ากับ 71.8% และ 62.2% ตามลำดับ แต่เมื่ออบแห้งและตีป่นเป็นแป้งกล้วย กลับพบว่าน้ำหนักแป้งกล้วยจากพันธุ์ละอองน้ำ มี% ผลผลิต (35.2%) สูงกว่าพันธุ์มะลิอ่อง (30.3%) และขาวนวล (30.7%)

Table 3-1 Yields of banana flour processing

Samples	'Mali-ong'	'La-ong nam'	'Khao nuan'
Banana with peel, kg	90.0	96.0	99.7
Sliced banana pulp, before drying, kg	72.9	69	62.0
% Sliced banana pulp from banana with peel	**81.0**	**71.8**	**62.2**
Banana flour, after drying, kg	22.1	24.3	19.0
% Flour from sliced banana pulp	**30.3**	**35.2**	**30.7**

2. Prebiotic properties ของกล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์

การตรวจสอบปริมาณ resistant starch (RS), digestible starch (DS) และ total starch (TS) ของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าดิบ ห่าม และสุก พันธุ์มะลิอ่องและแป้งกล้วยที่เตรียมจากกล้วยดิบเพื่อจะนำไปใช้เป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์อาหารว่าง ดังแสดงใน Table 3-2 ผลแสดงให้เห็นว่าระยะความดิบ-สุก (ripening stage) 3 ระดับ ของกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องมีผลต่อปริมาณ RS, DS และ TS โดยพบว่า RS ของเนื้อกล้วยดิบ (57.1 $\pm$ 1.2 ก./100 ก.) และห่าม (58.8 $\pm$ 0.6 ก./100 ก.) มีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่เนื้อกล้วยสุก (17.1 $\pm$ 1.1 ก./100 ก.) มีค่า RS ต่ำที่สุด ทั้งนี้ปริมาณ RS ที่ตรวจพบในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (เนตรนภิส, 2552) นอกจากนี้ยังพบว่าผลการตรวจสอบตัวอย่างแป้งกล้วย (57.1 $\pm$ 1.5 ก./100 ก.) มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อกล้วยดิบ และแป้งข้าวมีปริมาณ RS ต่ำมากที่สุดเมื่อเทียบกัน (0.18 $\pm$ 0.0 ก./100 ก.) สำหรับผลการตรวจสอบ DS พบว่ากล้วยในระดับความสุกมีปริมาณ DS 36.0 $\pm$ 0.4

ก./100 ก. สูงที่สุด ซึ่งหมายถึงกล้วยที่สุกจะย่อยได้ง่ายกว่ากล้วยระยะดิบและห่าม ขณะที่ตัวอย่างแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณ DS สูงสุด 87.2 ± 1.7 ก./100 ก. เพราะมีกากใยต่ำกว่าเมื่อเทียบกับแป้งกล้วยดิบซึ่งมีปริมาณ DS เพียง 10.3 ± 0.2 ก./100 ก.

Table 3-2 Prebiotic property of 'Nam Wah' banana and their flour samples (g/100g, db)[1,2].

Samples	Total starch	Digestible starch	Resistant starch
'Mali-ong'			
Banana pulp			
Unripe (green)	67.4 ± 1.4 [c]	10.3 ± 0.2 [e]	57.1 ± 1.2 [a]
Almost ripe	77.7 ± 1.0 [b]	18.9 ± 0.4 [d]	58.8 ± 0.6 [a]
Ripe (yellow)	53.0 ± 1.5 [d]	36.0 ± 0.4 [b]	17.1 ± 1.1 [b]
Banana Flour	78.4 ± 0.7 [b]	21.3 ± 0.8 [c]	57.1 ± 1.5 [a]
Rice flour	87.4 ± 1.7 [a]	87.2 ± 1.7 [a]	0.18 ± 0.0 [c]
'La-ong nam'			
Banana pulp			
Unripe (green)	87.8 ± 2.9 [a]	24.4 ± 0.6 [b]	63.4 ± 2.5 [a]
Almost ripe	70.0 ± 0.3 [b]	26.5 ± 0.8 [b]	43.4 ± 0.5 [c]
Ripe (yellow)	59.5 ± 6.1 [c]	46.0 ± 6.4 [a]	13.5 ± 0.3 [d]
Banana Flour	83.9 ± 1.9 [a]	24.8 ± 0.9 [b]	59.0 ± 1.2 [b]
'Khao nuan'			
Banana pulp			
Unripe (green)	82.5 ± 1.9 [a]	18.4 ± 0.6 [d]	64.1± 1.3 [a]
Almost ripe	71.6 ± 0.8 [b]	32.2 ± 1.3 [b]	39.4 ± 1.8 [c]
Ripe (yellow)	53.2 ± 3.6 [c]	38.8 ± 2.2 [a]	14.3 ± 5.7 [d]
Banana Flour	80.7 ± 0.7 [a]	25.6 ± 0.7 [c]	55.1 ± 0.7 [b]

[1] Values are an average of triplicate determinations.

[2] In a column of each banana cultivar, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

จากการตรวจสอบปริมาณ resistant starch (RS), digestible starch (DS) และ total starch (TS) ของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าดิบ ห่าม และสุก พันธุ์ละอองน้ำและแป้งกล้วยที่เตรียมจากกล้วยดิบ (Table 2) แสดงให้เห็นว่าระยะความดิบ-สุก (ripening stage) 3 ระดับของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำมีผลต่อปริมาณ RS, DS และ TS เช่นเดียวกัน โดยพบว่า RS ของเนื้อกล้วยดิบ (63.4 ± 2.5 ก./100 ก.) ห่าม (43.4 ± 0.5 ก./100 ก.) และสุก (13.5 ± 0.3 ก./100 ก.) มีค่าแตกต่างกัน โดยตัวอย่างแป้งกล้วย (59.0 ± 1.2 ก./100 ก.) มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อกล้วยดิบซึ่งมีปริมาณสูงที่สุด สำหรับผลการตรวจสอบ DS พบว่ากล้วยในระดับความสุกมีปริมาณ DS 46.0 ± 6.4 ก./100 ก. สูงที่สุด ซึ่งหมายถึงกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำที่สุกจะย่อยได้ง่ายกว่ากล้วยระยะดิบและห่าม เนื่องจากกล้วยดิบ-ห่ามยังมีสตาร์ชและกากใยสูง ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นกลูโคสและฟรักโทสเมื่อกล้วยเริ่มสุก จึงทำให้กล้วยสุกย่อยได้ง่ายกว่าแป้งกล้วยดิบซึ่งมีปริมาณ DS เพียง 24.4 ± 0.6 ก./100 ก.

การตรวจสอบปริมาณ resistant starch (RS), digestible starch (DS) และ total starch (TS) ของตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าดิบ ห่าม และสุก พันธุ์ขาวนวลและแป้งกล้วยที่เตรียมจากกล้วยดิบ (Table 2) แสดงให้เห็นว่าระยะความดิบ-สุก (ripening stage) 3 ระดับของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลมีผลต่อปริมาณ RS, DS และ TS เช่นเดียวกัน โดยพบว่า RS ของเนื้อกล้วยดิบ (64.1 ± 1.3 ก./100 ก.) ห่าม (39.4 ± 1.8 ก./100 ก.) และสุก (14.3 ± 5.7 ก./100 ก.) มีค่าแตกต่างกัน โดยตัวอย่างแป้งกล้วย (55.1 ± 0.7 g/100g) มีค่าสูงใกล้เคียงเนื้อกล้วยดิบ สำหรับผลการตรวจสอบ DS พบว่ากล้วยในระดับความสุกมีปริมาณ DS สูงที่สุด 38.8 ± 2.2 ก./100 ก. ซึ่งหมายถึงกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลที่สุกจะย่อยได้ง่ายกว่ากล้วยระยะดิบและห่าม เนื่องจากกล้วยดิบ-ห่ามยังมีสตาร์ชและกากใยสูง ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นกลูโคสและฟรักโทสเมื่อกล้วยเริ่มสุก จึงทำให้กล้วยสุกย่อยได้ง่ายกว่าแป้งกล้วยดิบซึ่งมีปริมาณ DS เพียง 18.4 ± 0.6 ก./100 ก.

3. Prebiotic properties ของผลิตภัณฑ์อาหารว่าง

3.1 ผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย (banana snacks)

การศึกษาสมบัติ prebiotic property ของผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยที่ผลิตด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder โดยใช้แป้งผสมระหว่างตัวอย่างแป้งกล้วยน้ำว้าแต่ละพันธุ์ (มะลิอ่อง ละอองน้ำ และขาวนวล) กับแป้งข้าวเจ้า รวม 4 ชุดการทดลองในสัดส่วน 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 ได้ตรวจสอบ ปริมาณ RS, DS และ TS ในตัวอย่างแป้งผสม และผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยทั้ง 4 สูตร ซึ่งยังไม่ได้เคลือบด้วยรสชอคโกแลต

Table 3-3 แสดงผลการศึกษาของผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง พบว่า การใช้ส่วนผสมแป้งกล้วยมากขึ้นจาก 40% เป็น100% มีผลให้ปริมาณ RS มากขึ้นจาก 23.7 ± 4.9 เป็น 57.1 ± 1.5 ก./100 ก. ขณะที่ผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยที่ผลิตจากแป้งผสมด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder แต่ละสูตรมีปริมาณ RS ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับแป้งผสมดิบก่อนการผลิต พบว่า สูตรแป้งกล้วย 40% มี

ปริมาณ RS ต่ำสุด (0.33 ± 0.0 ก./100 ก.) และสูตรแป้งกล้วย 100% มีปริมาณ RS สูงสุด 1.02 ± 0.0 ก./100 ก. ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำมาก สาเหตุที่ปริมาณ RS ของผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยมีเหลือน้อยมาก เนื่องจากกระบวนผลิตด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder ทำให้แป้งกล้วยสุกด้วยความร้อนและความดันที่สูงมาก โครงสร้างสตาร์ชจึงถูกทำลายและสูญเสียสมบัติ prebiotic properties ที่มีในเนื้อกล้วยดิบ

Table 3-4 และ 3-5 แสดงผล prebiotic propertiesของผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำ และขาวนวล ที่ผลิตด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณ RS เป็นไปในทำนองเดียวกับผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง โดยที่ปริมาณ RS ของผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยแต่ละสูตรมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับแป้งผสมดิบก่อนการผลิต สูตรแป้งกล้วย 100% จากพันธุ์ละอองน้ำ และขาวนวลมีปริมาณ RS สูงสุด เท่ากับ 1.15 ± 0.0 และ 1.88 ± 0.4 ก./100 ก. ตามลำดับ

สำหรับผลการตรวจสอบ DS ในแป้งกล้วยดิบทั้งสามพันธุ์ พบว่าสูตรที่มีเติมแป้งกล้วยมากขึ้นจะมีค่า DS ต่ำลง แสดงให้เห็นว่าแป้งกล้วยย่อยด้วยเอนไซม์ α-amylase ได้ยาก เนื่องจากมีปริมาณอไมโลสที่สูงเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้า ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าสตาร์ชกล้วยมะลิอ่องมีปริมาณอไมโลส 41.3 ก./100 ก. ซึ่งโดยทั่วไปสตาร์ชแป้งเจ้ามีอไมโลสประมาณ 30 ก./100 ก. แต่เมื่อผ่านการทำให้สุก

Table 3-3 Prebiotic properties of banana snacks made from 'Mali-ong' banana mixed with rice flour (g/100g, db)[1,2].

Samples	Total starch	Digestible starch	Resistant starch
Mixed flours			
40% banana flour	78.1 ± 3.4 ^{ab}	54.4 ± 1.5 ^{b}	23.7 ± 4.9 ^{d}
60% banana flour	72.4 ± 0.1 ^{ab}	41.5 ± 0.2 ^{c}	30.9 ± 0.3 ^{c}
80% banana flour	71.2 ± 1.7 ^{b}	25.5 ± 1.8 ^{d}	45.7 ± 0.1 ^{b}
100% banana flour	78.4 ± 0.7 ^{a}	21.3 ± 0.8 ^{d}	57.1 ± 1.5 ^{a}
Extruded banana snacks			
40% banana flour	73.6 ± 6.2 ^{ab}	73.3 ± 6.2 ^{a}	0.33 ± 0.0 ^{e}
60% banana flour	72.7 ± 2.3 ^{ab}	72.3 ± 2.2 ^{a}	0.41 ± 0.1 ^{e}
80% banana flour	76.4 ± 0.1 ^{ab}	75.6 ± 0.0 ^{a}	0.82 ± 0.0 ^{e}
100% banana flour	73.4 ± 2.6 ^{ab}	72.4 ± 2.4 ^{a}	1.02 ± 0.0 ^{e}

[1] Values are an average of triplicate determinations.

[2] In a column, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

Table 3-4 Prebiotic properties of banana snacks made from 'La-ong nam' banana mixed with rice flours (g/100g, db)[1,2].

Samples	Total starch	Digestible starch	Resistant starch
Mixed flour			
40% banana flour	86.3 ± 1.3	60.9 ± 0.7[b]	25.4 ± 0.7[d]
60% banana flour	85.6 ± 1.2	47.5 ± 2.1[c]	38.1 ± 0.9[c]
80% banana flour	84.3 ± 2.7	34.6 ± 1.5[d]	49.7 ± 2.6[b]
100% banana flour	83.9 ± 1.9	24.8 ± 0.9[e]	59.0± 1.2[a]
Extruded banana snacks			
40% banana flour	84.3 ± 1.5	83.6 ± 1.5[a]	0.65 ± 0.0[e]
60% banana flour	82.8 ± 1.5	82.2 ± 1.6[a]	0.66 ± 0.0[e]
80% banana flour	83.2 ± 2.0	82.2 ± 2.0[a]	0.94 ± 0.1[e]
100% banana flour	85.8 ± 1.7	84.6 ± 1.7[a]	1.15 ± 0.0[e]

[1] Values are an average of triplicate determinations.

[2] In a column, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

ด้วยกระบวนการ Twin Screw Extruder แล้ว พบว่าปริมาณ DS ที่ตรวจพบของทุกสูตรมีค่าสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่า สแน็คจากแป้งกล้วยย่อยได้ง่ายมากขึ้น

3.2 ผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วย (banana biscuits)

2.5.1 การตรวจสอบปริมาณ RS, DS และ TS ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์บิสกิตข้าวอบกรอบที่ผลิตจากจากแป้งข้าว 100% และ บิสกิตกล้วยที่ผลิตจากจากแป้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำที่ได้ทดลองผลิตด้วยกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรม 2 สูตร ในอัตราส่วนแป้งกล้วย 45% และ 60% ผสมกับแป้งข้าวเจ้าโดยเปรียบเทียบกับแป้งกล้วยและแป้งข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ (Table 3-6) พบว่า RS ของบิสกิตข้าวอบกรอบที่เตรียมก่อนการอบและหลังการอบมีค่าต่ำมากเพียง 0.32 ± 0.0 ก./100 ก. แต่สูงเพิ่มขึ้นจากแป้งข้าวประมาณ 2 เท่า ขณะที่บิสกิตกล้วยหลังการอบ สูตร 1 (2.39 ± 0.1 ก./100 ก.) ที่เติมแป้งกล้วย 45% มีปริมาณ RS น้อยกว่าสูตร 2 (3.19 ± 0.1 ก./100 ก.) ที่เติมแป้งกล้วย 60%

เนื่องจากแป้งข้าวมีปริมาณ RS ต่ำมาก และเมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นบิสกิตข้าวอบกรอบที่ประกอบด้วยขั้นตอน kneading, gelatinization and retrogradation ทำให้เกิดการ formation โครงสร้าง

เกี่ยวพันที่มีสมบัติทนทานการย่อยได้เช่นเดียวกับ resistant starch ในการตรวจสอบจึงพบปริมาณ RS เพิ่มขึ้น ส่วนบิสกิตกล้วยทั้งสองสูตรกลับมีปริมาณลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับแป้งกล้วยก่อนการแปรรูป แต่ผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วยก็ยังมี RS สูงมากกว่าบิสกิตข้าวอบกรอบ นอกจากนี้ยังพบว่า ขั้นตอนการอบ (baking) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ RS

Table 3-5 Prebiotic properties of banana snacks made from 'Khao nuan' banana mixed with rice flours (g/100g, db)[1,2].

Samples	Total starch	Digestible starch	Resistant starch
Mixed flours			
40% banana flour	65.2 ± 2.6 [d]	44.1 ± 2.3 [e]	21.2 ± 0.9 [d]
60% banana flour	69.8 ± 0.8 [c]	37.6 ± 2.3 [d]	32.2 ± 1.7 [c]
80% banana flour	66.1 ± 1.7 [d]	24.9 ± 1.3 [e]	41.2 ± 0.5 [b]
100% banana flour	64.5 ± 1.7 [d]	20.0 ± 1.8 [f]	44.5 ± 0.7 [a]
Extruded banana snacks			
40% banana flour	82.8 ± 0.5 [a]	82.1 ± 0.5 [a]	0.77± 0.0 [e]
60% banana flour	80.5 ± 1.8 [a]	79.6 ± 1.8 [a]	0.89 ± 0.0 [e]
80% banana flour	76.7 ± 0.8 [b]	75.4 ± 0.9 [b]	1.34 ± 0.3 [e]
100% banana flour	74.9 ± 2.9 [b]	73.0 ± 3.0 [b]	1.88 ± 0.4 [e]

[1] Values are an average of triplicate determinations.

[2] In a column, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

4. Prebiotic properties ของแป้งกล้วยที่ปรับสภาพด้วยวิธีการต่างๆ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการปรับสภาพแป้งกล้วยด้วยวิธีการเติมสารกลุ่ม non-starch polysaccharides ได้แก่ guar gum และ pectin รวมทั้งการเติม citric acid รวมทั้งศึกษากระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ RS Table 3-7 ได้แสดงผลการแปรรูปเนื้อกล้วยและแป้งกล้วยด้วยวิธีการต้ม (100 °ซ) extrusion cooking และ drum drying ต่อปริมาณ RS ซึ่งพบว่าปริมาณ RS จากที่มีอยู่ในเนื้อกล้วยดิบ (56.8 ก./100 ก.) จะมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน การต้มทั้งเปลือก (2 min) มีผลให้ RS ลดลงเหลือ 16.0 ก./100 ก. ขณะที่ extrusion cooking มี

Table 3-6 Prebiotic properties of banana biscuits from 'La-ong nam' banana mixed with rice flours (g/100g, db)[1,2].

Samples	Total starch	Digestible starch	Resistant starch
Banana Flour	83.9 ± 1.9 [a]	24.8 ± 0.9 [d]	59.0 ± 1.2 [a]
Rice flour	87.4 ± 1.7 [a]	87.2 ± 1.7 [a]	0.18 ± 0.0 [d]
Commercial rice biscuit			
Before baking	83.2 ± 0.6 [a]	82.9 ± 0.6 [ab]	0.32 ± 0.0 [d]
After baking	82.6 ± 0.8 [a]	82.3 ± 0.8 [ab]	0.32 ± 0.0 [d]
Banana biscuit			
Formula 1			
Before baking	84.4 ± 0.9 [a]	82.3 ± 1.0 [ab]	2.09 ± 0.2 [c]
After baking	76.2 ± 7.3 [b]	73.8 ± 7.2 [c]	2.39 ± 0.1 [c]
Formula 2			
Before baking	81.0 ± 1.0 [ab]	77.8 ± 0.9 [bc]	3.26 ± 0.2 [b]
After baking	84.0 ± 1.7 [a]	80.8 ± 1.5 [b]	3.19 ± 0.1 [b]

[1] Values are an average of triplicate determinations.

[2] In a column, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

ผลให้ RS ลดลงมากกว่า เหลือเพียง 1.0 ± 0.0 ถึง 1.9 ± 0.4 ก./100 ก. โดยที่การเติม citric acid ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณ RS เลยในการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ยังพบว่า drum drying มีผลให้ RS ลดลงอย่างมากเช่นกันเหลือเพียง 1.4 ± 0.1 ก./100 ก. แต่เมื่อเติม guar gum และ pectin ทำให้ RS เพิ่มขึ้นเป็น 3.4 ± 0.1 และ 3.3 ± 0.1 ก./100 ก. ตามลำดับ

การศึกษาของ Rendon-Villalobos *et al.* (2002) พบว่า retrograded corn starch จะมีปริมาณ RS-III เท่ากับ 1.99% และในการผลิตผลิตภัณฑ์ Tortilla ซึ่งทำจากข้าวโพดโดยกระบวนการ extrusion ที่เตรียมด้วย 2 ขั้นตอน คือ การต้มข้าวโพดได้เป็น Masa และการแช่แป้ง (steeping) ให้ได้ Nixtamal ก่อนที่จะ extrude และอบให้สุกกรอบเป็น tortilla เมื่อนำผลผลิตจากแต่ละขั้นตอนมาศึกษาพบว่า tortilla มี RS-III (3.12 %) สูงกว่า Masa (2.05 %) และ Nixtamal (2.18%) นอกจากนี้ในการศึกษาของ Wang *et al.* (2007) ได้ทดลองเตรียม starch-guar gum extrudates จากสตาร์ชข้าวโพด พบว่าปริมาณ RS เพิ่มขึ้นจาก 6.23% เป็น 14.21% และเมื่อเติม citric acid 2% ปริมาณ RS เพิ่มขึ้นเป็น 16.19% จะเห็นได้

ว่าผลที่ได้ความสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ ในเรื่อง guar gum และ pectin ซึ่งเป็น soluble polysaccharides มีผลต่อการเพิ่มปริมาณ RS โดยอาจเกิดจาก formation ของโครงข่ายระหว่าง starch กับ soluble polysaccharides ที่มีความแข็งแกร่งทนทานการย่อยของเอนไซม์ α-amylase ได้ดี

Table 3-8 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณ RS ที่เกิดจากความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือด พบว่า เมื่อต้มนาน 1, 2, 4, 8 และ 10 นาที ปริมาณ RS 25.4 ± 1.1, 16.0 ± 0.6, 10.0 ± 0.1, 9.4 ± 0.1 และ 9.3 ± 1.3 ก./100 ก. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการต้มนานขึ้น จะมีผลให้ปริมาณ RS ลดลง นั่นคือความร้อนสามารถทำลายโครงสร้าง RS ได้มากโดยเฉพาะความร้อนที่สูงจากกระบวนการ extrusion cooking (170 °ซ) และ drum drying (180 °ซ) ขณะที่ความร้อนในระดับอุณหภูมิน้ำเดือดจะทำลายโครงสร้าง RS ได้น้อยกว่า ทั้งนี้กระบวนการปรับสภาพแป้งกล้วยที่เหมาะสมจากการศึกษาครั้งนี้คือวิธีการต้ม ซึ่งจะได้แป้งกล้วยที่สมบัติ prebiotic property สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

Table 3-7 Total starch, digestible starch and resistant starch of the modified banana samples from 'Mali-ong' banana (g/100g, db)[1,2].

Heating process	Total starch	Digestible starch	Resistant starch
Banana pulp (green)	70.9 ± 6.1 [b]	14.1 ± 6.7 [c]	56.8 ± 1.1 [a]
Boiling (2 min)	86.5 ± 1.3 [a]	70.5 ± 0.7 [a]	16.0 ± 0.6 [b]
Extrusion cooking	74.9 ± 2.9 [b]	73.1 ± 3.0 [a]	1.88 ± 0.4 [d]
Extrusion cooking + citric acid	70.4 ± 1.2 [b]	69.3 ± 1.2 [a]	1.03 ± 0.0 [d]
Drum drying			
No addition	58.3 ± 0.2 [c]	56.9 ± 0.2 [b]	1.4 ± 0.1 [d]
Guar gum addition	61.1 ± 0.8 [c]	57.7 ± 0.8 [b]	3.4 ± 0.1 [c]
Pectin addition	56.8 ± 1.4 [c]	53.4 ± 1.5 [b]	3.3 ± 0.1 [c]

[1] Values are an average of triplicate determinations.

[2] In a column, means not sharing a common letter are significantly different at $p < 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-8 Total starch, digestible starch and resistant starch of the boiled banana samples from 'Mali-ong' banana (g/100g, db)[1,2].

Boiling time	Total starch	Digestible starch	Resistant starch
1 min	74.6 ± 0.8 [c]	49.1 ± 0.4 [c]	25.4 ± 1.1 [a]
2 min	86.5 ± 1.3 [a]	70.5 ± 0.7 [b]	16.0 ± 0.6 [b]
4 min	83.9 ± 1.8 [b]	73.9 ± 1.9 [a]	10.0 ± 0.1 [c]
8 min	82.3 ± 0.7 [b]	72.8 ± 0.9 [a]	9.4 ± 0.1 [c]
10 min	81.9 ± 0.5 [b]	72.6 ± 0.8 [a]	9.3 ± 0.3 [c]

[1] Values are an average of triplicate determinations.

[2] In a column, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

5. อัตราการย่อยสตาร์ช (rate of *in vitro* starch digestibility)

โดยทั่วไปสตาร์ชและแป้งจากพืชหัว ธัญพืช หรือจากกล้วยจะมีความทนทานต่อการย่อยสตาร์ชเป็นกลูโคสด้วยเอนไซม์ amylase แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างเม็ดสตาร์ช รวมทั้งอไมโลสและอไมโลเพคตินที่เป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้อัตราการย่อยสตาร์ชที่แตกต่างกันนั้นสามารถบ่งบอกถึงสมบัติที่ทนทานการย่อยของสตาร์ชหรือแป้งชนิดนั้นๆ (prebiotic property) เช่น ถ้าสตาร์ชหรือแป้งที่ทดสอบมีอัตราการย่อยสตาร์ชต่ำหรือย่อยได้ช้า (slow digestible starch) จะส่งผลถึงการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือดมีอัตราช้าลงเช่นกัน มีผลทำให้รู้สึกอิ่มท้องนาน ไม่หิวเร็ว ช่วยในการควบคุมน้ำหนัก และสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานจะช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี

จาก Table 3-9 แสดงอัตราการย่อยสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในช่วงเวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที โดยตัวอย่างที่ตรวจสอบแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ แป้งและสตาร์ชกล้วย เนื้อกล้วยในระดับความดิบ-สุก 3 ระยะ และผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากกล้วย ผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างจากกลุ่มแป้งและสตาร์ชกล้วย มีอัตราการย่อยต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังอย่างมาก เมื่อพิจารณาที่การย่อยนาน 90 นาที พบว่าสตาร์ชกล้วย (48.1 ± 0.0 ก./100 ก.) มีอัตราการย่อยต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง (82.4 ± 0.9 ก./100 ก.) เกือบครึ่งหนึ่ง ส่วนแป้งกล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์ มีอัตราการย่อยต่ำกว่าสตาร์ช กล้วยอย่างมากเช่นกัน และแป้งกล้วยละอองน้ำมีอัตราการย่อยต่ำที่สุด (17.9 ± 0.1 ก./100 ก.) สำหรับเนื้อกล้วยที่ปรับสภาพด้วยความร้อนจากการต้ม 2 นาที พบว่าอัตราการย่อยกลับสูงขึ้น เป็น 34.6 ±

0.8 ก./100 ก. แสดงถึงกล้วยที่ผ่านการทำให้สุกจะย่อยได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอัตราการย่อยของกล้วยที่ปรับสภาพแล้วก็อยู่ในเกณฑ์ที่เป็น slow digestible starch product เมื่อเทียบกับสตาร์ชมันสำปะหลัง

ผลการตรวจสอบอัตราการย่อยเนื้อกล้วยน้ำว้าในระดับความดิบ ห่ามและสุก จากพันธุ์มะลิอ่องและละอองน้ำ และขาวนวล พบว่า เมื่อย่อยนาน 90 นาที กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องในระยะดิบ ห่าม และสุก มีสตาร์ชย่อยได้ 19.2 ± 0.6, 18.8 ± 0.3 และ 12.5 ± 0.7 ก./100 ก. ตามลำดับ กล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำมีสตาร์ชย่อยได้ 9.2 ± 0.2, 11.8 ± 0.3 และ 11.6 ± 0.7 ก./100 ก. ตามลำดับ และกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลมีสตาร์ชย่อยได้ 17.4 ± 0.7, 17.4 ± 0.4 และ 20.0 ± 0.1 ก./100 ก. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเนื้อกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำจะมีอัตราการย่อยสตาร์ชต่ำที่สุด ซึ่งผลสอดคล้องกับการตรวจสอบแป้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำที่มีอัตราย่อยต่ำเช่นกัน

ผลการตรวจสอบอัตราการย่อยสตาร์ชจากผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย จากสายพันธุ์มะลิอ่อง และละอองน้ำ และขาวนวล พบว่า เมื่อย่อยนาน 90 นาที มีสตาร์ชย่อยได้ 18.8 ±0.1, 19.1 ± 0.0 และ 22.0 ± 0.1 ก./100 ก. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เรียกได้ว่าเป็น slow digestible snack product เมื่อเทียบเทียบกับสตาร์ช มันสำปะหลัง เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณ RS ที่ตรวจสอบในผลิตภัณฑ์เหล่านี้แล้วพบว่ามีค่าต่ำมาก (1-1.19 ก./100 ก.) สาเหตุที่มีผลให้อัตราการย่อยสตาร์ชต่ำ น่าจะเกิดจากโครงสร้าง network ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ของแป้งกล้วย ทั้ง starch และ non-starch polysaccharides เป็นต้น ซึ่งสร้างขึ้นได้โดยกระบวนการ extrusion cooking ให้มีความแข็งแกร่งสามารถทนทานการย่อยได้ดี สำหรับเครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอ พบว่า มีสมบัติ slow digestible เช่นกัน เนื่องจากเมื่อย่อยนาน 90 นาที มีสตาร์ชย่อยได้ 45.0 ± 0.1 ก./100 ก. ถึงแม้ว่าจะสูงกว่าผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย แต่ปริมาณ RS ของเครื่องดื่มกล้วย พรีไบโอ มีค่าสูงกว่า

Table 3-9 The *in vitro* starch digestibility of 'Nam Wah' banana samples in comparison with that of cassava starch (g/100g sample weight) [1].

Samples	Hydrolysis time, min					
	30	60	90	120	150	180
Commercial cassava starch	76.3 ± 1.3	79.7 ± 3.0	82.4 ± 0.9	80.6 ± 1.3	83.7 ± 1.7	83.5 ± 1.5
Banana starch, 'Mali-ong'	48.3 ± 0.2	48.0 ± 0.2	48.1 ± 0.0	50.7 ± 1.5	51.1 ± 0.4	51.4 ± 0.4
Banana flour, 'Mali-ong'	19.3 ± 0.2	19.6 ± 0.0	23.9 ± 0.4	20.1 ± 0.0	21.4 ± 0.2	20.1 ± 0.2
Banana flour, 'La-ong nam'	17.1 ± 0.1	18.1 ± 0.1	17.9 ± 0.1	19.3 ± 0.4	19.5 ± 0.4	19.0 ± 0.4
Banana flour, 'Khao nuan'	24.1 ± 0.8	25.1 ± 0.2	25.5 ± 0.4	25.5 ± 0.4	22.7 ± 1.2	26.8 ± 1.2
Modified Banana flour (boiling for 2 min)	32.4 ± 2.0	32.8 ± 0.6	34.6 ± 0.8	32.2 ±1.0	33.5 ±1.2	33.6 ± 0.2
Banana pulp, 'Mali-ong'						
Green	16.7 ± 0.7	19.1 ± 0.3	19.2 ± 0.6	19.2 ± 0.1	17.7 ± 0.2	19.4 ± 0.1
Almost ripe	17.7 ± 0.4	18.5 ± 0.1	18.8 ± 0.3	18.2 ± 0.4	17.6 ± 0.1	19.7 ± 0.1
Ripe	11.7 ± 0.0	13.9 ± 0.1	12.5 ± 0.7	12.5 ± 0.2	12.2 ± 0.1	14.9 ± 0.2
Banana pulp, 'La-ong nam'						
Green	8.1 ± 0.4	8.9 ± 0.6	9.2 ± 0.2	10.7 ± 0.6	11.6 ± 0.3	11.1 ± 0.1
Almost ripe	8.6 ± 0.2	11.8 ± 1.0	11.8 ± 0.3	15.7 ± 0.4	13.4 ± 1.0	12.1 ± 0.1
Ripe	8.1 ± 0.1	11.7 ± 0.0	11.6 ± 0.7	10.6 ± 0.1	10.6 ± 0.1	12.6 ± 0.6
Banana pulp, 'Khao nuan'						
Green	15.9 ± 0.5	16.5 ± 0.7	17.4 ± 0.7	17.7 ± 0.4	18.7 ± 0.4	18.5 ± 0.4
Almost ripe	16.4 ± 0.2	17.0 ± 0.2	17.4 ± 0.2	17.9 ± 0.8	16.7 ± 0.5	17.3 ± 0.7
Ripe	19.1 ± 0.4	19.5 ± 0.5	20.0 ± 0.1	18.4 ± 0.4	17.8 ± 0.2	20.1 ± 0.7
Banana products						
Extruded snack, 'Mali-ong'	18.6 ± 0.5	19.4 ± 0.3	18.8 ± 0.1	18.6 ± 0.1	18.9 ± 0.3	19.3 ± 0.0
Extruded snack, 'La-ong nam'	18.9 ± 0.2	19.4 ± 0.3	19.1 ± 0.0	20.2 ± 0.2	18.3 ± 0.0	20.1 ± 0.0
Extruded snack, 'Khao nuan'	21.8 ± 0.2	21.9 ± 0.0	22.0 ± 0.1	21.9 ± 0.1	22.2 ± 0.3	22.3 ± 0.2
Prebio- banana drink	40 ± 1.4	41.6 ± 0.4	45.0± 0.0	36.7 ± 0.8	38.0 ± 0.6	47.7 ± 1.2

[1] Values are an average of duplicate determinations.

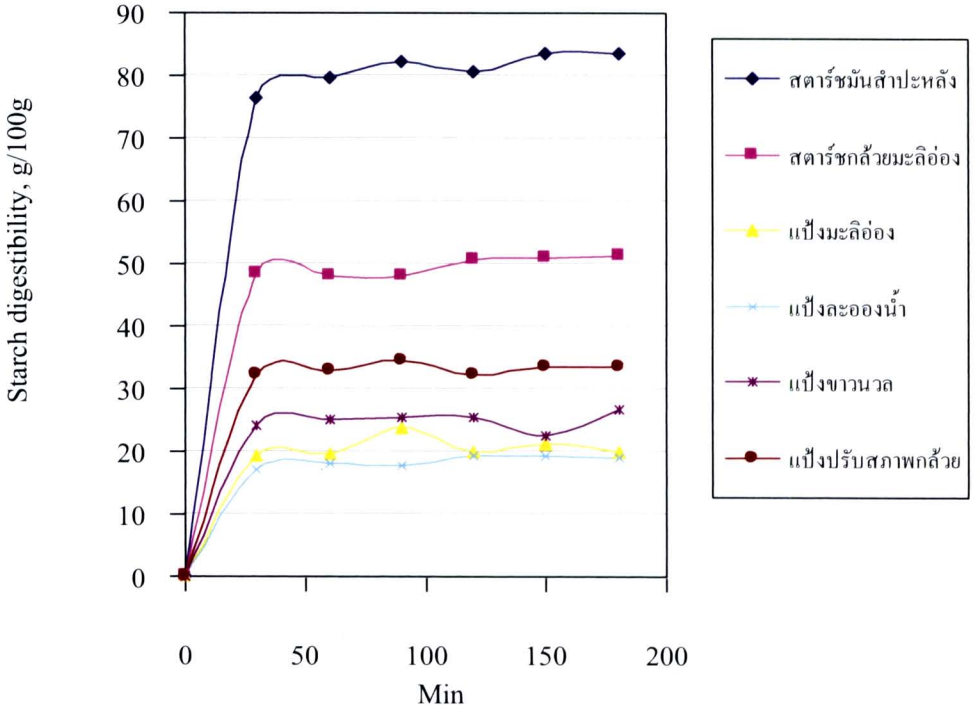


Figure 3-3 Rate of the *in vitro* enzymatic starch digestibility of banana flour and starch when compared to the commercial cassava starch.

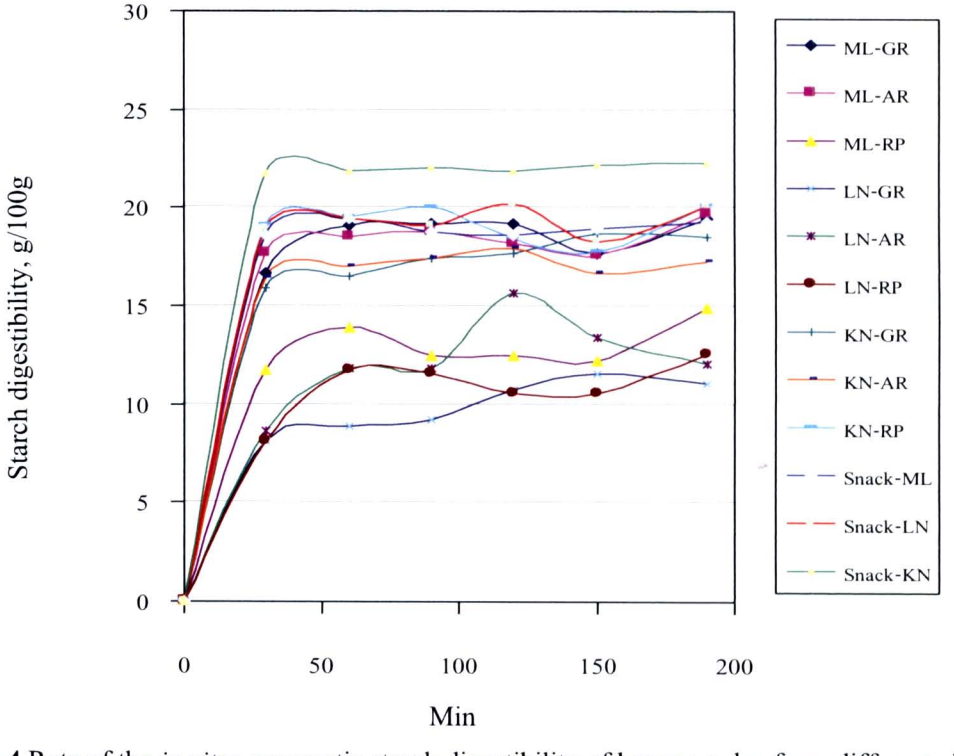


Figure 3-4 Rate of the *in vitro* enzymatic starch digestibility of banana pulps from different riping stages, cultivars and banana products

6. ผลการตรวจสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และการประเมินทางประสามสัมผัส

6.1 Texture characteristics

6.1.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย (extruded banana snack)

ในการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสตัวอย่างผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย (extruded banana snack) ที่ผลิตด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder โดยใช้แป้งผสมระหว่างตัวอย่างแป้งกล้วยน้ำว้าแต่ละพันธุ์ (มะลิอ่อง ละอองน้ำ และขาวนวล) ด้วยเครื่อง TA.XT2i/25 texture analyzer เพื่อตรวจวัดความแน่นเนื้อและความกรอบ(firmness and crispness) ของตัวอย่างแต่ละชุดการทดลองจำนวนตัวอย่างละ 20 ชิ้น (Table 3-10) ผลการศึกษา พบว่า สแน็คจากแป้งกล้วยน้ำว้า 100% จากพันธุ์มะลิอ่อง (6.99 $\pm$ 1.3 kg) และขาวนวล (9.43 $\pm$ 2.1 กก.) มีความแน่นเนื้อมากกว่าสูตร 40, 60 และ 80% ขณะที่สแน็คกล้วยจากพันธุ์ละอองน้ำ 100% กลับมีความแน่นเนื้อต่ำกว่าสูตร 40, 60 และ 80% แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมแป้งกล้วยผสมแป้งข้าวเจ้ามากขึ้นจะมีโอกาสทำให้สแน็คกล้วยมีความแน่นเนื้อมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสแน็คกล้วยจากพันธุ์ขาวนวลทุกสูตรมีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันและมีค่าสูงกว่าสแน็คจากพันธุ์มะลิอ่องและละอองน้ำ

เมื่อพิจารณาในเรื่องความกรอบของสแน็คกล้วยจากพันธุ์มะลิอ่องสูตร 100% มีความกรอบ 2.48 $\pm$ 0.6 kg/sec มากกว่าสูตร 40, 60 และ 80% ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความแน่นเนื้อมากขึ้นจะมีความกรอบมากขึ้นตามสำหรับกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง ขณะที่สแน็คกล้วยจากพันธุ์ละอองน้ำและขาวนวล พบว่ามีแนวโน้มความกรอบลดลงเมื่อเติมแป้งกล้วยมากขึ้น อย่างไรก็ตามความกรอบของสแน็คจากกล้วยขาวนวลสูตร 60, 80 และ 100% ไม่แตกต่างกัน

ในการตรวจสอบความหนาแน่น หรือความสามารถในการกักเก็บอากาศ (bulk density, g/cm^3) และอัตราการพองตัว (expansion ratio) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย 3 พันธุ์ (Table 3-11) พบว่าสแน็คกล้วยที่ผลิตจากแป้งกล้วยน้ำว้าสูตร 100% มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด (0.076 $\pm$ 0.0, 0.060 $\pm$ 0.0 และ 0.107 $\pm$ 0.0 g/cm^3) เมื่อเทียบกับสูตรอื่นโดยมีลักษณะช่องอากาศเล็กมากคล้ายโฟมที่มีความสามารถกักเก็บอากาศได้มาก แต่ในทางตรงข้าม พบว่าอัตราการพองตัวของสูตร 100% เมื่อวัดจากเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่ามีการพองตัวน้อย สรุปได้ว่าแป้งกล้วยน้ำว้าทุกพันธุ์ที่ใช้ผลิตสแน็คมีผลทำให้เกิดช่องอากาศเล็กๆ จำนวนมากที่สามารถเก็บอากาศได้ดีและทำให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะแน่นเนื้อคล้ายโฟม

Table 3-10 Firmness and crispness of extruded banana snacks made from different cultivars [1,2].

Samples	Firmness (kg)	Crispness (kg/sec)
'Mali-ong'		
40% banana flour	3.60 ± 0.7^{c}	1.21 ± 0.4^{c}
60% banana flour	5.83 ± 0.8^{b}	2.28 ± 0.4^{a}
80% banana flour	5.42 ± 1.0^{c}	1.87 ± 0.4^{b}
100% banana flour	6.99 ± 1.3^{a}	2.48 ± 0.6^{a}
'La-ong nam'		
40% banana flour	5.46 ± 0.8^{a}	2.24 ± 0.4^{a}
60% banana flour	5.83 ± 0.8^{a}	2.28 ± 0.4^{a}
80% banana flour	5.42 ± 1.0^{a}	1.87 ± 0.4^{b}
100% banana flour	4.33 ± 1.8^{b}	1.66 ± 0.9^{b}
'Khao nuan'		
40% banana flour	8.11 ± 1.1^{a}	4.35 ± 0.9^{a}
60% banana flour	9.28 ± 1.7^{a}	2.39 ± 0.5^{b}
80% banana flour	8.17 ± 2.8^{a}	2.01 ± 0.9^{b}
100% banana flour	9.43 ± 2.1^{a}	2.44 ± 0.7^{b}

[1] Values are an average of twenty measurements.

[2] In a column of each banana cultivar, means not sharing a common letter are significantly different at $p < 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-11 Bulk density and expansion ratio of extruded banana snacks made from different cultivars [1,2]

Samples	Bulk density (g/cm^3)	Expansion ratio
'Mali-ong'		
40% banana flour	0.101 ± 0.9^{a}	4.17 ± 0.0^{a}
60% banana flour	0.087 ± 0.0^{b}	3.99 ± 0.0^{c}
80% banana flour	0.103 ± 0.0^{a}	3.46 ± 0.1^{c}
100% banana flour	0.076 ± 0.0^{b}	3.53 ± 1.0^{c}
'La-ong nam'		
40% banana flour	0.074 ± 0.0^{bc}	4.03 ± 0.0^{a}
60% banana flour	0.113 ± 0.0^{a}	3.33 ± 0.1^{b}
80% banana flour	0.096 ± 0.0^{ab}	3.35 ± 0.0^{b}
100% banana flour	0.060 ± 0.0^{c}	3.40 ± 0.1^{b}
'Khao nuan'		
40% banana flour	0.113 ± 0.0^{a}	3.57 ± 0.2^{a}
60% banana flour	0.113 ± 0.0^{a}	3.64 ± 0.1^{a}
80% banana flour	0.124 ± 0.0^{a}	3.65 ± 0.0^{a}
100% banana flour	0.107 ± 0.0^{a}	3.21 ± 0.1^{b}

[1] Values are an average of twenty measurements.

[2] In a column, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-12 Texture characteristics of banana biscuits made from 'La-ong nam' banana [1,2].

Parameters	Rice biscuit	Banana biscuit Formula 1	Banana biscuit formula 2
Firmness (kg)	2.40 ± 1.0 [a]	4.94 ± 1.1 [b]	4.92 ± 2.5 [b]
Crispness (kg/sec)	2.43 ± 1.2 [b]	4.24 ± 2.2 [a]	2.29 ± 1.7 [b]
Bulk density (g/cm^3)	0.166 ± 0.0 [a]	0.278 ± 0.0 [b]	0.282 ± 0.0 [b]
Expansion ratio	2.70 ± 0.2	2.45 ± 0.2	2.48 ± 0.2

[1] Values are an average of twenty measurements.

[2] In a row, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

6.1.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วย (banana biscuit)

ผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วย (banana biscuit) สูตร 1 (45% แป้งกล้วย) และ 2 (60% แป้งกล้วย) ที่พัฒนาการผลิตจากแป้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำและเปรียบเทียบกับบิสกิตข้าวพองอบกรอบที่ผลิตด้วยกระบวนการผลิตเดียวกัน (Table 3-12) พบว่า ความแน่นเนื้อ หรือ firmness ของบิสกิตกล้วยสูตร 1 (4.94 ± 1.1 kg) และ สูตร 2 (4.92 ± 2.5 kg) ไม่แตกต่างกัน และทั้งสองสูตรมีความแน่นเนื้อมากกว่าบิสกิตข้าวพองอบกรอบ (2.40 ± 1.0) ในด้านความกรอบพบว่าบิสกิตกล้วยสูตร 2 มีความกรอบมากที่สุด ขณะที่ความหนาแน่น หรือ bulk density ของบิสกิตกล้วยสูตร 1 (0.278 ± 0.0 kg) และ สูตร 2 (0.282 ± 0.0 kg) ไม่แตกต่างกัน และมีความหนาแน่นมากกว่าบิสกิตข้าวพองอบกรอบ (0.166 ± 1.0) ซึ่งมีผลในทำนองเดียวกับค่าความแน่นเนื้อ นอกจากนี้พบว่าอัตราการพองตัวของบิสกิตข้าวพองอบกรอบมีค่าสูงกว่าบิสกิตกล้วยแต่ไม่แตกต่างกัน

6.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation)

6.2.1 ผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย (banana snacks) ในการประเมินคุณลักษณะ (descriptive evaluation) ความชอบ และการยอมรับทางด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยที่ผลิตจากแป้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง ละอองน้ำ และขาวนวล ในสัดส่วน 40, 60, 80 และ 100% ผสมกับแป้งข้าวเจ้า โดยเครื่อง Twin Screw Extruder แล้วเคลือบกลิ่นรสชอคโกแล็ตผสมกลิ่นกล้วย ผลการประเมินผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องแสดงไว้ใน Table 3-13 และ3-14 ผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำแสดงไว้ใน Table 3-15 และ 3-16 และ ผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลแสดงไว้ใน Table 3-17 และ 3-18

ผลการทดสอบคุณลักษณะผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องด้วยการให้คะแนนระดับความเข้ม 1-5 พบว่า เมื่อเติมแป้งกล้วยมากขึ้นผลิตภัณฑ์จะมีสีน้ำตาลที่เข้มมากขึ้นตามลำดับ ตัวอย่างทุกสูตรมีความกรอบปานกลางใกล้เคียงกันด้วยระดับคะแนนระหว่าง 3.1 $\pm$ 0.6 ถึง 3.7 $\pm$ 0.9 โดยเฉพาะตัวอย่างแป้งกล้วยสูตร 80% จะมีความกรอบมากที่สุด โดยไม่แตกต่างจากสูตร 40 และ 60% ส่วนในเรื่องความกลมกล่อมของรสชาติพบว่าทุกตัวอย่างอยู่ในระดับปานกลางไม่แตกต่างกัน

สำหรับผลการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้ชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งประเมินด้วยการให้คะแนนความชอบ 9-hedonic scale พบว่า ผู้ชิมมีความชอบต่อคุณลักษณะด้าน สี กลิ่นและ รสชาติของตัวอย่างทั้ง 4 สูตร ไม่แตกต่างกัน ขณะที่ผู้ชิมชอบความกรอบของสูตรแป้งกล้วย 40 %มากที่สุด มีคะแนน 6.8 $\pm$ 1.3 และไม่แตกต่างจากสูตร 60 % ที่ได้คะแนน 6.2 $\pm$ 1.1 เนื่องจากสูตรที่เติมแป้งข้าวเจ้าจากข้าวหอมมะลิจะมีความกรอบเบา ซึ่งผู้ชิมจะชอบมากกว่าสูตรที่ผสมแป้งกล้วย ซึ่งถ้าเติมมากขึ้นจะทำให้มีลักษณะกรอบแข็ง นอกจากนี้ผู้ชิมให้คะแนนความชอบโดยรวม (ระหว่าง 6.0 $\pm$ 1.2 ถึง 6.4 $\pm$ 1.1) และการยอมรับโดยรวม (ระหว่าง 6.0 $\pm$ 1.6 ถึง 6.3 $\pm$ 1.4) ทุกสูตรไม่แตกต่างกันในระดับชอบน้อยถึงชอบปานกลาง โดยเฉพาะสูตรแป้งกล้วย 40% ได้รับคะแนนความชอบและการยอมรับโดยรวมสูงสุด

Table 3-13 Sensory descriptive evaluation of extruded banana snacks made from 'Mali-ong' banana (n=28)[1,2].

Quality attributes	Ratio of banana flour to rice flour			
	40 : 60	60 : 40	80 :20	100 : 0
Brown color	2.1 $\pm$ 0.8 [c]	2.0 $\pm$ 0.7 [c]	2.6 $\pm$ 0.6 [b]	3.2 $\pm$ 0.9 [a]
Crispiness	3.6 $\pm$ 1.0 [a]	3.5 $\pm$ 0.7 [a]	3.7 $\pm$ 0.9 [ab]	3.1 $\pm$ 0.6 [b]
Aroma	2.9 $\pm$ 1.0	2.8 $\pm$ 0.9	2.6 $\pm$ 0.7	2.6 $\pm$ 0.7
Well-balanced taste	3.1 $\pm$ 0.6	3.1 $\pm$ 0.8	3.1 $\pm$ 0.8	2.9 $\pm$ 0.7

1. Using 1 to 5 rating scales for intensity of attributes : 5 = most intensity and 1 = least intensity.

2. In a row of each descriptor, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-14 Preference toward each characteristic and overall preference-acceptance of extruded banana snacks made from 'Mali-ong' banana (n=28) [1,2].

Quality attributes	Ratio of banana flour to rice flour			
	40 : 60	60 : 40	80 :20	100 : 0
Brown color	6.6 ± 1.2	6.5 ± 0.8	6.0 ± 1.2	6.0 ± 0.7
Crispiness	6.8 ± 1.3 [a]	6.2 ± 1.1 [ab]	5.8 ± 1.4 [b]	6.0 ± 1.4 [b]
Aroma	5.9 ± 1.5	5.7 ± 1.3	5.6 ± 1.4	5.3 ± 1.6
Well-balanced taste	5.9 ± 1.6	5.9 ± 1.7	5.9 ± 1.6	5.6 ± 1.7
Overall preference	6.4 ± 1.1	6.4 ± 1.3	6.1 ± 1.3	6.0 ± 1.2
Overall acceptance	6.3 ± 1.4	6.3 ± 1.4	6.0 ± 1.5	6.0 ± 1.6

1. Using 1 to 9 hedonic scale for preference and acceptance test : 9 = like extremely, 5 = neither like nor dislike and 1 = dislike extremely.

2. In a row of each descriptor, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-15 Sensory descriptive evaluation of extruded banana snacks made from 'La-ong nam' banana (n=30) [1,2].

Quality attributes	Ratio of banana flour to rice flour			
	40 : 60	60 : 40	80 :20	100 : 0
Brown color	1.8 ± 0.7 [c]	2.2 ± 0.7 [b]	2.3 ± 0.7 [b]	3.2 ± 0.7 [a]
Crispiness	3.9 ± 0.7 [a]	3.3 ± 0.8 [b]	3.7 ± 1.0 [a]	3.2 ± 0.8 [b]
Aroma	3.0 ± 1.0	2.7 ± 0.8	2.8 ± 1.0	3.2 ± 1.1
Well-balanced taste	2.9 ± 0.9 [b]	3.2 ± 0.9 [ab]	2.9 ± 0.7 [ab]	3.4 ± 0.9 [a]

1. Using 1 to 5 rating scales for intensity of attributes : 5 = most intensity and 1 = least intensity.

2. In a row of each descriptor, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-16 Preference toward each characteristic and overall preference-acceptance of extruded banana snacks made from 'La-ong nam' banana (n=30) [1,2].

Quality attributes	Ratio of banana flour to rice flour			
	40 : 60	60 : 40	80 :20	100 : 0
Brown color	6.8 ± 1.3 [a]	6.2 ± 1.1 [a]	6.8 ± 1.1a [b]	6.1 ± 1.3 [b]
Crispiness	7.2 ± 1.2 [a]	6.4 ± 1.5 [b]	6.4 ± 1.4 [b]	6.1 ± 1.5 [b]
Aroma	6.2 ± 1.1	6.1 ± 1.3	5.9 ± 1.2	6.2 ± 1.4
Well-balanced taste	6.0 ± 1.3	6.4 ± 1.2	5.9 ± 1.2	6.5 ± 1.5
Overall preference	6.6 ± 1.1	6.7 ± 1.0	6.3 ± 1.1	6.3 ± 1.5
Overall acceptance	6.6 ± 1.3	6.7 ± 1.2	6.3 ± 1.2	6.3 ± 1.6

1. Using 1 to 9 hedonic scale for preference and acceptance test : 9 = like extremely, 5 = neither like nor dislike and 1 = dislike extremely.

2. In a row of each descriptor, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-15 และ 3-16 แสดงผลการทดสอบคุณลักษณะผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำด้วยการให้คะแนนระดับความเข้ม 1-5 พบว่า เมื่อเติมแป้งกล้วยมากขึ้นผลิตภัณฑ์จะมีสีน้ำตาลที่เข้มมากขึ้นตามลำดับ ตัวอย่างสูตร 40 และ 80% มีความกรอบปานกลางใกล้เคียงกันด้วยระดับคะแนน 3.9 ± 0.7 และ 3.7 ± 1.0โดยไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะตัวอย่างแป้งกล้วยสูตร 40% จะมีความกรอบมากที่สุด ส่วนในเรื่องความกลมกล่อมของรสชาติพบว่าตัวอย่างสูตรแป้งกล้วย 100 % มีรสชาติดีที่สุด (3.4 ± 0.9) อยู่ในระดับปานกลางไม่แตกต่างจากสูตร 40 และ 60%

สำหรับผลการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้ชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งประเมินด้วยการให้คะแนนความชอบ 9-hedonic scale พบว่า ผู้ชิมมีความชอบต่อคุณลักษณะด้านกลิ่นและ รสชาติของตัวอย่างทั้ง 4 สูตร ไม่แตกต่างกัน ขณะที่ผู้ชิมชอบความกรอบของสูตรแป้งกล้วย 40 %มากที่สุด มีคะแนน 7.2 ± 1.2 เนื่องจากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวหอมมะลิทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบเบา ซึ่งผู้ชิมจะชอบมากกว่าสูตรที่ผสมแป้งกล้วย ซึ่งถ้าเติมมากขึ้นจะทำให้มีลักษณะกรอบแข็ง นอกจากนี้ผู้ชิมให้คะแนนความชอบโดยรวม (ระหว่าง 6.0 ± 1.2 ถึง 6.4 ± 1.1)และการยอมรับโดยรวม (ระหว่าง 6.0 ± 1.6 ถึง 6.3 ± 1.4) ทุกสูตรไม่แตกต่างกันในระดับชอบชอบปานกลาง โดยเฉพาะสูตรแป้งกล้วย 60% ได้รับคะแนนความชอบและการยอมรับโดยรวมสูงสุด

Table 3-17 และ 3-18 แสดงผลการทดสอบคุณลักษณะผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลด้วยการให้คะแนนระดับความเข้ม 1-5 พบว่า เมื่อเติมแป้งกล้วยมากขึ้นผลิตภัณฑ์จะมีสีน้ำตาลที่เข้มมากขึ้นตามลำดับ ตัวอย่างสูตร 60, 80 และ 100% มีความกรอบปานกลางไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะตัวอย่างแป้งกล้วยสูตร 40% จะมีความกรอบมากที่สุดด้วยระดับคะแนน 3.6 ± 1.0 มากที่สุด ส่วนในเรื่องความกลมกล่อมของรสชาติพบว่าตัวอย่างสูตรแป้งกล้วย 100 % มีรสชาติดีที่สุด (3.1 ± 1.0) อยู่ในระดับปานกลางไม่แตกต่างจากสูตร 40 และ 80% และทุกตัวอย่างมีกลิ่นหอมปานกลางที่ไม่แตกต่างกัน

สำหรับผลการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้ชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งประเมินด้วยการให้คะแนนความชอบ 9-hedonic scale พบว่า ผู้ชิมมีความชอบต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่นและรสชาติของตัวอย่างทั้ง 4 สูตร ไม่แตกต่างกัน ขณะที่ผู้ชิมชอบความกรอบของสูตรแป้งกล้วย 40 %มากที่สุด มีคะแนน 7.2 ± 1.2 สูงที่สุด เนื่องจากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวหอมมะลิจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบเบา ซึ่งผู้ชิมชอบมากกว่าสูตรที่ผสมแป้งกล้วย ซึ่งถ้าเติมมากขึ้นจะทำให้มีลักษณะกรอบแข็ง นอกจากนี้ผู้ชิมให้คะแนนความชอบโดยรวม (ระหว่าง 5.9 ± 1.4 ถึง 6.4 ± 1.6)และการยอมรับโดยรวม (ระหว่าง 5.8 ± 1.4 ถึง 6.4 ± 1.5) โดยที่ทุกสูตรไม่แตกต่างกันในระดับชอบชอบน้อยถึงชอบปานกลาง โดยเฉพาะสูตรแป้งกล้วย 40% ได้รับคะแนนความชอบและการยอมรับโดยรวมสูงสุด

Table 3-17 Sensory descriptive evaluation of extruded banana snacks made from 'Khao nuan' banana (n=30)[1,2] .

Quality attributes	Ratio of banana flour to rice flour			
	40 : 60	60 : 40	80 :20	100 : 0
Brown color	2.1 ± 0.5 [a]	2.4 ± 0.7 [a]	2.9 ± 0.8 [b]	3.3 ± 0.9 [b]
Crispiness	3.6 ± 1.0 [a]	3.1 ± 0.9 [b]	2.9 ± 1.0 [b]	2.9 ± 1.0 [b]
Aroma	2.5 ± 0.9	2.4 ± 0.8	2.6 ± 0.9	2.7 ± 0.9
Well-balanced taste	2.8 ± 1.0 [ab]	2.6 ± 1.0 [a]	3.0 ± 1.0 [ab]	3.1 ± 1.0 [b]

1. Using 1 to 5 rating scales for intensity of attributes : 5 = most intensity and 1 = least intensity.

2. In a row of each descriptor, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-18 Preference toward each characteristic and overall preference-acceptance of extruded banana snacks made from 'Khao nuan' banana (n=30) [1].

Quality attributes	Ratio of banana flour to rice flour			
	40 : 60	60 : 40	80 :20	100 : 0
Brown color	6.7 ± 1.1	6.6 ± 1.4	6.8 ± 1.1	6.5 ± 1.2
Crispiness	7.2 ± 1.2 [a]	6.3 ± 1.5 [b]	6.0 ± 1.8 [b]	6.1 ± 1.8 [b]
Aroma	5.9 ± 1.5	5.7 ± 1.6	6.2 ± 1.7	6.2 ± 1.6
Well-balanced taste	6.3 ± 1.5	5.9 ± 1.4	6.4 ± 1.5	6.5 ± 1.5
Overall preference	6.4 ± 1.6	5.9 ± 1.4	6.1 ± 1.7	6.3 ± 1.4
Overall acceptance	6.4 ± 1.5	5.8 ± 1.4	6.0 ± 1.5	6.1 ± 1.4

1. Using 1 to 9 hedonic scale for preference and acceptance test : 9 = like extremely, 5 = neither like nor dislike and 1 = dislike extremely.

2. In a row of each descriptor, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

6.2.2 ผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วย (banana biscuits) ในการประเมินคุณลักษณะ (descriptive evaluation) ความชอบ และการยอมรับทางด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วยที่ผลิตจากแป้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำสูตรที่เติมแป้งกล้วย 45% ผสมกับแป้งข้าวเจ้า ผลิตด้วยกระบวนการ gelatinization, retrogradation and baking แล้วเคลือบกลิ่นรสชอคโกแล็ตผสมกลิ่นกล้วย ผลการประเมินผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วยแสดงไว้ใน Table 3-19 พบว่า ผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วยมีสีน้ำตาลปานกลาง (3.4 ± 0.9) มีความกรอบมาก (3.7 ± 1.3) และมีกลิ่นหอมและความกลมกล่อมของรสชาติในระดับปานกลางด้วยคะแนน 2.8 ± 1.0 และ 2.9 ± 1.0 9 ตามลำดับ

สำหรับความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วย พบว่า ผู้บริโภคมีความชอบน้อยต่อคุณลักษณะในด้านความกรอบ กลิ่นหอม และ ความกลมกล่อมของรสชาติด้วยคะแนน 4.4, 5.7 และ 5.6 ตามลำดับ เนื่องจากการผสมแป้งกล้วยทำให้บิสกิตพองน้อยและมีลักษณะกรอบแข็ง จึงมีผลให้คะแนนความชอบและการยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับค่อนข้างน้อย ดังนั้นการผลิตบิสกิตกล้วยนั้นควรเติมแป้งกล้วยน้ำว้าในระดับที่ต่ำกว่า 45% น่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้มากขึ้น

Table 3-19 Sensory evaluation of banana cracker made from 'Mali-ong' banana (n=25) [1,2]

Quality attributes	Descriptive test	Perceived intensity of attributes	Preference acceptance test
Color	3.4 ± 0.9	Moderately brown	6.7 ± 1.6
Crispiness	3.7 ± 1.3	Much crispy	4.4 ± 1.7
Aroma	2.8 ± 1.0	Moderate	5.7 ± 1.8
Well-balanced taste	2.9 ± 1.0	Moderate	5.6 ± 1.8
Overall preference			5.4 ± 1.7
Overall acceptance			5.5 ± 1.6

1. Using 1 to 5 rating scales for intensity of attributes : 5 = most intensity and 1 = least intensity.

2. Using 1 to 9 hedonic scale for preference and acceptance test : 9 = like extremely, 5 = neither like nor dislike and 1 = dislike extremely.

6.2.3 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยผงสำเร็จรูปที่มี resistant starch สูง ((Prebio-banana drink)

การทดลองผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยผงสำเร็จรูปที่มีปริมาณ resistant starch สูง (Prebio-banana drink) โดยใช้แป้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องที่ได้ผ่านการปรับสภาพให้คงปริมาณ resistant starch ในระดับที่พัฒนาได้ตามที่แสดงใน Table 3-7 และสูตรเครื่องดื่มกล้วยที่พัฒนาขึ้นมีส่วนผสมแป้งกล้วยบดละเอียดเป็นหลัก 40% และเพิ่มสัดส่วนสตาร์ชกล้วยที่มีความเข้มข้นของ resistant starch ในระดับ 20 และ 30 %โดยแต่งกลิ่นรสมอล์ตมิลค์ และโกโก้ จำนวน 2 สูตร

ในการประเมินความชอบต่อคุณลักษณะในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยน้ำว้าพรีไบโอ รวมทั้งประเมินความชอบและการยอมรับโดยรวม ด้วยการให้คะแนนความชอบแบบ 9-hedonic scale (Table 3-20) พบว่า ผู้ชิมเครื่องดื่มกล้วยสูตรมอล์ตมิลค์ มีความชอบต่อสี ในระดับคะแนน 6.2 ± 1.3 ถึง 6.9 ± 1.0 (ชอบน้อย-ชอบปานกลาง) และสูตรที่เติมสตาร์ชกล้วย 30% ผสมกับแป้งกล้วยปรับสภาพ ได้รับคะแนนความชอบต่อสีสูงสุด ในด้านความชอบต่อกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสรวมทั้งความชอบและการยอมรับโดยรวม พบว่าคะแนนจากการชิมทั้งสามสูตรไม่แตกต่างกัน แต่สูตรเติมสตาร์ช 30% ได้รับคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะต่างๆ ความชอบและการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด

สำหรับเครื่องดื่มกล้วยน้ำว้าสูตรโกโก้ พบว่าผู้ชิมมีความชอบต่อ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส รวมทั้งความชอบและการยอมรับโดยรวมเครื่องดื่มทั้งสามสูตรด้วยคะแนนที่ไม่แตกต่างกัน และทุกสูตรได้รับคะแนนความชอบต่อคุณลักษณะต่างๆ ใกล้เคียงกัน

Table 3-20 Preference toward each characteristic and overall preference-acceptance of instant banana drink made from 'Mali-ong' banana (n=25) [1,2].

Quality attributes	Ratio of banana flour to banana starch		
	100 : 0	80 : 20	70 :30
Malt-milk flavor			
Color	6.2 ± 1.3 [a]	6.7 ± 1.3 [ab]	6.9 ± 1.0 [b]
Odor	6.2 ± 1.1	6.4 ± 1.5	6.6 ± 1.2
Taste	5.9 ± 1.4	5.8. ± 1.5	6.3 ± 1.4
Texture	5.5 ± 1.6	5.8 ± 1.6	6.1 ± 1.6
Overall preference and acceptance	5.8 ± 1.5	5.9 ± 1.6	6.3 ± 1.5
Chocolate flavor			
Color	7.0 ± 1.2	6.9 ± 1.2	7.0 ± 1.2
Odor	6.5 ± 1.2	6.6 ± 1.4	6.4 ± 1.3
Taste	6.0 ± 1.7	6.1 ± 1.8	6.0 ± 1.4
Texture	5.8 ± 1.2	5.9 ± 1.2	5.9 ± 1.2
Overall preference and acceptance	5.9 ± 1.6	5.9 ± 1.6	5.9 ± 1.2

1. Using 1 to 9 hedonic scale for preference and acceptance test : 9 = like extremely, 5 = neither like nor dislike and 1 = dislike extremely.

2. In a row of each descriptor, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

7. คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อกล้วยน้ำว้าสด 3 ระยะ คือ ดิบ สุก และห่าม เพื่อตรวจสอบ proximate compositions ปริมาณพลังงาน ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fibers) ใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ (soluble and non- soluble dietary fiber) และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugars) รวมทั้ง glucose, fructose and sucrose ที่เป็นองค์ประกอบ ของกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง ละออง น้ำ และขาวนวล

Table 3-21 Nutrient compositions (g/100g edible portion) of 'Mali-ong' banana from three ripening stages.

Nutrient composition	Ripening stage		
	Green	Almost ripe	Ripe
Energy, kcal	128.70 ± 2.0	127.84 ± 1.4	126.22 ± 0.3
Moisture, g	67.22 ± 0.5	67.47 ± 0.4	67.90 ± 0.1
Protein, g	0.38 ± 0.0 [a]	0.32 ± 0.0 [b]	0.16 ± 0.0 [c]
Fat, g	0.32 ± 0.0 [a]	0.28 ± 0.0 [b]	0.26 ± 0.0 [b]
Ash, g	1.01 ± 0.0 [a]	0.92 ± 0.0 [ab]	0.87 ± 0.0 [b]
Carbohydrate, g	31.08 ± 0.5	31.02 ± 0.3	30.82 ± 0.1
Total Sugar, g	1.15 ± 0.0 [a]	5.31 ± 0.0 [b]	17.86 ± 0.9 [c]
Glucose, g	0.54 ± 0.0 [a]	2.42 ± 0.0 [b]	8.53 ± 0.4 [c]
Fructose, g	0.61 ± 0.0 [a]	2.89 ± 0.0 [b]	9.33 ± 0.5 [c]
Sucrose, g	0.00	0.00	0.00
Total dietary fiber, g	3.41 ± 0.0 [a]	3.66 ± 0.1 [a]	2.56 ± 0.2 [b]
Soluble fiber, g	0.44 ± 0.0 [a]	0.63 ± 0.1 [b]	0.69 ± 0.1 [b]
Insoluble fiber, g	1.68 ± 0.2 [a]	1.57 ± 0.0 [ab]	1.17 ± 0.1 [b]

[1] Values are an average of duplicate determinations.

[2] In a row, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT

Table 3-21 แสดงผลการวิเคราะห์เนื้อกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง พบว่าพลังงานและคาร์โบไฮเดรทของกล้วย 3 ระยะ คือ ดิบ สุก และห่าม มีปริมาณระหว่าง 126.22 ± 0.3 ถึง 128.70 ± 2.0 กิโลแคลอรี่ และ 30.82 ± 0.1 ถึง 31.08 ± 0.5 กรัม ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกัน ขณะที่โปรตีนและไขมันมีปริมาณน้อยมากต่ำกว่า 0.4 กรัม สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดพบว่ากล้วยดิบมีค่าต่ำสุด (1.15± 0.0 กรัม) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อใกล้สุก ระยะห่ามมีปริมาณ 5.31 ± 0.0 กรัม และระยะสุกมีปริมาณมากที่สุด 17.86 ± 0.9 กรัม น้ำตาลที่พบในกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องมีเพียง 2 ชนิด คือกลูโคสและฟรักโทส ซึ่งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อใกล้สุกเช่นกัน โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.54 ± 0.0 เป็น 8.53 ± 0.4 กรัม และ จาก 0.61 ± 0.0 เป็น 9.33 ± 0.5 กรัม ตามลำดับ และพบว่าน้ำตาลทั้งสองในระยะสุกมีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่พบซูโครส

สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมด พบว่า กล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องมีใยอาหารมากในระยะดิบ (3.41 ± 0.0 กรัม) และระยะห่าม (3.66 ± 0.1 กรัม) ซึ่งปริมาณไม่แตกต่างกัน และพบว่ามีค่าสูงกว่าระยะสุก (2.56 ± 0.2 กรัม) เมื่อพิจารณาถึงปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำแล้วพบว่า ชนิดละลายน้ำที่ประกอบด้วย pectin นั้น มีปริมาณมากในระยะห่าม (0.63 ± 0.1 กรัม)และ สุก (0.69 ± 0.1 กรัม) มากกว่าระยะดิบ (0.44 ± 0.0 กรัม) ขณะที่ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำที่ประกอบด้วย cellulose, hemicellulose รวมทั้ง non-starch polysaccharides อื่นๆ พบได้มากในกล้วยระยะดิบ (1.68 ± 0.2 กรัม) และ ห่าม (1.57 ± 0.0 กรัม) สูงกว่าระยะสุก (1.17 ± 0.1 กรัม) จะเห็นได้ว่ากล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องทั้งระยะความดิบ ห่าม และสุก มีใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำสูงกว่าใยอาหารชนิดละลายน้ำ และชนิดละลายน้ำจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จากระยะดิบจนถึงระยะสุก ขณะที่ชนิดไม่ละลายน้ำกลับมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จากระยะดิบจนถึงระยะสุก

Table 3-22 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์เนื้อกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำ พบว่า พลังงานและคาร์โบไฮเดรทของกล้วย 3 ระยะ คือ ดิบ สุก และห่าม มีค่าแตกต่างกัน โดยระยะดิบมีปริมาณสูงสุด (130.82 ±0.3 กิโลแคลอรี่ และ 32.09 ± 0.1 กรัม) และระยะสุกมีปริมาณน้อยสุด (123.58 ± 0.1 กิโลแคลอรี่ และ 30.29 ± 0.0 กรัม) ตามลำดับ ขณะที่โปรตีนมีปริมาณน้อยมากระหว่าง 0.55 ถึง 0.62 กรัม และไม่พบไขมัน สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดพบว่ากล้วยดิบมีค่าต่ำสุด (0.46 ± 0.0 กรัม) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อใกล้สุก ระยะห่ามมีปริมาณ 6.84 ± 0.4 กรัม และระยะสุกมีปริมาณมากที่สุด 13.19 ± 0.0 กรัม น้ำตาลที่พบในกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำมีเพียง 2 ชนิด คือกลูโคสและฟรักโทส ซึ่งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อใกล้สุกเช่นเดียวกับกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.12 ± 0.0 เป็น 7.04 ± 0.0 กรัม และ จาก 0.34 ± 0.0 เป็น 6.15 ± 0.0 กรัม ตามลำดับ และพบว่าน้ำตาลทั้งสองในระยะสุกมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยไม่พบซูโครส

สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมด พบว่า กล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำมีใยอาหารปริมาณมากที่สุดในระยะดิบ (4.26 ± 0.0 กรัม) และค่อยๆ ลดลง โดยที่ระยะห่ามมี 3.79 ± 0.1 กรัม และระยะสุกมี 2.66 ± 0.1 กรัม ซึ่งปริมาณที่พบมีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำแล้วพบว่า ชนิดละลายน้ำที่ประกอบด้วย pectin รวมทั้งnon-starch polysaccharides อื่นๆนั้น มีปริมาณมากสุดในระยะสุก (0.90 ± 0.1 กรัม) มากกว่าระยะดิบและห่าม แต่ไม่แตกต่างกัน ขณะที่ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำที่ประกอบด้วย cellulose, hemicellulose นั้น พบได้มากสุดในกล้วยระยะดิบ (2.08 ± 0.0 กรัม) ส่วนระยะห่าม (0.76 ± 0.0 กรัม) ระยะสุก (0.60 ± 0.0 กรัม) มีปริมาณต่ำลง จะเห็นได้ว่ากล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำโดยเฉพาะในระยะดิบมีใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำสูงกว่าใยอาหารชนิดละลายน้ำ โดยที่ชนิดละลายน้ำจะมีปริมาณจากระยะดิบจนถึงระยะสุกไม่แตกต่างกัน ขณะที่ชนิดไม่ละลายน้ำกลับมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จากระยะดิบจนถึงระยะสุก

Table 3-22 Nutrient compositions (g/100g edible portion) of 'La-ong nam' banana from three ripening stages.

Nutrient composition	Ripening stage		
	Green	Almost ripe	Ripe
Energy, kcal	130.82 ± 0.3 [a]	128.66 ± 0.2 [b]	123.58 ± 0.1 [c]
Moisture, g	66.46 ± 0.1 [a]	66.95 ± 0.0 [b]	68.32 ± 0.0 [c]
Protein, g	0.62 ± 0.0	0.55 ± 0.0	0.61 ± 0.0
Fat, g	0.00	0.00	0.00
Ash, g	0.84 ± 0.0 [a]	0.89 ± 0.0 [ab]	0.79 ± 0.0 [b]
Carbohydrate, g	32.09 ± 0.1 [a]	31.62 ± 0.1 [b]	30.29 ± 0.0 [c]
Total Sugar, g	0.46 ± 0.0 [a]	6.84 ± 0.4 [b]	13.19 ± 0.0 [c]
Glucose, g	0.12 ± 0.0 [a]	3.57 ± 0.2 [b]	7.04 ± 0.0 [c]
Fructose, g	0.34 ± 0.0 [a]	3.27 ± 0.2 [b]	6.15 ± 0.0 [c]
Sucrose, g	0.00	0.00	0.00
Total dietary fiber, g	4.26 ± 0.0 [a]	3.79 ± 0.1 [b]	2.66 ± 0.1 [c]
Soluble fiber, g	0.85 ± 0.0	0.78 ± 0.1	0.90 ± 0.1
Insoluble fiber, g	2.08 ± 0.0 [a]	0.76 ± 0.0 [b]	0.60 ± 0.0 [c]

[1] Values are an average of duplicate determinations.

[2] In a row, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

Table 3-23 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์เนื้อกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวล พบว่า พลังงานและคาร์โบไฮเดรทของกล้วย 3 ระยะ คือ ดิบ สุก และห่าม มีค่าแตกต่างกัน โดยระยะดิบมีปริมาณสูงสุด (144.96 ±0.5 กิโลแคลอรี่ และ 33.84 ± 0.2 กรัม) และระยะสุกมีปริมาณน้อยสุด (129.50 ± 1.0 กิโลแคลอรี่ และ 30.56 ± 0.2 กรัม) ตามลำดับ ขณะที่โปรตีนของกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวล มีปริมาณมากที่สุด มีค่าระหว่าง 1.56 ± 0.0 ถึง 2.05 ± 0.1 กรัม และมีปริมาณไขมันต่ำกว่า 0.2 กรัม สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดพบว่ากล้วยดิบมีค่าต่ำสุด (1.25 ± 0.0 กรัม) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อใกล้สุก ระยะห่ามมีปริมาณ 8.90 ± 0.4 กรัม และระยะสุกมีปริมาณมากที่สุด 17.46 ± 0.2 กรัม ใกล้เคียงกับพันธุ์มะลิอ่อง ขณะที่พันธุ์ละอองน้ำมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยกว่า น้ำตาลที่พบในกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลมี 3 ชนิด คือกลูโคส ฟรักโทส และซูโครส โดยส่วนมากเป็นกลูโคส ซึ่งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อใกล้สุกเช่นเดียวกับ

พันธุ์อื่น โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.73 ± 0.0 เป็น 11.49 ± 0.2 กรัม และรองลงมาเป็นฟรักโทส เพิ่มจาก 0.47 ± 0.0 เป็น 5.92 ± 0.0 กรัม และพบว่ากลูโคสในระยะสุกมีปริมาณสูงมาก ขณะที่ซูโครสมีปริมาณน้อยมาก เพียง 0.05 กรัม

สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมด พบว่า กล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลมีใยอาหารปริมาณมากที่สุดในระยะดิบ (3.84 ± 0.0 กรัม) และค่อยๆ ลดลง โดยที่ระยะห่ามมี 2.40 ± 0.1 กรัม และระยะสุกมี 3.04 ± 0.0 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณใยอาหารชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำแล้ว พบว่าชนิดละลายน้ำที่ประกอบด้วย pectin รวมทั้งnon-starch polysaccharides อื่นๆนั้น มีปริมาณมากที่สุดในระยะสุก (0.74 ± 0.1 กรัม) มากกว่าระยะดิบ (0.28 ± 0.1 กรัม) ขณะที่ใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำที่ประกอบด้วย cellulose, hemicellulose นั้น พบได้มากสุดในกล้วยระยะดิบ (3.55 ± 0.0 กรัม) ส่วนระยะห่าม (1.93 ± 0.1 กรัม) ระยะสุก (2.29 ± 0.1 กรัม) มีปริมาณต่ำกว่า จะเห็นได้ว่ากล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลโดยเฉพาะในระยะดิบมีใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำสูงกว่าใยอาหารชนิดละลายน้ำ โดยที่ชนิดละลายน้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากระยะดิบจนถึงระยะสุก ขณะที่ชนิดไม่ละลายน้ำกลับมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จากระยะดิบจนถึงระยะสุก

8. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา และฉลากโภชนาการ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งกล้วย 3 ผลิตภัณฑ์ที่ยังคงสมบัติ prebiotic properties ได้แก่ ผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย (banana snacks) ผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วย (banana biscuits) และ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอ (“Prebio- banana” drink) เป็นต้น จากการทดลองพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วย (banana snacks) จากกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง ละอองน้ำ และขาวนวล พบว่าสูตรที่ใช้แป้งกล้วยน้ำว้า 100% ได้รับคะแนนความชอบและการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรที่เติมแป้งกล้วยน้อยกว่า จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยน้ำว้าต้นแบบด้วยการใช้แป้งกล้วยน้ำว้าเป็นส่วนผสม 100% แต่อย่างไรก็ตามการผลิตด้วยกระบวนการextrusion cooking นั้นมีผลทำให้ปริมาณ RS ลดลงเหลือน้อยมาก มีปริมาณ RS จากกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง 1.02 กรัมต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) กล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำ 1.15 กรัมต่อ100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) และกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวล 1.9 กรัมต่อ100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) จาก Table3- 24 แสดงให้เห็นว่าคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สแน็คกล้วยเคลือบช็อคโกแลต ยังน่าสนใจในส่วนประกอบของใยอาหารทั้งหมดที่มีปริมาณมาก ทั้งสแน็คจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง (5.27 ± 0.1 กรัม) และกล้วยละอองน้ำ (5.19 ± 0.0 กรัม) นอกจากนี้ Figure 3-5 แสดงข้อมูลโภชนาการสแน็คจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง 100% และ Figure 3-6 แสดงบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์สแน็คจากกล้วยหนึ่งหน่วยบริโภค

สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วย (banana biscuits) สูตรเติมแป้งกล้วย 45% จากกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำ พบว่ากระบวนการผลิตแบบ gelatinization ด้วยความร้อนสูง ร่วมกับ

Table 3-23 Nutrient compositions (g/100g edible portion) of 'Khao nuan' banana from three ripening stages.

Nutrient composition	Ripening stage		
	Green	Almost ripe	Ripe
Energy, kcal	144.96 ± 0.5 [a]	135.54 ± 0.5 [b]	129.50 ± 1.0 [c]
Moisture, g	63.10 ± 0.1 [a]	65.51 ± 0.1 [b]	67.05 ± 0.2 [c]
Protein, g	2.05 ± 0.1 [a]	1.64 ± 0.1 [b]	1.56 ± 0.0 [b]
Fat, g	0.16 ± 0.0	0.14 ± 0.0	0.12 ± 0.0
Ash, g	0.86 ± 0.0 [a]	0.78 ± 0.0 [b]	0.72 ± 0.0 [c]
Carbohydrate, g	33.84 ± 0.2 [a]	31.93 ± 0.1 [b]	30.56 ± 0.2 [c]
Total Sugar, g	1.25 ± 0.0 [a]	8.90 ± 0.4 [b]	17.46 ± 0.2 [c]
Glucose, g	0.73 ± 0.0 [a]	5.65 ± 0.3 [b]	11.49 ± 0.2 [c]
Fructose, g	0.47 ± 0.0 [a]	3.20 ± 0.2 [b]	5.92 ± 0.0 [c]
Sucrose, g	0.05 ± 0.0	0.05 ± 0.0	0.05 ± 0.0
Total dietary fiber, g	3.84 ± 0.0 [a]	2.40 ± 0.1 [b]	3.04 ± 0.0 [c]
Soluble fiber, g	0.28 ± 0.1 [a]	0.47 ± 0.0 [ab]	0.74 ± 0.1 [b]
Insoluble fiber, g	3.55 ± 0.0 [a]	1.93 ± 0.1 [b]	2.29 ± 0.1 [c]

[1] Values are an average of duplicate determinations.

[2] In a row, means not sharing a common letter are significantly different at $p< 0.05$ by ANOVA and DMRT.

baking มีผลทำให้ปริมาณ RS ต่ำลงมากเช่นกัน แต่ก็พบว่ามีปริมาณ RS (2.39 กรัมต่อ100 กรัม) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ สแน็คกล้วย แต่คุณลักษณะผลิตภัณฑ์บิสกิตได้รับคะแนนความชอบและการยอมรับโดยรวมค่อนข้างต่ำ ซึ่งถ้าลดปริมาณแป้งกล้วยลงเพื่อทำให้คุณลักษณะทั่วไปดีขึ้น ก็จะมีผลให้ปริมาณ RS ต่ำลงเช่นกัน อย่างไรก็ตามคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วยที่แสดงในTable 3-24 พบว่าใยอาหารเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีปริมาณมากถึง 6.59 ± 0.2 กรัม นอกจากนี้ Figure 3-7 แสดงข้อมูลโภชนาการบิสกิตกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำ และ Figure 3-8 แสดงบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์บิสกิตกล้วยหนึ่งหน่วยบริโภค

การพัฒนาแป้งปรับสภาพเนื้อกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องด้วยวิธีการต้มกล้วยดิบทั้งเปลือกและอบแห้ง จะมีผลให้ปริมาณ RS คงสภาพได้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับวิธีการ extrusion และ drum

drying ซึ่งใช้ความในการแปรรูปสูงกว่า ดังนั้นจึงได้นำแป้งกล้วยปรับสภาพโดยวิธีการต้ม 2 นาที ที่มีปริมาณ RS 16.0 กรัม (Figure 3-9) มาใช้เป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอ (prebio-banana drink) สูตรมอล์ตมิลค์ และโกโก้ โดยเติมส่วนผสมแป้งกล้วยปรับสภาพ 40% ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เมื่อชงเป็นเครื่องดื่มจะใช้สัดส่วนแป้งกล้วยผสม 30 กรัมชงกับน้ำร้อน (90 °ซ) 170 มิลลิลิตร

นอกจากการพัฒนาแป้งกล้วยปรับสภาพแล้วยังพัฒนาสูตรส่วนผสมเครื่องดื่มกล้วยผงด้วยการเติมสตาร์ชที่สกัดแยกบริสุทธิ์จากแป้งกล้วยที่มีปริมาณ RS สูงมากถึงร้อยละ 72.2 โดยเติมด้วยสัดส่วน 20 และ 30 % เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอที่มี RS ปริมาณสูงขึ้น Table 3-25 แสดงให้เห็นว่า ถ้าเติมสตาร์ชมากขึ้นจะทำให้เครื่องดื่มมีปริมาณ RS มากขึ้น และสูตรที่เตรียมด้วยส่วนผสมแป้งกล้วยปรับสภาพ 1 นาที จะมีปริมาณ RS สูงกว่าสูตรที่เติมแป้งปรับสภาพ 2 นาที จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอ สูตร 3 จะมีปริมาณ RS มากที่สุด ชนิดผง เท่ากับ 13.14 ถึง 15.77 กรัมต่อ100 กรัม และชนิดชงพร้อมดื่ม เท่ากับ 3.94 ถึง 4.73 กรัมหนึ่งหน่วยบริโภค (200 มิลลิลิตร) นอกจากนี้ Figure 3-8 แสดงข้อมูลโภชนาการผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอพร้อมดื่มหนึ่งหน่วยบริโภค และ Figure 3-10 แสดงบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอพร้อมดื่ม

Table 3-24 Nutrient compositions of banana products (g/100g).

Nutrient composition	Banana extruded snacks		Banana biscuits	"Prebio-banana" drink
	'Mali-ong'	'La-ong nam'		
Energy, kcal	381.48 ± 0.3	386.19 ± 0.2	429.50 ± 0.1	385.87 ± 0.3
Moisture, g	5.01 ± 0.0	5.39 ± 0.1	3.57 ± 0.1	5.40 ± 0.0
Protein, g	2.61 ± 0.2	2.92 ± 0.0	5.26 ± 0.0	5.83 ± 0.2
Fat, g	2.18 ± 0.1	2.99 ± 0.0	10.46 ± 0.1	6.65 ± 0.0
Ash, g	2.34 ± 0.0	1.80 ± 0.0	2.14 ± 0.0	2.15 ± 0.1
Carbohydrate, g	87.87 ± 0.4	86.91 ± 0.2	78.58 ± 0.1	79.69 ± 0.4
Total Sugar, g	14.97 ± 0.4	23.76 ± 0.8	10.88 ± 0.1	17.31 ± 0.1
Glucose, g	1.36 ± 0.1	1.10 ± 0.0	0.24 ± 0.0	0.11 ± 0.0
Fructose, g	2.21 ± 0.1	2.53 ± 0.1	0.58 ± 0.0	0.07 ± 0.0
Sucrose, g	11.41 ± 0.3	20.14 ± 1.0	10.06 ± 0.0	17.13 ± 0.1
Total dietary fiber, g	5.27 ± 0.1	5.19 ± 0.0	6.59 ± 0.2	4.27 ± 0.1

[1] Values are an average of duplicate determinations.

Table 3-25 The amount of resistant starch in "Prebio-banana" drink product.

Sample	Formulation (conditioned flour : starch)		
	1 (100:0)	2 (80:20)	3 (70:30)
"Prebio-banana" drink 100 g.			
1 min. boil	10.14	13.89	15.77
2 min. boil	6.40	10.90	13.14
Instant drink 200 ml.			
1 min. boil	3.05	4.17	4.73
2 min. boil	1.92	3.27	3.94

- The drink was from 30 g. banana starch in 170 ml. hot water (90 °c)
- 'Mali-ong' starch: RS=72.2%, 1 min. boil: RS=25.4% and 1 min. boil: RS=16.0%
- Data in the table are from calculation

ข้อมูลโภชนาการ

หนึ่งหน่วยบริโภค : 30 กรัม

จำนวนหน่วยบริโภคต่อภาชนะบรรจุ : 1

คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

พลังงานทั้งหมด 110 กิโลแคลอรี

		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *
ไขมันทั้งหมด	0.5 ก.	**1** %
โปรตีน	น้อยกว่า 1 ก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	26 ก.	**9** %
ใยอาหาร	2 ก.	**8** %
น้ำตาล	4 ก.	
โซเดียม	- มก.	- %

* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี

Figure 3-5 Nutrition data of 'Nam wah' banana snacks

Figure 3-6 The banana snacks

ข้อมูลโภชนาการ		
หนึ่งหน่วยบริโภค : 30 กรัม		
จำนวนหน่วยบริโภคต่อภาชนะบรรจุ : 1		
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค		
พลังงานทั้งหมด 130 กิโลแคลอรี		
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *
ไขมันทั้งหมด	5 ก.	**8 %**
โปรตีน	2 ก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	24 ก.	**8 %**
ใยอาหาร	2 ก.	**8 %**
น้ำตาล	3 ก.	
โซเดียม	- มก.	**- %**
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี		

Figure 3-7 Nutrition data of 'Nam wah' banana biscuits

Figure 3-8 Banana biscuits

ข้อมูลโภชนาการ		
หนึ่งหน่วยบริโภค : 1 ซอง (30 กรัม) *		
จำนวนหน่วยบริโภคต่อภาชนะบรรจุ : 1		
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค		
พลังงานทั้งหมด 120 กิโลแคลอรี		
		ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *
ไขมันทั้งหมด	2 ก.	**3 %**
โปรตีน	2 ก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	24 ก.	**8 %**
ใยอาหาร	1 ก.	**4 %**
น้ำตาล	5 ก.	
โซเดียม	- มก.	**- %**
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี		

Figure 3-9 ข้อมูลโภชนาการผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยพรีไบโอ ("Prebio- banana" drink)

Figure3-10 Nutrition data of "Prebio- banana" drink)

8. ผลการตรวจสอบ antioxidant properties ของ ตัวอย่างกล้วยน้ำว้า

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารต่างๆ และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในกล้วยแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันน้อยมาก มีเพียงกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลที่มีปริมาณสารฟีโนลิคทั้งหมด และสารกลุ่ม condensed tannin สูงที่สุด และเมื่อตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระพบว่ากล้วยขาวนวลมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า เมื่อวิเคราะห์ด้วย DPPH ดังแสดงในTable 3-26 แต่ไม่แตกต่างจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay

เนื้อกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลดิบมีปริมาณฟีโนลิคทั้งหมดสูงที่สุดประมาณ 3,495 µg gallic acid/100 g dry sampleในขณะที่ Patthamakanokporn (2008) วิเคราะห์หาปริมาณฟีโนลิคทั้งหมดของกล้วยน้ำว้าได้สูงถึง 14 mg หรือ 14,000 µg gallic acid/100 g dry sample ส่วนผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay จากการทดลองของ Patthamakanokporn (2008) พบว่ากล้วยน้ำว้ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเพียง 4.2 µM trolox/100 g dry sampleในขณะที่เนื้อกล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลจากการทดลองครั้งนี้มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 2,516 µM trolox /100 g dry sample ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันอาจเป็นเพราะพันธุ์ของกล้วยที่แตกต่างกัน ถึงแม้จะเป็นกล้วยน้ำว้าในประเทศไทยเหมือนกันแต่อาจมีสารสำคัญและคุณสมบัติอื่นๆ ต่างกัน นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากวิธีหรือสารละลายที่ใช้ในขั้นตอนการสกัดที่แตกต่างกัน ในการทดลองนี้สารฟีโนลิคในตัวอย่างถูกสกัดด้วย methanol ขณะที่การทดลองของ Patthamakanokporn (2008) สกัด

สารฟีโนลิคด้วยสารละลาย acetone 50% ซึ่งสารละลาย methanol และ acetone มีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน โดย methanol เป็นสารละลายที่มีคุณสมบัติเป็น polar protic solvent ส่วน acetone เป็นสารละลายกลุ่ม polar aprotic solvent ดังนั้นสารสกัดที่ได้จึงเป็นสารฟีโนลิคกลุ่มที่แตกต่างกัน สารฟีโนลิคที่ได้จากการสกัดด้วย methanol จะเป็นฟีโนลิคกลุ่มที่มีขั้วสูง ในขณะที่สารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วย acetone จะเป็นสารฟีโนลิคกลุ่มที่มีขั้วน้อยหรือไม่มีขั้ว การที่สารสกัดซึ่งได้จากการสกัดด้วย methanol มีปริมาณฟีโนลิคทั้งหมดน้อยกว่า แต่ผลการทดลองคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า อาจสรุปเบื้องต้นได้ว่าสารกลุ่มที่มีขั้วสูงซึ่งสกัดได้นั้น แม้มีปริมาณน้อยแต่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่า

เมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยน้ำ acetone methanol และ ethanol (Gonzalez-Montelongo, 2010) พบว่าการสกัดด้วย methanol ได้สารสกัดที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการสกัดด้วยสารสกัดชนิดอื่น โดยเฉพาะการสกัดด้วยน้ำ เนื่องจากน้ำไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase ได้ สังเกตุได้จากสีของสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำและ methanol สารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำจะเป็นสารสกัดสีน้ำตาลมากกว่าสารสกัดที่สกัดด้วย methanol นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การสกัดด้วยน้ำจะมีผลทำให้สารฟีโนลิคถูกออกซิไดซ์ระหว่างการสกัด ทำให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดนั้นๆลดลง

FRAP assay และ DPPH assay เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ได้รับผลกระทบจากสารอื่นๆ เช่น กรดอะมิโน และน้ำตาล น้อยกว่าวิธีวิเคราะห์อื่นอย่าง ABTS assay และ ORAC assay (Pérez-Jiménez and Saura-Calixto, 2006) จากผลการทดลองคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระพบว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay ให้ผลขัดแย้งกันกับวิธีวิเคราะห์ FRAP assay ซึ่งการที่ผลจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีนี้ขัดแย้งกันนั้นก็พบในงานวิจัยอื่นเช่นกัน (Deepa *et al.*, 2006; Stratil *et al.*, 2006) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระนั้นแตกต่างกัน วิธีวิเคราะห์ FRAP assay เป็นวิธีที่วิเคราะห์การถ่ายโอนอิเล็คตรอน ในขณะที่ DPPH assay มีการเกิดทั้งปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนอะตอม โดยในงานวิจัยทั่วไปนั้นมักใช้วิธี FRAP assay และ DPPH assay ควบคู่กันไปในการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Deepa *et al.*, 2006; Jiang *et al.*, 2006; Stratil *et al.*, 2006; Yan *et al.*, 2006) FRAP assay เป็นวิเคราะห์ที่เหมาะสำหรับศึกษาประสิทธิภาพของสารฟีโนลิคกลุ่มที่ละลายน้ำได้ดี ในขณะที่สารฟีโนลิคที่ละลายได้ดีในแอลกลฮอล์จะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay เมื่อเปรียบจากผลการทดลองพบว่ากล้วยน้ำว้าพันธุ์ขาวนวลอาจมีสารฟีโนลิคที่เป็นกลุ่มที่ละลายได้ดีในน้ำ ในส่วนของกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay แต่มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay นั้น อาจเป็นเพราะสารฟีโนลิคในกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่องเป็นสารฟีโนลิคกลุ่มที่แตกต่างออกไป

ผลการศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยการวิเคราะห์แบบ DPPH assay ซึ่งแสดงผลเป็นประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ที่วิเคราะห์จากประสิทธิภาพในการกำจัดสารอนุมูลอิสระของ DPPH radicals แล้วคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองทั้งปริมาณสารฟีโนลิคทั้งหมด คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay และปริมาณสาร condensed tannin พบว่า สารสำคัญและคุณสมบัติดังกล่าวในสารสกัดจะลดลงเมื่อกล้วยสุกมากขึ้น โดยมีลักษณะคล้ายกันในกล้วยทุกพันธุ์ แต่คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay กลับมีผลไม่แตกต่างกันเมื่อกล้วยสุกมากขึ้นในกล้วยทุกพันธุ์ อาจเป็นเพราะสารสำคัญที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่แสดงผลในวิธีวิเคราะห์ DPPH assay เป็นสารกลุ่มที่ไม่เกิดความเปลี่ยนแปลงใดๆเมื่อกล้วยน้ำว้าสุกมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระระหว่างกล้วยแต่ละพันธุ์พบว่า กล้วยน้ำว้าพันธุ์ละอองน้ำมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ตามมาด้วยกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง และขาวนวล (Table 3-26)

ผลการวิเคราะห์ทั้งปริมาณฟีโนลิคทั้งคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระทั้งจากวิธี FRAP assay และ DPPH assay รวมถึงปริมาณ condensed tannin ในส่วนที่เป็นเปลือกกล้วย แสดงผลในทิศทางเดียวกันกับเนื้อกล้วย แต่ปริมาณสารสำคัญและคุณสมบัติต่างๆในเปลือกกล้วยนั้นมีปริมาณสูงกว่าในเนื้อกล้วยมาก (Table 3-27) เปลือกกล้วยจึงเป็นแหล่งฟีโนลิคที่สำคัญ ทั้งนี้มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาเกี่ยวกับสารฟีโนลิคชนิดต่างๆในเปลือกกล้วยทั้งเปลือกกล้วยดิบและเปลือกกล้วยสุกพบว่ามีสารสำคัญแตกต่างกัน ไปทั้งในแต่ละพันธุ์ และในแต่ละระยะการสุกของกล้วย ผลการทดลองในตารางที่ 3-27 แสดงให้เห็นว่า เมื่อกล้วยสุกมากขึ้นปริมาณสารสำคัญและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณลดลง โดยเปลือกกล้วยน้ำว้ามีสารฟีโนลิคสูงถึง 9,350 μg gallic acid/100 g dry sample และมีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 1,377-5,185 μM trolox/100 g dry sample หรือ 1,858-5,685 μM vitamin C/100 g dry sample เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay ส่วนผลจากการวิเคราะห์ด้วย DPPH assay พบว่ามี scavenging percentage ประมาณ 43-56 % ในขณะที่ Gonzalez-Montelongo *et al.* (2010) ได้วิเคราะห์หาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay แล้วคำนวณเป็น scavenging percentage ในเปลือกกล้วยพันธุ์ Colla (AAA group) ที่สกัดด้วยสารละลาย methanol 100% พบว่า มีค่า scavenging percentage จากการวิเคราะห์ด้วย DPPH assay เพียง33 – 44% ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับในการทดลองครั้งนี้

Table 3-26 Total phenolic content, antioxidant activities and condensed tannin in banana pulp at difference ripening stages.

Analysis	Cultivar	Stage		
		Green	Green to yellow	Yellow
Total phenolic content (μg gallic acid/100 g dry sample)	'Mali-ong'	$2699\pm10^{b/a}$	$2634\pm26^{a/b}$	$1096\pm16^{b/c}$
	'La-ong nam'	$2651\pm79^{b/a}$	$2084\pm90^{b/b}$	$1055\pm26^{b/c}$
	'Khao nuan'	$3495\pm61^{a/a}$	$2735\pm110^{a/b}$	$1134\pm133^{a/c}$
FRAP assay (μM trolox/100 g dry sample)	'Mali-ong'	$2258\pm31^{b/a}$	$1414\pm63^{a/b}$	$473\pm38^{b/c}$
	'La-ong nam'	$2296\pm5^{ab/a}$	$1557\pm28^{a/b}$	$656\pm27^{a/c}$
	'Khao nuan'	$2304\pm13^{a/a}$	$1555\pm82^{a/b}$	$617\pm17^{a/c}$
FRAP assay (μM vitamin C/100 g dry sample)	'Mali-ong'	$2471\pm21^{b/a}$	$1628\pm63^{a/b}$	$685\pm38^{b/c}$
	'La-ong nam'	$2507\pm5^{a/a}$	$1775\pm28^{a/b}$	$688\pm27^{b/c}$
	'Khao nuan'	$2516\pm13^{a/a}$	$1772\pm82^{a/b}$	$847\pm17^{a/c}$
DPPH / AA (%)	'Mali-ong'	$46.36\pm0.03^{a/a}$	$45.03\pm1.79^{a/a}$	$45.83\pm3.32^{a/a}$
	'La-ong nam'	$45.45\pm3.6^{a/a}$	$45.63\pm2.44^{a/a}$	$45.03\pm1.04^{a/a}$
	'Khao nuan'	$31.49\pm0.33^{b/b}$	$31.94\pm0.72^{b/b}$	$30.82\pm1.42^{b/b}$
Tannin (mg catechin/ 100 g dry sample)	'Mali-ong'	$15.34\pm0.09^{b/a}$	$8.91\pm0.26^{b/b}$	$3.55\pm0.28^{b/c}$
	'La-ong nam'	$15.83\pm0.45^{b/a}$	$9.23\pm0.36^{b/b}$	$3.01\pm0.05^{c/c}$
	'Khao nuan'	$18.94\pm0.17^{a/a}$	$10.89\pm0.18^{a/b}$	$4.00\pm0.13^{a/c}$

Note: (1) The data showed the average value ± standard deviation

(2) Data with different superscript were significantly different ($p\leq0.05$)

(3) First superscript defined the significant different between species sample while the second superscript defined the significant different between banana period

(4) The lower EC50 value presented the higher antioxidant activities

Table 3-27 Total phenolic content, antioxidant activities and condensed tannin in banana peel at difference ripening stages.

Analysis	Cultivar	Stage		
		Green	Green to yellow	Yellow
Total phenolic content (μg gallic acid/100 g dry sample)	'Mali-ong'	$8490\pm113^{b/a}$	$6736\pm287^{a/b}$	$1796\pm20^{b/c}$
	'La-ong nam'	$8289\pm71^{b/a}$	$5868\pm22^{b/b}$	$1778\pm21^{b/c}$
	'Khao nuan'	$9350\pm56^{a/a}$	$6972\pm110^{a/b}$	$134\pm133^{a/c}$
FRAP assay (μM trolox/100 g dry sample)	'Mali-ong'	$4690\pm73^{b/a}$	$2744\pm78^{a/b}$	$1399\pm26^{b/c}$
	'La-ong nam'	$4637\pm192^{b/a}$	$2546\pm22^{b/b}$	$1377\pm27^{b/c}$
	'Khao nuan'	$5185\pm72^{a/a}$	$2765\pm32^{a/b}$	$1625\pm35^{a/c}$
FRAP assay (μM vitamin C/100 g dry sample)	'Mali-ong'	$5115\pm73^{b/a}$	$3242\pm78^{a/b}$	$1891\pm26^{b/c}$
	'La-ong nam'	$5139\pm192^{b/a}$	$3050\pm22^{b/b}$	$1858\pm27^{b/c}$
	'Khao nuan'	$5685\pm72^{a/a}$	$3273\pm32^{a/b}$	$2118\pm35^{a/c}$
DPPH / AA (%)	'Mali-ong'	$54.40\pm0.27^{b/a}$	$52.42\pm1.35^{b/b}$	$54.64\pm1.18^{b/ab}$
	'La-ong nam'	$56.23\pm0.45^{a/a}$	$56.29\pm0.42^{a/a}$	$55.92\pm0.95^{a/a}$
	'Khao nuan'	$43.03\pm1.21^{c/a}$	$43.88\pm0.19^{c/a}$	$44.08\pm1.63^{c/a}$
Tannin (mg catechin/ 100 g dry sample)	'Mali-ong'	$36.32\pm8.66^{b/a}$	$18.45\pm0.33^{b/b}$	$8.89\pm0.14^{b/c}$
	'La-ong nam'	$35.58\pm0.48^{b/a}$	$18.09\pm0.45^{b/b}$	$7.44\pm0.11^{c/c}$
	'Khao nuan'	$39.23\pm0.15^{a/a}$	$20.83\pm0.25^{a/b}$	$10.04\pm0.14^{a/c}$

Note: (1) The data showed the average value ± standard deviation

(2) Data with different superscript were significantly different ($p\leq0.05$)

(3) First superscript defined the significant different between species sample while the second superscript defined the significant different between banana period

(4) The lower EC50 value presented the higher antioxidant activities

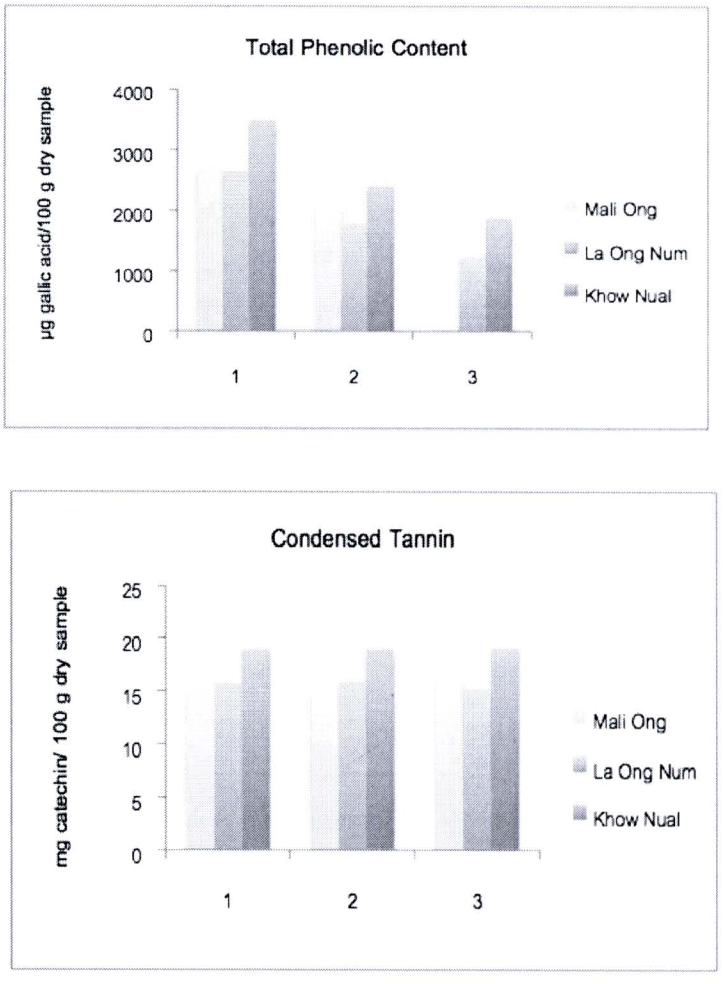
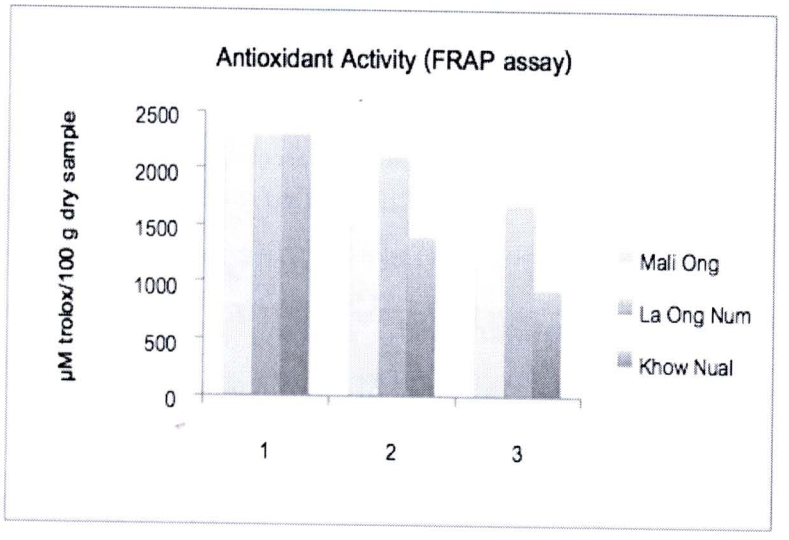


Figure 3-11: Total Phenolic Content and Condensed Tannin content in each species banana; 1 is non-process banana, 2 is banana flour, 3 is snack (100% banana flour)

Mura and Tanimura (2003) ศึกษาหาชนิดของสารฟีโนลิคกล้วยพบว่ามีสารฟีโนลิคชนิด cyanidin, delphinidin, และ catechin เป็นต้น ซึ่งพบว่า 60% ของสารฟีโนลิคที่พบในกล้วยเป็นสารที่ให้รสฝาด และเมื่อกล้วยสุกมากขึ้นจะทำให้สารเหล่านี้สลายตัวไปด้วยกระบวนการ polymerizing insolubilization ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สารฟีโนลิคและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระลดลง ส่วนในเปลือกกล้วยพบสารฟีโนลิคกลุ่ม gallocatechin (Someya, 2002), sterol, triterpenes (Knapp and Nicholas, 1969) และ carotenoids (Subagio *et al.*, 1996) และเมื่อกล้วยสุกมากขึ้นเปลือกกล้วยสุกยังพบสารฟีโนลิคกลุ่ม anthocyanins delphinidin และ cyanidin (Seymour, 1993) ในขณะที่ Gonzalez-Montelongo (2010) รายงานว่า สารฟีโนลิคที่พบในกล้วยและเปลือกกล้วยส่วนใหญ่คือ catecholamines, L-dopa และ dopamine ซึ่งจะสลายตัวได้ด้วยความร้อน



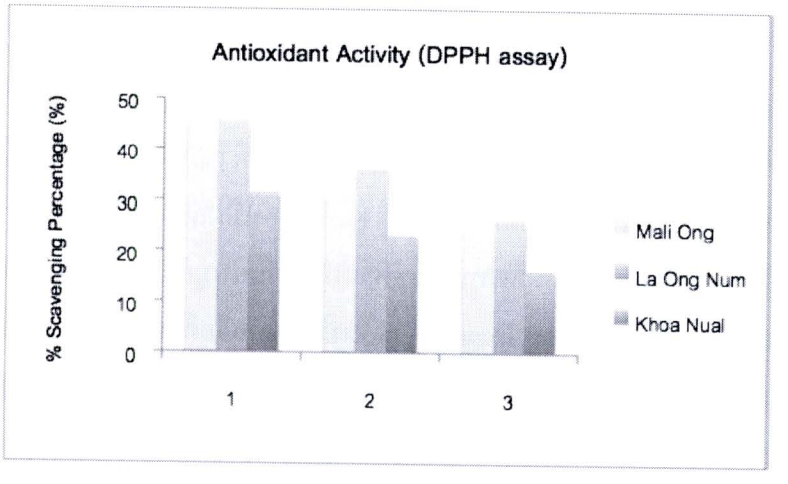


Figure 3-12 Antioxidant activity from FRAP assay and DPPH assay in each species banana; 1 is non-process banana, 2 is banana flour, 3 is snack (100% banana flour)

สารฟีโนลิคในผักและผลไม้มักสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน ดังนั้นกระบวนการความร้อนในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารใดๆ ย่อมมีผลต่อสารฟีโนลิคและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ จากผลการทดลอง (Figure 3-11 และ Figure 3-12) แสดงให้เห็นว่า เมื่อเนื้อกล้วยดิบผ่านกระบวนการความร้อน ปริมาณสารฟีโนลิค และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างจากทุกพันธุ์ลดลง สารฟีโนลิคนั้นสลายตัวได้ด้วยหลายสาเหตุเช่น กระบวนการทำงานของเอ็นไซม์อย่าง polyphenol peroxidase ที่เกิดในกระบวนการ browning reaction นอกจากนี้ แสง และความร้อนยังเป็นสาเหตุที่สำคัญในการสลายตัวของสารกลุ่มฟีโนลิค แต่ในขณะที่สารอื่นสลายตัวลดลง สาร condensed tannin จากการทดลองกลับไม่ลดลง จึงอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการความร้อนที่ใช้ในการทำแป้งกล้วย และกระบวน extrusion ในกระบวนการผลิต snack ไม่มีผลทำให้ปริมาณ condensed tannin ในตัวอย่างกล้วยลดลง ซึ่งสาร tannin

นั้นก็เป็นสารฟีโนลิคกลุ่มหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน ทั้งนี้หากต้องการเพิ่มความคงตัวให้กับสารฟีโนลิคและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง อาจเติมสารบางชนิดเพื่อป้องกันและลดการสลายตัวของสารฟีโนลิค เช่น ascorbic acid, ascorbyl pamitate หรือ phosphoric acid เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กล้วยน้ำว้าเป็นแหล่งฟีโนลิคที่สำคัญ ซึ่งมีปริมาณสารฟีโนลิคในเนื้อกล้วยสูง 1,096-2,699 μg gallic acid/100 g dry sample และมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay ประมาณ 473-2,304 μM trolox/100 g dry sample หรือ μM vitamin C/100 g dry sample มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วย DPPH assay ประมาณ 30.82-46.36 % (scavenging percentage) มากไปกว่านั้นสารสำคัญและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในเปลือกกล้วยมีมากกว่าในเนื้อกล้วย 2-3 เท่า การนำกล้วยน้ำว้ามาประยุกต์ใช้และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารฟีโนลิคสูงที่สุดควรเลือกกล้วยน้ำว้าดิบพันธุ์ละอองน้ำมาพัฒนา แต่ทั้งนี้กระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนมีผลทำให้ปริมาณสารฟีโนลิคและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระลดลง เพื่อคงคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ หรือลดอัตราการสลายตัวของสารฟีโนลิค อาจทำได้ด้วยการเติม ascorbic acid เป็นต้น หรือศึกษาหากระบวนการสกัดสารสำคัญจากเปลือกกล้วยแล้วนำมาเติมในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งอาจลดอัตราเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่ออย่างโรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูงได้

บรรณานุกรม

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ เพลินใจ ตังคณะกุล จุฬาลักษณ์ จารุนุช วรรณดี สุทธินรากร พยอม อัตถวิบูลย์กุล นิพัฒน์ ยิ้มสงวน วันชัย วรวัฒนเมธีกุล และณัฐธร อินทวิวัฒน์. 2550. ขนมทางเลือกเพื่อสุขภาพ : เทคโนโลยีการผลิตและต้นแบบผลิตภัณฑ์. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพมหานคร. 110 หน้า.

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ 2551. ขนม รอบๆ ตัวเด็ก: บริโภคเท่าใดจึงพอดี. **อาหาร** 38 (1): 20-29.

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ. 2551. **เรื่อง กล้วย กล้วย เพื่อสุขภาพที่ดี.** หนังสือวิชาการ ครบรอบ 40 ปี สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร หน้า 106 - 111

สุวัฒน์ อัศวไชยชาญ และ ชนันสิริ มากสัมพันธ์. 2007. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ปลาตะเพียน ในนาม บริษัทวิริยะธุรกิจ จำกัด. 24 หน้า.

คณะอนุกรรมการส่งเสริมการพัฒนาประชาธิปไตย สำนักงานเสริมสร้างเอกลักษณ์ของชาติ. 2534. **กล้วย** เพื่อนสนิทของคนไทย. 69 หน้า.

American Association of Cereal Chemists. 2000. **Amylose Content of Milled Rice.** AACC Method 61-03. p.1-4.

Alexander, R.J. 1995. Resistant starch -New ingredient for the food industry. **Cereal Food World** 40 (6): 455, 458.

Brand-Williams, Cuvelier, M. E., and Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 28: 25-30.

Brown, R.A., Hsieh, Y. C and Court, J.L. 1992. Process for making multi-textured snack chips. US. Patent No. 5,110,613.

Champagne, E.T. 1996. Rice starch composition and characteristics. **Cereal Foods World** 41: 833-838.

Chavan, U., F. Shahidi, et al. (2001). "Extraction of condensed tannins from beach pea (Lathyrus maritimus L.) as affected by different solvents." **Food Chemistry 75**: 509-512.

Croghan, M. 2004. Resistant starch –a better for you carbohydrate. Proceedings for Food Ingredients Asia Conference: Consumer awareness on Healthy and functional ingredients. September 16-17. Bangkok.

Cui, R. and O.G. Oates. 1999. The effect of amylose-lipid complex formation on enzyme susceptibility of sago starch. **Food Chem.** 65: 417-425.

Deepa, N., Kaur, C., Singh, B. and Kapoor, H. C. 2006. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. **J. Food Comp. Anal.** 19:572-578.

Dolores, M. and Villagran, M. 2001. Potato-based dough composition and chips made there from. US. Patent No. 6,177,116.

Englyst, H.N., S.M. Kingman and J.H. Cummings. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition** 46(2): 33-55.

Englyst, H.N., J. veenstra and G.J. Hudson. 1996. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential in vitro predictor of the glycaemic response. **British J. of Nutrition** 75: 327-337.

Gamlath, S. 2008. Impact of ripening stages of banana flour on the quality of extruded products. **Int. J. of Food Sci. and Technol.** 43: 1541-1548.

Garcia Alonso, A., F. Saura Calixto and J. A. Delcour. 1999. Influence of botanical source and processing on formation of resistant starch type III. **Cereal Chem**. 75 (6): 802-804.

Goni, I., A.G. Alonso and F.S. Calixto. 1997. A Starch hydrolysis procedure to estimate Glycemic Index. **Nutrition Research**. 17(3): 427-437.

Goni, I., L. Gracia-Diz, E. Manas and F.Saura-Calixto. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products.. **Food Chem**. 56: 333-337.

Gonzalez-Soto, R.A., L. Sanchez-Hernandez, J. Solorza- Feria, C. Nunez-Santiago, E. Flores-Huicoghea and L.A. Bello-Perez. 2006. Resistant starch production from non-conventional starch sources by extrusion. **Food Sci. Tech. Int.** 12 (1): 5-11.

González-Montelongo, R., Gloria Lobo, M., González, M. 2010. Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. **Food Chem.** 119: 1030-1039.

Grant, L.A. 1998. Effects of starch isolation, drying and grinding techniques on its gelatinization and retrogradation properties. **Cereal Chem.** 75(5): 590-694.

Hu, P., H. Zhao, Z. Duan, Z.L.D. Wu. 2004. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. **J. of Cereal Sci.** 40: 231-237.

Jenkins, D.J.A., D.M. Thomas, M.S. Wolever, M.Sc., R.H. Taylor, M.R.C.P., Helen Barker, B.Sc., S.R.D., Hashmein fielden, S.R.N., Janet M. Baldwin, M.R.C.P., David V. Goff, M. Biol.

1981. Glycemic index of food: a physiological basis for carbohydrate exchange. **The Am. J. Clin. Nutri.** 34: 362-366.

Jiang, H., Ji, B., Liang, J., Zhou, F., Yang, Z. and Zhang, H. 2006. Comparison on the antioxidant capacity of selected fruits and vegetables and their separations. **Chem. Nat. Comp.** 42: 410-414.

Juscelino, T., C. Melito, E. Herrera, A. Rascon and E. Perez. 2002. Resistant starch formation does not parallel syneresis tendency in different starch gels. **Food Chem.** 76: 455-459.

Knapp, F. F., and Nicholas, H. J. 1969. Sterols and triterpenes of banana peel. **Phytochemistry** 8(1): 207–214.

Liu, H., L. Ramsden and H. Corke. 1997. Physical properties and enzymatic digestibility of acetylated ae, wx and normal maize starch. **Carbohydr. Polym.** 34: 283-289.

Lim, Y.Y., Lim, T.T., Tee and J.J. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. **Food Chem.** 103: 1003-1008.

Mendez, C.D.M.V., Forster, M.P., Rodriguez-Delgado, M.A. and Rodriguez-Rodriguez, E.M. 2003. Content of free phenolic compounds in bananas from Tenerife (Canary Islands) and Ecuador. **Eur. Food Res. and Technol.** 217(4): 287-290.

Mura, K. and Tanimura, W. 2003. Change of polyphenol compounds in banana pulp during ripening. **Food Preservation Science** 29: 349-351.

Ohr, M.L. 2004. Fortifying with fiber. **Food Technology** 58 (2): 71 - 75.

Osorio-Diaz, P., L.A. Bello-Perez, E. Agama-Acevedo, A. Vargas-Torres, J. Tovar and O. Paredes-Lopez. 2002. In vitro digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus valgaris* L.). **Food Chem**. 78: 333-337.

Ovando-Martinez, M., Sayago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E., Goni, I. and Bello-Perez, L.A. 2009. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chem.** 113(1): 121-126.

Patthamakanokporn, O. (2004). Changes of antioxidant acitivity and total phenolic compounds during storage of selected fruits and their juices. Nutrition. Bangkok, Mahidol University. **Master degree**.

Pérez-Jiménez, J., and Saura-Calixto, F. 2006. Effect of solvent and certain food constituents on different antioxidant capacity assays. **Food Res. Int.** 39: 791-800.

Rendon-Villalobos, R., L.A. Bello-Perez, P. Osorio-Diaz, J. Tovar and O. Paredes-Lopez. 2002. Effect of storage time on in vitro digestibility and resistant starch content of nextamal, masa and tortilla. **Cereal Chem.** 79(3): 340-344.

Rosario, S. and J. Arcot. 2000. Effect of domestic processing methods on the starch, non-starch polysaccharides and in vitro starch and protein digestibility of three varieties of rice with varying levels of amylose. **Food Chem.** 70: 107-111.

Sagum R. and J.Arcot. 2000. Effect of domestic processing methods on the starch , non-starch polysaccharides and in vitro starch and protein digestibility of three varieties of rice with varying levels of amylase. **Food Chem.** 70 (1): 107-111.

Singh, U., M.S. Kherdekar and R. Jambunathan. 1982. Studies on Desi and Kabuli Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars. The Levels of Amylase Inhibitors, Levels of Oligosaccharides and In Vitro Starch Digestibility. **J. of Food Sci.** 47: 510-512.

Seymour, G. B. 1993. **Banana.** *In* G. Seymour, J. Taylor, and G. Tucker (Eds.). Biochemistry of fruit ripening . London: Chapman and Hall. p 93-98.

Someya, S., Yoshiki, Y. and Okubo, K. 2002. Antioxidant compounds from bananas *(Musa cavendish)*. **Food Chem.** 79(3): 351-354.

Sriroth, K., and K. Piyachomkwan. 2003. **Starch Technology.** 2 nd ed. Kasetsart University Press, Bangkok. 292 p.

Stratil, P., Klejdus, B. and Kuban, V. 2006. Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables-evaluation of spectrophotometric methods. **J. Agric. Food Chem.** 54: 607-616.

Subagio, A., Morita, N., and Sawada, S. 1996. Carotenoids and their fatty-acid esters in banana peel. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology** 42(6): 553–566.

Succo, J. 1970. Potato chip process. U.S. Patent No. 3,493,390.

Tongdang, T. and T. Saasagul. 2005. Some properties of banana starches extracted from two varieties. Proceedings of Starch Update 2005: The 3rd Conference on Starch Technology. 4-5 November, Bangkok. Thailand.

Tribess,T.B., Hernandez-Uribe, J.P., Mendez-Montealvo, M.G.C., Menezes, E.W., Bello-Perez, L.A. and Tadini, C.C. 2009. Thermal properties and resistant starch content of green banana flour *(Musa cavendishii)* produced at different drying conditions. **LWT-Food Science and Technology**. 42(5): 1022-1025.

Vatanasuchart, N., B. Niyomvit and K. Wongkrajang. 2009. Resistant starch contents and the *vitro* starch digestibility of Thai starchy Foods. **Kasetsart J.** (Nat. Sci.) 43: 178-186

Wang, J., Jin, Z. and Yuan, X. 2007. Preparation of resistant starch from starch-guar gum extrudates and their properties. **Food Chem.** 101: 20-25.

Waterhouse, A.L. 2005. In Wrolstad R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D. and Sporns, P. (ed.), Handbook of Food Analytical Chemistry., pp. 463-466.

Wong, C.W., S.K.S. Muhammad, M.H. Dzulkifly, N. Saari and H.M. Ghazali. 2005. Enzymatic production of linear long-chain dextrin from sago (*Metroxylon sagu*) starch. **Food Chem.** 100 (2): 774-780.

Wursch, P. 1999. Resistant Starch, pp. 385-394. *In* S.S. Cho, P. Prosky and M. Dreher, eds. Complex Carbohydrates in Foods. Marcel Dekker, Inc. New York.

ภาคผนวก

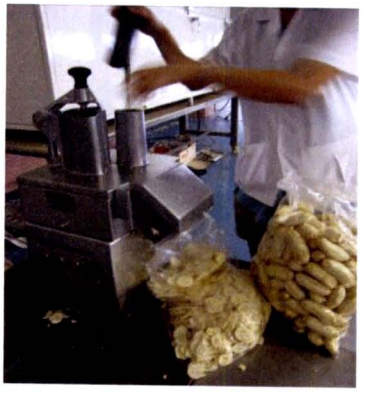
ภาคผนวก1

การเตรียมตัวอย่างกล้วย

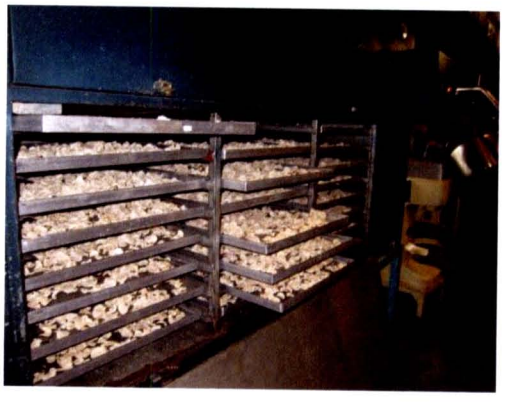
1. กล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์

มะลิอ่อง ละอองน้ำ ขาวนวล

2. การสุ่มตัวอย่างเนื้อกล้วย 3 ระยะ : ดิบ ห่าม และ สุก



2. การเตรียมตัวอย่างแป้งกล้วย

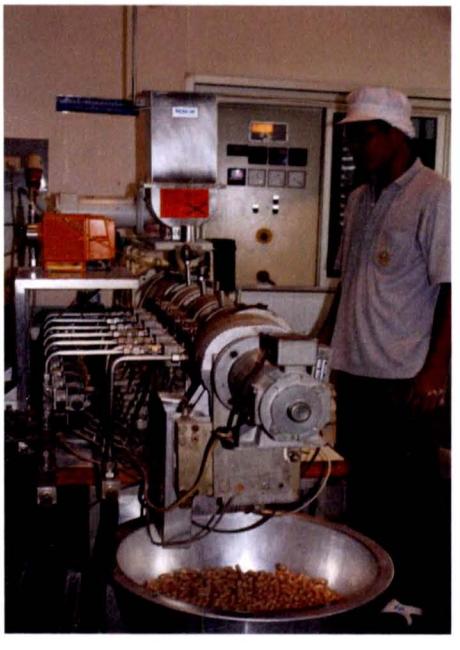


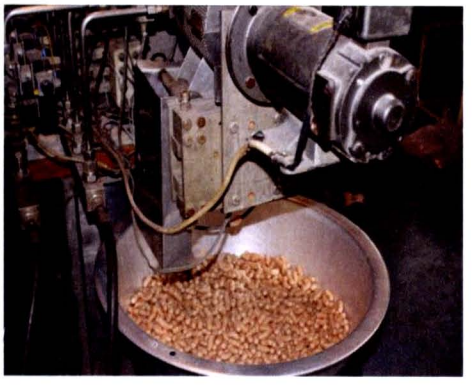
ภาคผนวก 2

สภาวะเครื่อง Twin Screw Extruder เพื่อการผลิตสแน็คกล้วย (banana snacks)

1. Raw materials of Banana Flour and rice flour

2. Extrusion process for banana snacks





3. Banana snacks of 4 formulas

พันธุ์มะลิอ่อง

พันธุ์ละอองน้ำ

4. กระบวนการผลิตอาหารว่างจากแป้งกล้วยน้ำว้า ด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder

เตรียมวัตถุดับ แป้งกล้วยน้ำว้า และแป้งข้าวเจ้า

อัตราส่วน 40: 60, 60:40, 80:20 และ100:0

⇓

ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Telegram Bear Mixer

⇓

เครื่อง Twin Screw Extruder

ปรับสภาวะการผลิตให้เหมาะสม

(ความชื้น อุณหภูมิ อัตราการป้อน และความเร็วรอบของสกรู ฯลฯ)

⇓

ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกพอง

มีรูปร่างและขนาดตามรูปแบบของหน้าแปลน

⇓

เข้าตู้อบ

(อุณหภูมิ 80 °ซ 15 นาที)

เพื่อลดอุณหภูมิลงให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ

⇓

เคลือบด้วยน้ำเคลือบรสช็อคโกแลต

⇓

ผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งกล้วยน้ำว้ารสช็อคโกแลต

5. การเดินเครื่อง เครื่องมือ และอุปกรณ์

1.1 เครื่อง Twin Screw Extruder (Hermann Berstoff Laboratory Co-rotating Twin Screw Extruder รุ่น ZE 25x33D, Germany)

- เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าแปลนรูปวงกลม 3.5 มิลลิเมตร
- ใบมีดจำนวน 2 ใบ ความเร็วใบมีด 35 Hz

1.2 เครื่องบด Fitz Mill (Comminutor serial # 1871, USA)

1.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

6. สภาวะการเดินเครื่อง

Sample	ความชื้น RM (%)	Feed Rate (kg/hr)	Feed Moisture (kg/hr)	Screw Speed (rpm)	Extrusion Temperature (°C)							Melt Temp. (°C)	Melt Pressure (psi)
					H2	H3	H4	H5	H6	H7	Die(9)		
แป้งกล้วย 40%	9.09	9.65	3.85	350	45	55	105	135	145	130	120	172	30
แป้งกล้วย 60%	8.40	8.84	3.62	350	45	55	106	137	145	131	122	174	30
แป้งกล้วย 80%	7.54	6.86	2.90	350	45	55	105	136	145	130	120	174	30
แป้งกล้วย 100%	6.59	6.07	2.65	350	45	55	105	134	143	129	120	173	28

ภาคผนวก 3

ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์

บิสกิตกล้วย (banana biscuits) โดยกระบวนการ baking

ขั้นตอนการผลิต Banana biscuits

แช่ปลายข้าวเจ้าหัก พันธุ์หอมมะลิ นาน 8 ชม.

↓

โม่เป็นผงละเอียด (milling)

↓

ผสมแป้งข้าวเจ้ากับแป้งกล้วยน้ำว้า อัตราส่วน 45 และ 60 % โดยน้ำหนักแห้ง รวม 35 กก. (mixing)

↓

เติมส่วนผสมอื่น เช่น แป้งมัน แป้งมันฝรั่ง เกลือ และน้ำ (8-12 กก.)

↓

นึ่งในหม้อความดัน 2 bars (gelatinization) นาน 12.5 นาที

↓

ทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในรางน้ำที่เชื่อมต่อกับหม้อนวดแป้งด้วยระบบเกลียวหมุน
นวดแป้งที่สุกแล้ว 4 รอบ สลับกับแช่น้ำเย็น

↓

แป้งโดที่ได้มีลักษณะเหนียวนุ่ม และสามารถยืดเป็นแผ่นบางไม่ขาดออกจากกัน (elastic)

↓

รีดผ่านลูกกลิ้ง และพับแผ่นแป้งเป็นชั้นๆ เพื่อไล่อากาศให้หมด (sheeting)

↓

ลำเลียงเข้าระบบขึ้นรูปทรง (molding) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นตัวนำพา
เพื่อให้ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมปลายมนหรือทรงกลมตามชอบ

↓

อบแห้ง ครั้งที่ 1 (first drying) อุณหภูมิ 90-85-90°ซ นาน 2.10 ชม.
ลดความชื้นเหลือ 13%

↓

บ่ม 24 ชม. เพื่อให้ความชื้นกระจายทั่วแผ่น ในห้องบ่มอุณหภูมิ 25 °ซ (air condition room)

↓

อบแห้ง ครั้งที่ 2 (second drying) อุณหภูมิ 80°ซ นาน 2 ชม.
ลดความชื้นเหลือ 9.2 % (ต่ำกว่า 10 %)

↓

อบ (baking) อุณหภูมิสูง 200-300°ซ นานประมาณ 1- 2 นาที

↓

ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

↓

Spray น้ำมันปาล์ม (สีขาวใสอย่างดี) ในถังหมุน ก่อนลำเลียงเข้าสู่ถังหมุนสำหรับการเคลือบปรุงกลิ่นรส

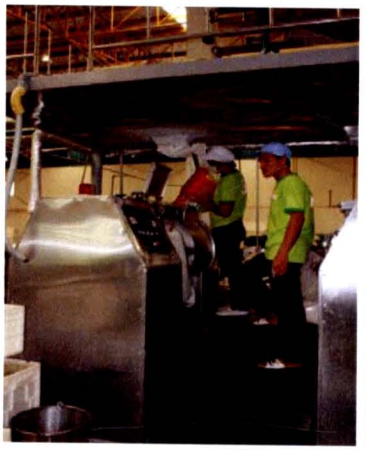
↓

บรรจุ

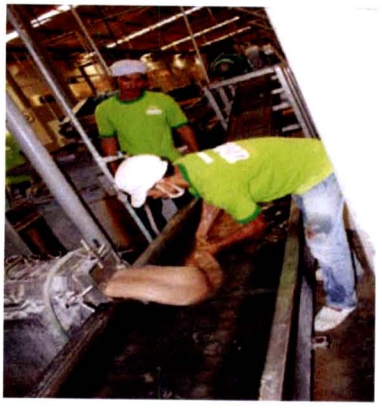
Rice cracker Factory

Rice Milling

Weighing raw materials

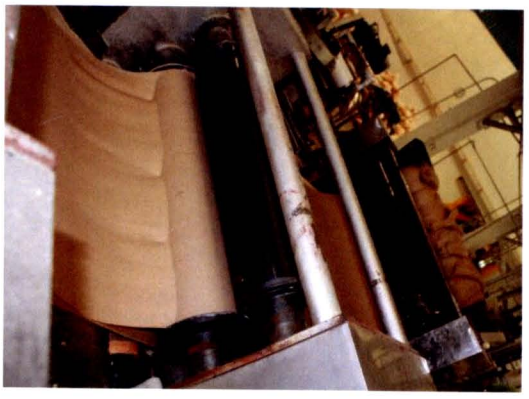


Mixing the ingredients



Steaming and cooling

Kneading

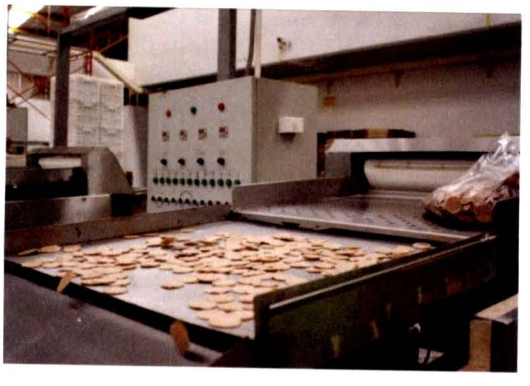


Sheeting

Molding

First drying

Second drying



Flash drying

Chocolate coating

ภาคผนวก 4

วิธีวิเคราะห์ (Methods of analysis)

1. **Determinations of Resistant Starch and Total Starch** (using assay kits from Megazyme)

Reagents

1. Bottle 1: Amyloglucosidase (12 mL, 3300 U/mL)
2. Bottle 2: Pancreatic α-amylase (Pancreatin, 10 g)
3. Bottle 3: GOPOD (Glucose oxidase plus peroxidase) reagent buffer.
4. Bottle 4: GOPOD Reagent Enzymes.
5. Bottle 5: D-Glucose standard solution (5 mL, 1.0 mg/mL)
6. Bottle 6: Resistant starch control (52 %, w/w)
7. **Sodium maleate buffer** (100 mM, pH 6.0)
8. **Sodium acetate buffer** (1.2 M, pH 3.8), (100 mM, pH 4.5).
9. **Potassium hydroxide solution** (2 M).

Preparation of reagent solutions and suspensions

1. **Dilute AMG (300 U/mL)** : dilute 2 mL of concentrated AMG solution (bottle 1) to 22 mL with sodium maleate buffer (0.1 M, pH 6.0) and divide into 5 mL aliquots and store frozen in polypropylene containers.
2. **Pancreatic α-amylase containing dilute AMG (300 U/mL)** : immediately before use, suspend 1 g of the contents of bottle 2 (pancreatic α-amylase) in 100 mL of sodium maleate buffer (100 mM, pH 6.0) and stir for 5 min. Add 1.0 mL of **Dilute AMG (300 U/mL)** and mix well. Centrifuge at 1,500 *g* for 10 min, and carefully decant the supernatant solution. (Solution 2).
3. **GOPOD Reagent** : dilute the contents of bottle 3 (GOPOD Reagent Buffer) to 1 L with distilled water to give Solution 3. Immediately dissolve the contents of bottle 4 in 20 mL of Solution 3 and quantitatively transfer this to the bottle containing the remainder of Solution 3. Cover this bottle with aluminum foil to protect the enclosed reagent from light.
4. Use the contents of bottles 5 and 6 as supplied.
5. **Prepare reagent blank solutions** : mix 0.1 mL of 100 mM. sodium acetate buffer (pH 4.5) and 3.0 mL of GOPOD reagent.
6. **Prepare D-glucose standards** (inquadruplicate) : mix 0.1 mL of D-glucose

(1 mg/ml) and 3.0 mL of GOPOD reagent.

ASSAY PROCEDURE

(a) Hydrolysis and solubilisation of non-resistant starch.

1. Weigh a 100 mg sample directly into each screw cap tube (Corning culture tube; 16 x 125 mm) and gently tap the tube to ensure that the sample falls to the bottom.
2. Add 4.0 mL of pancreatic α-amylase (10 mg/ml) containing AMG (3 U/mL) (Solution 2) to each tube. Tightly cap the tubes.
3. Votex and incubate tubes horizontally in a shaking water bath at 37°C for **exactly 16 hr**.
4. Add 4.0 mL of ethanol (99 % v/v) with vigorous stirring on a vortex mixer.
5. Centrifuge the tubes at 1,500 *g* (approx. 3,000 rpm) for 10 min.
6. Carefully decant the supernatants into 100 mL volumetric flask and re-suspend the pellets in 2 mL of 50 % ethanol and vortex mixer. Add a further 6 mL of ethanol, mix the tubes andcentrifuge again at 1,500 *g* for 10 min.
7. Decant the supernatants and **repeat** this suspension and centrifugation step once more. Collected supernatants will be used for determination of the non- resistant starch.

(b) Measurement of Resistant Starch.

1. Add a magnetic stirrer bar (5 x 15 mm) and 2 mL of 2 M KOH to each tube and re-suspended the pellets (and dissolve the resistant starch) by stirring for approx. 20 min in an ice/water bath over a magnetic stirrer.
2. Add 8 mL of 1.2 M sodium acetate buffer (pH 3.8) to each tube with stirring on the magnetic stirrer. Immediately add 0.1 mL of AMG (solution 1; 3300 U/ml), mix well and place the tubes in a water bath at 50 °C for 30 min with intermittent mixing on a vortex mixer.
3. **For samples containing > 10 % RS content**; quantitatively transfer the contents of the tube to a 100 mL volumetric flask and adjust to 100 mL with distilled water and mix well. Centrifuge an aliquot of the solution at 1,500 *g* for 10 min.
4. **For samples containing < 10 % RS content;** directly centrifuge the tubes at 1,500 *g* for 10 min (no dilution). For such samples, the final volume in the tube is approximately 10.3 mL.

5. Transfer 0.1 mL aliquots (in duplicate) of either the diluted (step 3) or the undiluted (step 4) supernatants into glass test tubes (16 x 100 mm), add 3.0 mL of GOPOD reagent (solution 4) and incubate at 50 ^{O}C for 20 min.
6. Measure the absorbance of each solution at 510 nm against the reagent blank and calculate the content of resistant starch.

(c) Measurement of Non-Resistant (Solubilised) Starch.

1. Combine the supernatant solutions obtained on centrifugation of the initial incubation and adjust the volume to 100 mL with 100 mM sodium acetate buffer (pH 4.5) in a volumetric flask. Mix well.
2. Incubate 0.1 mL aliquots of this solution (in duplicate) with 10 μL of **dilute AMG solution** (300 U/mL) in 100 mM sodium maleate buffer (pH 6.0) for 20 min at 50°C.
3. Add 3.0 mL of GOPOD reagent (Solution 4) and incubate for a further 20 min at 50 ^{O}C.
4. Measure the absorbance at 510 nm against a reagent blank and calculate the content of non-resistant (solubilised) starch.

(d) Calculations

Calculate resistant starch, non-resistant (solubilised) starch and total starch content (%, on a dry weight basis) in test samples as follows:

Resistant Starch (g/100g sample)(samples containing > 10 % RS):

$= \Delta E \times F \times 100/0.1 \times 1/1000 \times 100/W \times 162/180$ $(= \Delta E \times F/W \times 90)$

Resistant Starch (g/100g sample)(samples containing < 10 % RS):

$= \Delta E \times F \times 10.3/0.1 \times 1/1000 \times 100/W \times 162/180$ $(= \Delta E \times F/W \times 9.27)$

Non-Resistant (Solubilised) Starch (g/100g sample):

$= \Delta E \times F \times 100/0.1 \times 1/1000 \times 100/W \times 162/180$ $(= \Delta E \times F/W \times 90)$

Total Starch = Resistant Starch + Non-Resistant Starch.

where:

ΔE = absorbance obtained from sample read against the reagent blank.

F = 100 (μg of D-glucose) divided by the GOPOD absorbance for this 100 μg of D-glucose.

W = dry weight of sample analyzed ["as is" weight x (100-moisture content)/100].

162/180 = factor to convert from free D-glucose to anhydro-D-glucose as occurs in starch.

10.3/0.1 = volume correction (0.1 mL taken from 10.3 mL) for samples containing 0-10 % RS.

2. Colorimetric Determination of Amylose Contents (AACC, 2000)

Reagents

- Amylose, Type III from potato (Sigma No. A-0512, Japan)
- Amylopectin, from potato (Sigma No. A-8515, Japan)
- Ethanol, 95%
- Sodium hydroxide, 1.0 N
- Sodium hydroxide, 0.09 N
- Acetic acid, 1.0 N
- Iodine solution, 0.2% I_2 and 2% KI in distilled water

Procedure for Sample Determination

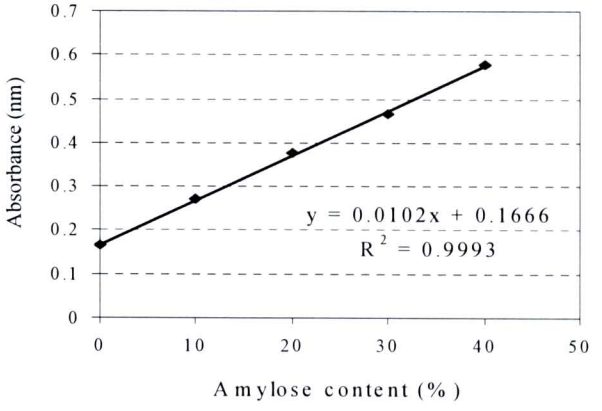
1. Weigh duplicate 100 mg (db) starch samples and quantitatively transfer to 100 ml volumetric flasks.
2. Add 1 ml of 95% ethanol, carefully washing down any sample adhering to side of the flasks.
3. Add 9 ml 1 N sodium hydroxide to each sample and heat in a boiling water for 10 min and cool to room temperature.
4. Make the solutions to 100 ml volume with distilled water and votex vigorously and obtain 1 mg/ml solution. Let stand for at least 2 hours before continuing with the next steps.
5. Pipette 5 ml of the sample solutions (or else each of standard mixtures of amylose and amylopectin prepared for working solutions) into 100 ml volumetric flasks, containing about 50 ml distilled water.
6. Add 1.0 ml N acetic acid and mix.
7. Add 2 ml iodine solution.
8. Make up to 100 ml volume with distilled water, mix and let stand for 20 min.
9. Read absorbance at 620 nm. For a blank, prepare using 5 ml 0.09 N NaOH, instead of the sample solution in the step 4.3.5.
10. Plot absorbance against amylose concentration of working solutions for a standard curve.

Procedure for Preparation for Standard Curve

1. Weigh 100 mg of standard mixtures of amylose and amylopectin into volumetric flasks following the Table.
2. Add 1 ml of 95% ethanol add 9 ml 1 N sodium hydroxide following the same procedure of step 2 to 4
3. Pipette 5 ml aliquots of each mixture of the working solutions in 100 ml volumetric flasks, each containing about 50 ml of distilled water.
4. Repeat steps 6 to 9.
5. Plot absorbance at 620 nm against the assigned amylose content for the standard crve as shown in Appendix Figure 2.
6. Read % amylose values of the tested samples from the standard curve.

Standard working solutions for amylose determination

Amylose content (% dry weight basis)	Volume ratio of standard working solutions (ml/100ml)	
	Amylose (g)	Amylopection (g)
0	0	0.100
10	0.010	0.090
20	0.020	0.080
30	0.040	0.060
50	0.050	0.050
60	0.060	0.040



Standard curve for amylose determination.

3. Method for Determination of *In vitro* Kinetic of Starch Digestion

This is an improved method used to measure the rate of starch hydrolysis in different times, adapted from Goni Isabel, Garcia-Alonso Alejandra and Saura-Calixto, Fulgencio (1997).

Sample preparation

All samples (50 mg) were boiled with water (5 ml) in capped centrifuged tubes and cook for 15 min.

Procedure for measurement of *in vitro* starch digestibility

1. 50 mg food portion prepared as explained above.
2. Add 10 ml of HCl-KCl buffer, pH 1.5 , pH adjusted.
3. Add 0.2 ml of solution containing 1 g of pepsin in 10 ml HCl-KCl buffer, incubate at 40 °C for one hour in a shaking water bath.
4. To each sample, bring volume to 25 ml with "Tris-meleate buffer, pH 6.9"
5. Add 5 ml of a solution of alpha-amylase in Tris-meleate containing 3.3 IU.
6. Incubate at 37 °C in a shaking water bath for 30 min to 180 min.
7. 1 ml aliquote from each tube taken every 30 min. from 0 to 3 hours (7 time points).
8. Each tube placed in 100°C water bath, for 5 min. to inactivate the enzyme action, then refrigerated until the end of incubation time.

9. 3 ml of 0.4M sodium acetate buffer, pH 4.75 was added to each tube.
10. 60 µl amyloglucosidase was added to hydrolyze the digested starch remains into glucose for 45 min. at 60°C in a shaking water bath.
11. Centrifuge (15 min. 4500g), collect supernatant and save it in a volumetric flask. Volume adjusted to 10-100 ml with distilled water.
12. Duplicate aliquots of 0.5 ml used to measure for glucose content by the glucose oxidase-peroxidase kit.

* The digestible starch (DS) was calculated as the percentage of sample weight and rate of starch digestion for 30, 60, 90, 120, 150 and 180 minutes was determined

4. Glucose Determination using Assay Kit

Introduction

Enzymes, as analytical tools, have found widespread use in the food, biochemical, and pharmaceutical industry. Enzymatic methods are specific, reproducible, sensitive, rapid, and therefore, ideal for analytical purposes. Due to the high specificity and sensitivity of enzymes, quantitative assays may be done on crude materials with little or no sample preparation. This kit is for the quantitative, enzymatic determination of glucose in food and other materials.

Principle

$$\text{D-Glucose} + H_2O + O_2 \xrightarrow{\text{Glucose Oxidase}} \text{D-Gluconic Acid} + H_2O_2$$

$$H_2O_2 + \text{Reduced o-Dianisidine} \xrightarrow{\text{Peroxidase}} \text{Oxidized o-Dianisidine}$$

(colorless) (brown)

$$\text{Oxidized o-Dianisidine} \xrightarrow{H_2SO_4} \text{Oxidized o-Dianisidine}$$

(brown) (pink)

Glucose is oxidized to gluconic acid and hydrogen peroxide by glucose oxidase. Hydrogen peroxide reacts with o-dianisidine in the presence of peroxidase to form a colored product. Oxidized o-dianisidine reacts with sulfuric acid to form a more stable colored product. The intensity of the pink color measured at 540 nm is proportional to the original glucose concentration.

Reagents

1. Glucose Oxidase/Peroxidase Reagent (Product Code G 3660)

Store the unopened kit reagent at 2-8 °C. Each capsule contains 500 units of glucose oxidase (*Aspergillus niger*), 100 purpurogallin units of peroxidase (horseradish) and buffer salts. Dissolve the contents of the capsule in an amber bottle with 39.2 ml of deionized water. The solution is stable up to one month at 2-8 °C and for at least 6 months frozen at-20 °C. Discard if turbidity develops.

2. o-Dianisidine Reagent (Product Code D 2679)

Store the unopened kit reagent at 2-8 °C. Minimize exposure to light. The preweighed vial contains 5 mg of o-dianisidine dihydrochloride. Reconstitute the contents of the o-dianisidine vial with 1.0 ml of deionized water lnvert the vial several times to dissolve. Avoid exposing the reagent to light. Solution is stable for 3 months at 2-8 °C.

3. Assay Reagent

Add 0.8 ml of the o-Dianisidine Reagent to the amber bottle containing the 39.2 ml of Glucose Oxidase/Peroxidase Reagent. Invert bottle several times to mix. Minimize exposure to light. Solution is stable up to 1 month at 2-8 °C. Discard if turbidity develops or color forms.

4. Glucose Standard Solution (Product Code G 3285)

D-Glucose, 1.0 mg/ml in 0.1% benzoic acid. This standard is traceable to an NIST standard and is supplied ready-to-use. It is stable at 2-8 °C for at least six months. Discard if turbidity develops.

Procedure for Sample Preparation

Dilute sample with deionized water to approximately 20-80 µg glucose/ml. Filter or deproteinize solution if necessary to clarify. Decolorize solutions that are strongly colored and that have a low glucose concentration. Degas carbonated or fermented products.

Determination

Glucose Concentration from Standard Curve

1. Pipette the following solutions into the appropriately marked test tubes:

Tube	Water (ml)	Sample (ml)	Glucose Standard (ml)
Reagent Blank	1.00	-	-
Standard # 1	0.98	-	0.02
Standard # 2	0.96	-	0.04
Standard # 3	0.94	-	0.06
Standard # 4	0.92	-	0.08
Test	-	1.00	-

2. At zero time, start the reaction by adding 2.0 ml of Assay Reagent to the first tube and mixing. Allow a 40 second interval between additions of Assay Reagent to each subsequent tube.
3. Let each tube react exactly 30 minutes at 37 °C. Stop the reaction at 40 second intervals by adding 2.0 ml of 12 N H_2SO_4 into each tube. Carefully mix each tube thoroughly.
4. Measure the absorbance of each tube against the reagent blank at 540 nm.

Calculations

For standards, plot Absorbance at 540 nm (y axis) vs mg of glucose (x axis). If the standard curve is not linear, results will be inaccurate. Repeat assay.

For test sample, determine mg glucose from standard curve. Multiply the mg glucose determined above by the dilution factor made in sample preparation.

5. Total phenolics determination, Folin-Ciocalteu assay (Waterhouse, 2005)

1. Preparation of gallic acid standard solution

a) To prepare a stock solution, 0.500g of gallic acid (Fluka, Spain) was dissolved in 10 ml of ethanol (analytical reagent grade, VWR Prolabo, France) and diluted to 100 ml with water in a volumetric flask.

b) A 0, 1, 2, 3, 5 and 10 ml aliquot of gallic acid stock solution was added to a volumetric flask and diluted to 100 ml with water. The final concentration of gallic acid will be 0, 50, 100, 150, 250, and 500 mg/l.

2. Preparation sodium carbonate solution

The 200 g of sodium carbonate (analytical reagent grade, Ajax Finechem, Australia) was dissolved in 800 ml of water and boiled. After the solution was cooled down, a few crystals of sodium carbonate was added. After 24 hours, the solution was filtered with Whatman no. 1 filter paper and the volume of the solution was made up to 1000 ml in a volumetric flask.

3. Folin-Ciocalteu assays

1 ml of sample or standard solution was added to 100 ml volumetric flask and approximately 70 of ml water was added. 5 ml of Folin-Ciocalteu reagent (Carlo Erba, France) was added, then swirled to mixed and incubated 1-8 minutes at room temperature. 15 ml of sodium carbonate solution was subsequently added and made up the final volume with water to 100 ml. The solution was mixed and incubated at room temperature for 2 hours. The absorbance was measured by a spectrophotometer (Lambda 25 UV-VIS Spectrometer, Perkin Elmer instrument, USA) at 765 nm.

The standard curve was shown in Figure A.1

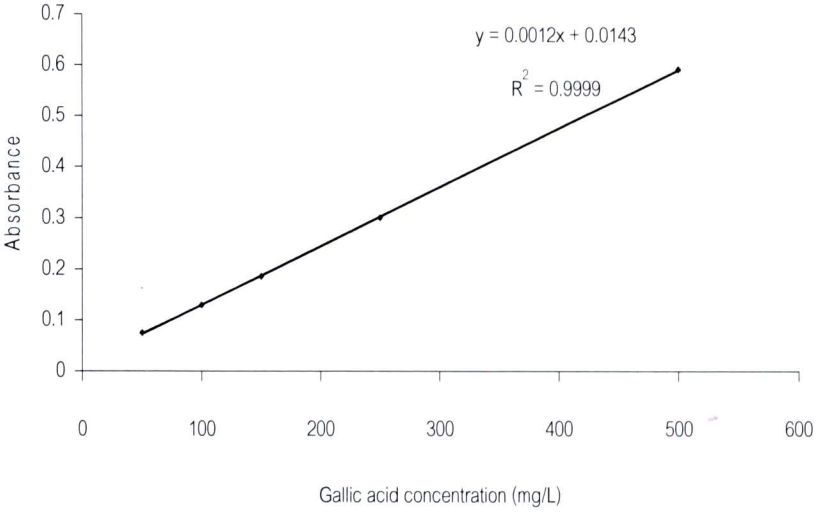


Figure A.1: Gallic acid standard curve for total phenolics determination

4. Calculation of total phenolic content

The amounts of total phenolics in crude extract were calculated using gallic acid standard curve. The value was expressed as μg gallic acid/ g flour.

6. FRAP assay (Benzi and Strain, 1996)

1. Preparation of trolox standard curve

To prepare a 10000 µM trolox solution, 2.5 g of trolox (Fluka, Denmark) was diluted with 100 ml of methanol (Fisher Scientific, UK) and mixed well. The serial dilution was prepared as listed in Table A.1. To prepare a 5700 µM ascorbic acid (vitamin C), 0.1 g of ascorbic acid (Fluka, Denmark) was diluted with 100 ml of water and mix well. The serial dilution was prepared as listed in Table A.2.

Table A.1: Preparation of standard trolox solution

Initial concentration (µM)	Trolox volume (ml)	Methanol volume (ml)	Final concentration (µM)
10000	5	5	5000
5000	5	5	2500
2500	5	5	1250
1250	5	5	625
625	4	2	417
417	4	2	278
278	4	2	185
185	4	2	123
123	4	2	82

Table A.1: Preparation of standard ascorbic acid solution

Initial concentration (µM)	Trolox volume (ml)	Methanol volume (ml)	Final concentration (µM)
5700	5	5	2850
2850	5	5	1425
1425	5	5	712
712	5	5	475
475	5	5	317
317	5	5	211
211	5	5	141
141	5	5	94

2. Solution preparation

a) Acetate buffer: three g of $CH_3COONa{\cdot}3H_2O$ (Fisher Scientific, UK) was added to 16 ml of CH_3COOH (Analytical reagent grade, J.T. Baker Neutrasorb, USA) and made volume up to 1000 ml of water in a volumetric flask.

b) Tripyridyltriazine (TPTZ) solution: a 0.312 g portion of TPTZ (Fluka, Switzerland) was added to 100 ml of 0.4 M HCl (Analytical reagent grade, J. T. Baker Neutrasorb, USA).

c) $FeCl_3$ solution: a 0.54 g portion of $FeCl_3$ (POCH S.A., Poland) was added to 100 ml of H_2O.

d) FRAP solution: a 25 ml aliquot of acetate buffer was added with 2.5 ml of ferric chloride solution and followed with 2.5 ml of TPTZ solution (the solution must be added in this order).

3. FRAP assay

FRAP solution was warmed at 37□C in a hot water bath (DT-1 Heto-Holten, Heto Lab Equipment, Japan). To prepare a standard curve, 50 µl of trolox or ascorbic acid solution was added to 950 µl of FRAP solution in a cuvette. However, for the analysis of crude extract, 10 µl of sample was added to 990 µl of FRAP solution in a cuvette. The mixture was held for 4 minutes at room temperature before measuring the absorbance. The color of the mixture was changed from golden brown to deep blue purple. The absorbance was measured at 593 nm. Acetate buffer was used as blank. The corrected absorbance was calculated as followed:

$$A_{corrected} = A_{final} - A_{initial}$$

Where: $A_{corrected}$ = corrected absorbance

A_{final} = absorbance of the sample after 4 minute holding time

$A_{initial}$ = absorbance of 1000 µl FRAP solution

The corrected absorbance of the samples were compared with the corrected absorbance in trolox and ascorbic acid standard curve. The standard curves being shown in Figure A.4 and A.5. The antioxidant activity was calculated as µmol trolox/ 100 g sample and µmol ascorbic acid / 100 g sample.

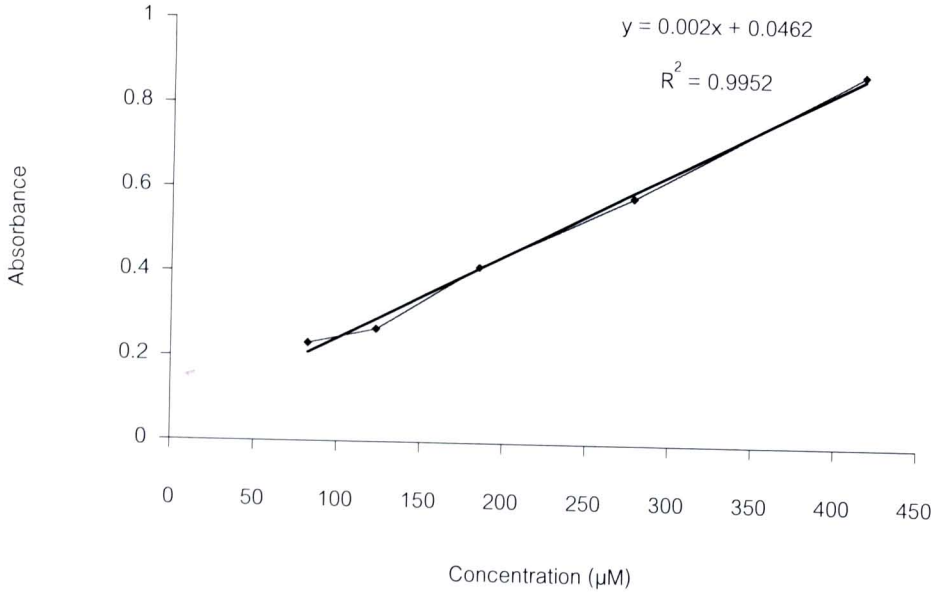


Figure A.4: Trolox standard curve for FRAP assay

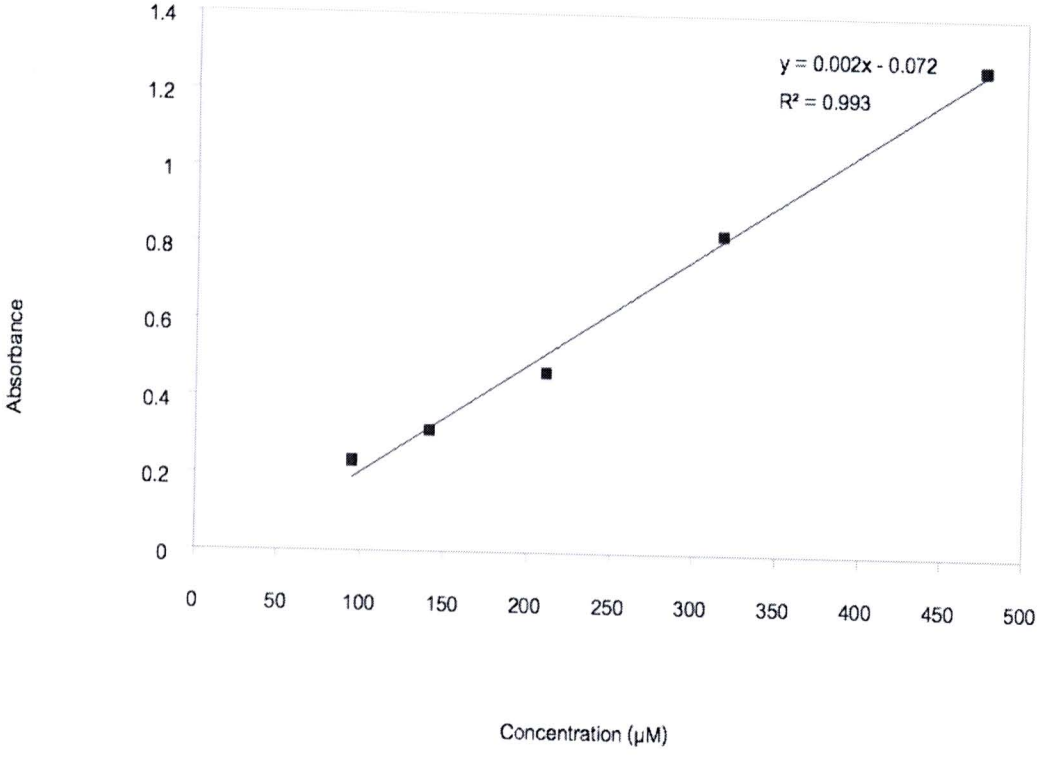


Figure A.5: ascorbic acid standard curve for FRAP assay

7. DPPH assay (Brand-Williams *et al.* 1995; Pérez-Jiménez and Saura-Calixto, 2005; Murakami *et al.*, 2004)

1. DPPH solution preparation

Twelve mg of 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) was dissolved in 100 ml of methanol to obtain the 3×10^{-4} M DPPH solution. The solution can be kept at 4 °C not more than 5 days. Note that the molecular weight of DPPH is 394.33 g/mol

2. DPPH assay

Nine-hundred and fifty µl of DPPH solution was mixed with 50 µl of crude extract in a cuvette (solution A) and held for 30 minutes at room temperature. The absorbance was then read at 515 nm. The deep blue color of DPPH solution was bleached to yellow color. The result of antioxidant activity express as scavenging percentage (%AA) which is efficiency of samples to scavenge free DPPH radical.

The scavenging percentage can be calculated by:

$$\%\ AA = ((A_0-A_t) / A_0) \times 100 \qquad \text{equation 1}$$

Where: AA = scavenging percentage

A_0 = control absorbance at zero time

A_t = extract absorbance at final time

8. Vanillin assay (Price *et al.*, 1978, Chavan *et al.*, 2001)

1. Vanillin reagent preparation

vanillin reagent must be prepared fresh daily by mixing 50 ml of 1% vanillin in methanol and 50 ml of 8% concentrated Hcl in methanol were added.

2. Vanillin assay

The condensed tannins were assayed colorimetrically method. One ml of methanolic crude extract and 5 ml of vanillin reagent were added and held for 20 minutes at 30 °C. The absorbance was then read at 500 nm. 5 ml of 4% concentrated Hcl in methanol was used as blank.

3. Calculation of condensed tannin

The amounts of tannin in crude extract were calculated using catechin standard curve. The value was expressed as mg catechin/ 100 g sample as Figure A.7.

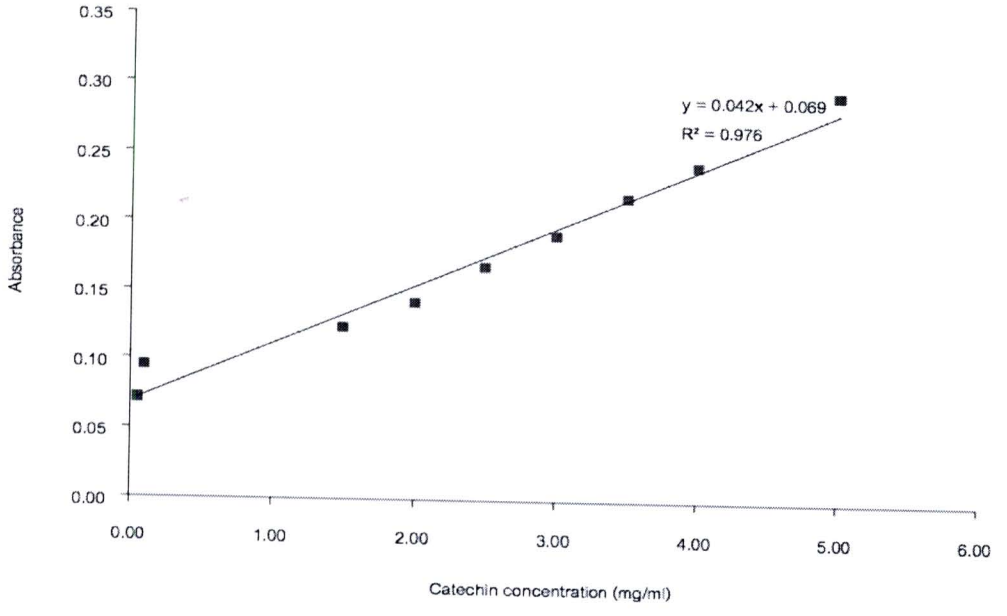


Figure A.7: Catechin standard curve of vanillin assay

ภาคผนวก 5

แบบประเมินผลการชิมโดยวิธีประสาทสัมผัส

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์_____.

ชื่อผู้ชิม_____ เพศ_____

วันที่_____ เวลา_____

หลักเกณฑ์การให้คะแนน

1. กรุณาชิมและพิจารณา **ลักษณะ**ตัวอย่าง(descriptive test) และใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ ตามข้อความที่ต้องการ
2. กรุณาชิมและพิจารณา ความชอบ (preference) ต่อลักษณะต่างๆรวมทั้ง ความชอบและการยอมรับโดยรวม (overall preference and acceptance) ด้วยการให้คะแนนแบบ 1-9 hedonic scale.

ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบปานกลาง	ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบมากที่สุด
9	8	7	6	5	4	3	2	1

สี (color)				
ลักษณะ/ตัวอย่าง				
น้ำตาลเข้มมาก	☐	☐	☐	☐
น้ำตาลเข้ม	☐	☐	☐	☐
น้ำตาล	☐	☐	☐	☐
น้ำตาลอ่อน	☐	☐	☐	☐
น้ำตาลอ่อนมาก	☐	☐	☐	☐
คะแนนความชอบ (1-9 hedonic)				

ความกรอบ (crispness)				
ลักษณะ/ตัวอย่าง				
มากที่สุด	☐	☐	☐	☐
มาก	☐	☐	☐	☐
ปานกลาง	☐	☐	☐	☐
น้อย	☐	☐	☐	☐
น้อยที่สุด	☐	☐	☐	☐
คะแนนความชอบ (1-9 hedonic)				

กลิ่นหอม (good aroma)				
ลักษณะ/ตัวอย่าง				
มากที่สุด	☐	☐	☐	☐
มาก	☐	☐	☐	☐
ปานกลาง	☐	☐	☐	☐
น้อย	☐	☐	☐	☐
น้อยที่สุด	☐	☐	☐	☐
คะแนนความชอบ (1-9 hedonic)				

ความกลมกล่อมของรสชาติ (well balance taste)				
ลักษณะ/ตัวอย่าง				
มากที่สุด	☐	☐	☐	☐
มาก	☐	☐	☐	☐
ปานกลาง	☐	☐	☐	☐
น้อย	☐	☐	☐	☐
น้อยที่สุด	☐	☐	☐	☐
คะแนนความชอบ (1-9 hedonic)				

คะแนนโดยรวม (1-9 hedonic scale)				
ความชอบ (overall preference)				
การยอมรับ (overall acceptance)				

ข้อเสนอแนะ _____

แบบประเมินผลการชิมโดยวิธีประสาทสัมผัส

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์_____เครื่องดื่มกล้วย_____.

ชื่อผู้ชิม_____ **เพศ**_____

วันที่_____ **เวลา**_____.

หลักเกณฑ์การให้คะแนน

กรุณาชิมและพิจารณา ความชอบ (preference) ต่อลักษณะต่างๆ รวมทั้ง ความชอบและการยอมรับโดยรวม (overall preference and acceptance) ด้วยการให้ **คะแนนแบบ 1-9 hedonic scale**

โปรดใส่คะแนน ลงในช่องว่างตามต้องการ

ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบปานกลาง	ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบมากที่สุด
9	8	7	6	5	4	3	2	1

ตัวอย่างที่ 1 รสมอล์ต-มิลค์

ลักษณะ / No. ตัวอย่าง	301	681	439
สี			
กลิ่น			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
ความชอบและการยอมรับโดยรวม			

ตัวอย่างที่ 2 รสช็อคโกแลต

ลักษณะ / No. ตัวอย่าง	174	552	208
สี			
กลิ่น			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
ความชอบและการยอมรับโดยรวม			

ข้อเสนอแนะอื่นๆ_____

_____

ขอบคุณอย่างยิ่ง