วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 33 : 2 (49 - 60)

องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านพรีไบโอติกเบื้องต้นของใยอาหารและรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ

Chemical Composition, Functional Properties and Preliminary Prebiotic Properties of Dietary Fiber and Resistant Starch from Green Banana 'Kluay Khai' Peel and Pulp

สุชาติ สุขสถิตย์[1] และ ผุสดี ตังวัชรินทร์[2], *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านพรีไบโอติกเบื้องต้นของใยอาหารสกัดและรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วย พบว่า รีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดมีรีซิสแทนต์สตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักในขณะที่ใยอาหารสกัดจะมีใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 45.71±0.26 และ 78.62±1.12 g/100 g dry matter ตามลำดับ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ พบว่า ใยอาหารและรีซิสแทนสตาร์ชสกัดจะมีค่า L^* มากกว่า และปริมาณการปนเปื้อนแบคทีเรียน้อยกว่าผงจากเปลือกและเนื้อกล้วย ($P< 0.05$) ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามทุกกลุ่มตัวอย่างพบการปนเปื้อนของยีสต์และราน้อยกว่า 1 log cfu/g จากนั้นทำการศึกษาความเป็นพรีไบโอติกของผงจากเปลือกและเนื้อกล้วยดิบ ใยอาหารสกัดและรีซิสแทนสตาร์ชสกัด พบว่า ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนสตาร์ชสกัดมีสมบัติความเป็นพรีไบโอติกส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้ดีที่สุด ($P< 0.05$) โดยเชื้อ *Lactobacillus plantarum* ที่ทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS broth เติมใยอาหารและรีซิสแทนต์สตาร์ช มีอัตราการเจริญสูงสุดสูงที่สุด และระยะเวลาหนึ่งชั่วอายุต่ำที่สุด ($P< 0.05$)

คำสำคัญ : เปลือกกล้วยดิบ ใยอาหารสกัด รีซิสแทนต์สตาร์ชสกัด องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ พรีไบโอติก

Abstract

The objective of this study was to investigate some chemical composition, physical properties and preliminary prebiotic properties of dietary fiber and resistant starch extracts from banana peel and pulp. The results of chemical composition showed that the main composition of resistant starch and dietary fiber extracts was resistant starch and total dietary fiber, respectively. There were 45.71±0.26 and 78.62±1.12 g/100 g dry matter, respectively. For the results of physical properties, the L^* value of dietary fiber and resistant starch extracts were higher than those of banana peel and pulp powder and bacterial loading of dietary fiber and resistant starch extracts were lower than those of banana peel and pulp powder ($P< 0.05$), respectively. However, all samples had lower than 1 log cfu/g of yeast and mold. Then, the results of some prebiotic properties of banana peel and pulp powder, dietary fiber and resistant starch from banana peel and pulp showed that the supporting growth of probiotic of dietary fiber and resistant starch had the highest ($P < 0.05$). The growth rate of *Lactobacillus plantarum* were the highest and generation time was lowest

[1] คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

[2] ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($P < 0.05$) in MRS broth adding dietary fiber and resistant starch extracts.

Keywords : green banana peel, dietary fiber extract, resistant starch extract, chemical composition, physical property, prebiotic

คำนำ

ในปัจจุบันอาหารสุขภาพมีแนวโน้มความต้องการจากผู้บริโภคมากยิ่งขึ้นทั้งภายในและต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสริมอาหารด้วยรีซิสแทนต์สตาร์ชและใยอาหาร ซึ่งรีซิสแทนต์สตาร์ชพบได้ในพืชกลุ่มแป้งมีความทนทานไม่สามารถดูดซึมผ่านผนังเซลล์ลำไส้เล็กของคนปกติทั่วไปจึงให้คุณประโยชน์ต่อสุขภาพเช่นเดียวกับใยอาหาร (dietary fiber) ย่อยสลายเป็นน้ำตาลได้ช้าในระบบทางเดินอาหาร ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในสภาวะควบคุม และรีซิสแทนต์สตาร์ช ยังช่วยให้ระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดี เสริมสร้างร่างกายให้แข็งแรงและมีสุขภาพที่ดี (Rodriguez *et al*., 2006)

เนื้อกล้วยดิบจะมีรีซิสแทนต์สตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก การบริโภคกล้วยสุกเป็นประจำนั้นถือเป็นทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพเพราะมีอัตราการย่อยที่ช้ากว่าแป้งอื่นๆ และการเปลี่ยนแปลงสตาร์ชเป็นกลูโคสอย่างช้าๆ จะช่วยลดอัตราการดูดซึม และการเปลี่ยนเป็นพลังงานทำให้ร่างกายได้รับพลังงานที่ต่ำลง นอกจากนี้รีซิสแทนต์สตาร์ชในกล้วยยังมีสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ซึ่งเป็นอาหารที่ดีสำหรับจุลินทรีย์กลุ่ม lactobacilli เป็นผลให้การทำงานของระบบทางเดินอาหารเป็นปกติดี จึงสามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อโรคอายุรกรรมต่างๆ ได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหลอดเลือดอุดตัน โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม กล้วยสุกมีปริมาณซิสแทนต์สตาร์ชต่ำกว่ากล้วยดิบ (Goni, 1996) ดังนั้นเพื่อเป็นทางเลือกการบริโภคอาหารที่ดีต่อสุขภาพ โดยปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชจากแป้งกล้วยดิบสายพันธุ์ที่นิยมรับประทานเช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอม และกล้วยเล็บมือนาง พบว่ามีปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ช 52.2-61.4% (ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง) โดยที่กล้วยไข่มีปริมาณสูงสุด 57.7% รองลงมาเป็นกล้วยเล็บมือนาง กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม ซึ่งมีปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ช 57.0 56.6 และ 52.2% (ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง) ตามลำดับ ในขณะที่เมล็ดถั่วมีปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชเพียง 10.3-22.9% (ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง) เท่านั้น (Vatanasuchart *et al*., 2009) ทั้งนี้จากการศึกษาสมบัติความเป็นพรีไบโอติกของแป้งกล้วยที่มีปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชสูงด้วยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ในอุจจาระของอาสาสมัครที่รับประทานแป้งกล้วยสุก หรือแป้งกล้วยดิบอย่างละ 30 g/day พบว่าอุจจาระของอาสาสมัครที่รับประทานแป้งกล้วยดิบมีปริมาณกรดไขมันสายสั้นทั้งหมด อะซิติก โพรพิโอนิก และบิวทิวริกมากกว่าอุจจาระของอาสาสมัครที่ทานแป้งกล้วยสุก เนื่องจากแป้งกล้วยดิบมีปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ชที่มีองค์ประกอบของสารอาหารที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ในลำไส้เล็กตอนปลายและลำไส้ใหญ่ ทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้ผลิตกรดไขมันสายสั้น อีกทั้งปริมาณของบิวทิวริกยังเป็นการบ่งชี้ถึงการที่จุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่สามารถใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วยได้ (Langkilde *et al*., 2002) นอกจากนี้ เปลือกกล้วยยังเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี โดยมีปริมาณใยอาหารสูงถึง 50 g/100 g (HappiEmaga *et al*., 2007) และมีใยอาหารที่ละลายน้ำสูง ซึ่งอยู่ในช่วง 13.0-21.7 g/100 g แต่มีปริมาณเซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อย ซึ่งอยู่ในช่วง 7-12 6.4-9.6 และ 6.4-8.4 g/100 g ตามลำดับ (HappiEmaga *et al*., 2008) อีกทั้งใยอาหารจากผลไม้มีสมบัติดีกว่าใยอาหารจากอาหารชนิดอื่น เนื่องจากมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดและใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูง ปริมาณกรดไฟติกและแคลอรี่ต่ำ มีความสามารถในการอุ้มน้ำและไขมันดี (Figuerola *et al*., 2005) จึงช่วยจับไขมันจากอาหาร ลดการดูดซึมพวกน้ำตาล จึงมีผลดีต่อคนเป็นเบาหวาน ช่วยป้องกันการดูดซึมของสารก่อมะเร็ง เพราะขับถ่ายออกได้เร็ว และลดการสัมผัสต่อผนังลำไส้ ตลอดจนยังช่วยในการลดน้ำหนัก เนื่องจากทำให้ปริมาณอาหารมากขึ้น มีการดูดน้ำเข้ามาในทางเดินอาหาร ทำให้รู้สึกอิ่มเร็ว ลดการบริโภคอาหารลง นอกจากนี้ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลต่อการขับถ่าย ใยอาหารชนิดที่เป็นเซลลูโลส มีคุณสมบัติอุ้มน้ำ ทำให้อุจจาระอ่อนไม่แข็ง ขับถ่ายดี ท้องไม่ผูก ทำให้ไม่เป็นโรคริดสีดวงทวาร ลำไส้โป่งพอง และมะเร็งลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน (Rodriguez *et al*., 2006)

กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรของจังหวัดพัทลุงได้มีแปรรูปเป็นกล้วยไข่ดิบกรอบแก้ว “สแน็คพื้นบ้าน” หลากรูปแบบจนเป็นสินค้ายอดนิยมเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลุ่มแม่บ้านบ้านลำสินธุ์ อำเภอศรีนครินทร์ ตลาดของกล้วยจังหวัดพัทลุงขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้เกษตรกรเพิ่มปริมาณการผลิตเพื่อตอบสนองกับปริมาณความต้องการและตลาดที่เพิ่มมากขึ้น แต่สิ่งที่ตามมาคือปริมาณเปลือกกล้วยดิบ ซึ่งเป็นของเหลือและของเสียที่เกิดจากการผลิตได้เพิ่มมากขึ้น โดยมีปริมาณถึงวันละ 90 กิโลกรัม ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านพรีไบโอติกเบื้องต้นของใยอาหารสกัดและรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ จึงเป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐานเพื่อการผลิตใยอาหารสกัดและรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบจากวัสดุเศษเหลือในการผลิตกล้วยเมืองลุง และนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป ซึ่งจะเป็นการลดวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น และลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บรวบรวมเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ

การเก็บรวบรวมเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบจากการผลิตกล้วยเมืองลุง จากกลุ่มเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนบ้านลำสินธุ์ จังหวัดพัทลุง เพื่อนำทำการเก็บรวบรวมเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ โดยสีของเปลือกกล้วยไข่อยู่ในช่วงดัชนีของสีกล้วยเบอร์ 2-3 คือ สีเขียวอ่อน (green-trace of yellow) ถึงสีเขียวอมเหลือง (more green than yellow) (SH Pratt's and Co) (Caussiol, 2001) นำเปลือกกล้วยไข่ที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปกล้วยเมืองลุงได้มาแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.05% (w/v) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที และผึ่งให้สะเด็ดน้ำแล้วซับด้วยผ้าแห้ง จากนั้นทำการหั่นเปลือกกล้วยไข่ดิบให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1´1´0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วแช่สารละลายโพลีเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้น 4.0 g/g ของสารประกอบฟีนอลในเปลือกกล้วยไข่ ปริมาณ 30 ml/g ของเปลือกกล้วยไข่ (ทำการวิเคราะห์ในการศึกษาก่อนหน้านี้) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งและซับด้วยผ้าแห้ง เพื่อทำการบรรจุใส่ถุงทึบแสงเก็บไว้ในที่มิดชิด และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

ส่วนการเก็บรวบรวมเนื้อกล้วยไข่ดิบ ทำการปอกเปลือกกล้วยไข่ดิบ แล้วนำเนื้อกล้วยแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.05% (w/v) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการสไลด์เนื้อกล้วยไข่ดิบให้เป็นแว่นบางๆ หนาประมาณ 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.05% (w/v) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งและซับด้วยผ้าแห้ง เพื่อทำการบรรจุใส่ถุงทึบแสงเก็บไว้ในที่มิดชิด และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2. การเตรียมผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัด

การเตรียมผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดัดแปลงจากวิธีการของของ Daramola and Osanyinlusi (2006) และ Wachirasiri *et al*. (2009) โดยนำเปลือกและเนื้อกล้วยมาอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทำการบดให้ละเอียดและทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้ผงเปลือกและเนื้อกล้วย จากนั้นนำเฉพาะผงเปลือกกล้วยมาล้างในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที อบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำผงเปลือกกล้วยไข่มาทำการสกัดใยอาหาร ตามวิธีการของ Yoshimoto *et al*. (2005) และ Wachirasiri *et al*. (2009) โดยการกำจัดไขมันด้วยการใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ปริมาณ 5 ml/g และทำการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยตัวทำละลาย จากนั้นผสมกับน้ำในสัดส่วน 1:20 ปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 5.8 ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N ทำการกำจัดอะไมโลสด้วยเอนไซม์ a-amylase ปริมาณ 0.1 ml/g และบ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 7.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1N และทำการกำจัดโปรตีนด้วยเอนไซม์ protease 10 mg/g บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 4.0-4.5 ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N และทำการกำจัดแป้งด้วยเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาณ 0.1 mg/g บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองและอบให้แห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้ใยอาหารสกัด แล้วทำการบรรจุใส่ถุงปิดมิดชิด และเก็บรักษาไว้ในตู้ดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง

ส่วนผงเนื้อกล้วย นำมาทำการสกัดรีซิสแทนต์สตาร์ช ตามวิธีการที่ดัดแปลงมาจาก Zhao and Lin (2009) โดยทำการไฮโดรไลซ์แป้งด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1 mol/l ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วปรับค่า pH เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 mol/l เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จะได้รีซิสแทนต์สตาร์ชสกัด แล้วทำการบรรจุใส่ถุงปิดมิดชิด และเก็บรักษาไว้ในตู้ดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์หาความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามวิธีของ AACC (2000)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล ตามวิธีของ Dubois *et al*. (1956)

การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และสัดส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำและใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ตามวิธีของ Prosky *et al*. (1988)

การวิเคราะห์ปริมาณรีซิสแทนต์สตาร์ช ทำตามวิธีการของ Englyst *et al*. (1996) และ Sharavathy *et al*. (2001)

การวิเคราะห์ค่า water activity (a_w) ด้วยเครื่อง Water activity meter series 4 TE (AquaLab, Decagon Devices, Inc. USA)

4. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วยการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ตามวิธีการของ Larrauri *et al*. (1996) โดยการชั่งน้ำหนักผงเนื้อและเปลือกกล้วย 0.5 g ใส่ลงในน้ำหรือน้ำมันถั่วเหลือง 10 ml คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปเข้าเครื่องหมุนเวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 ´g เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักตะกอนและทำการคำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันโดยนำเสนอในหน่วย g water หรือ oil per g of dry sample ตามลำดับ

การวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE chromaticity coordinates (*L* a** และ *b**) ด้วยเครื่อง ColorFlex Firmware version 1.72 (HunterLab Association, Inc., USA.)

5. การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถเจริญที่อุณหภูมิปานกลางและสูง ยีสต์และรา ของผงเปลือกกล้วยที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ ดัดแปลงการวิธีการของ Nago *et al*. (1998) โดยทำการแยกจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิปานกลางและสูงด้วยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA; Merck, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ่มที่อุณหภูมิ 35 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง และทำการแยกยีสต์และราด้วยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ acidified potato dextrose agar (เติมสารละลายกรดทาทาริกความเข้มข้น 1% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตรของอาหารเลี้ยงเชื้อ) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

6. การวิเคราะห์สมบัติด้านพรีไบโอติก

การเตรียมแบคทีเรียโพรไบโอติก แบคทีเรียที่ใช้คือ เชื้อ *Lactobacillus plantarum* แยกได้จากผลิตภัณฑ์เนื้อหมักพื้นบ้าน จากคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ผ่านการตรวจสอบสมบัติด้านโพรไบโอติกเบื้องต้น โดยทำการจัดเก็บ stock culture ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เมื่อต้องการทำการทดลอง นำ stock culture มาละลายน้ำแข็ง และทำการเพาะเลี้ยงบน MRS agar บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไร้อากาศ แล้วถ่ายเชื้อลงใน MRS broth บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้ออยู่ในสภาวะ late log phase (non-stressed cells) ดัดแปลงจากวิธีของ Tangwatcharin *et al*. (2006) และ Guergoletto *et al*. (2010) จากนั้นทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 14,000 ´g เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกแบคทีเรียออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อเดิม แล้วล้างเซลล์แบคทีเรียด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.85% (w/v) และทำการล้างเช่นนี้ 3 ครั้ง จะได้สารละลายแบคทีเรียความเข้มข้นประมาณ 10^8-10^9cfu/ml โดยมีค่า OD_{600} อยู่ในช่วง 0.7-0.8 และทำการเจือจางให้มีแบคทีเรียเริ่มต้นประมาณ 10^5cfu/ml

การเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกในอาหารเหลวที่มีผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหาร และรีซิสแทนต์สตาร์ชเป็นองค์ประกอบ ตามวิธีการที่ดัดแปลงมาจาก Rycroft *et al*. (2001) โดยทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ *L. plantarum* ที่ความเข้มข้นเชื้อเริ่มต้น 10^5 cfu/ml ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว MRS broth ที่มีการเติมผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหาร และรีซิสแทนต์สตาร์ช ความเข้มข้น 1% (w/v) ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาเป็น 0 3 6 9 12 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *L. plantarum* ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติก ตามวิธีการของ Swetwiwathana *et al*. (2007) โดย การตรวจนับเชื้อ *L. plantarum* ที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ โดยวิธีการ pour plate ด้วย MRS agar ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต และทำการบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไร้อากาศ จากนั้นตรวจนับปริมาณโคโลนีของเชื้อที่มีโซนใสรอบโคโลนี และสุ่มตรวจดูลักษณะของเชื้อด้วยการย้อมสีแกรม และ catalase test

การวิเคราะห์หาค่าจลพลศาสตร์การเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกแต่ละชนิด โดยคำนวณหาค่าอัตราการเจริญสูงสุด (μ_{max}) และ ระยะเวลาหนึ่งชั่วอายุ (generation time, l) ตามวิธีการของ Oliveira *et al*. (2011) ดังสมการต่อไปนี้

$$\mu_{max} = \ln(X_2/X_1)/(t_2-t_1)$$

โดยที่ X_1 และ X_2 คือจำนวนแบคทีเรีย

t_1 และ t_2 คือระยะเวลาในการบ่ม

$$\lambda = \ln 2/\mu_{max}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัด ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ทรีทเมนต์ ได้แก่ ผงเปลือกกล้วยไข่ดิบ ผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัดจากผงเปลือกกล้วยไข่ดิบ และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ โดยทำการวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโปรตีน ไขมัน แป้ง เถ้า เยื่อใย ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ น้ำตาล ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน ค่าสี *L* a** และ *b** จุลินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถเจริญที่อุณหภูมิปานกลางและสูง ยีสต์และรา โดย ANOVA procedure และ Duncan's New Multible Range Test ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SAS (Staitical Analysis System Institute, 1998)

การศึกษาสมบัติด้านพรีไบโอติก ทำการจัดกลุ่มการทดลองแบบ 5×6 factorial in CRD โดยปัจจัย A คือ ชนิดของพรีไบโอติกส์ ได้แก่ ควบคุม ผงเปลือกกล้วยไข่ดิบ ผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัดจากผงเปลือกกล้วยไข่ดิบ และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ และปัจจัย B คือ ระยะเวลาในการบ่ม ได้แก่ 0 3 6 9 12 และ 24 ชั่วโมง โดยทำการวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (LSMeans) ของการเจริญของเชื้อ *L. plantarum* โดย GLM procedure และ PDIFF ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SAS (Statistical Analysis System Institute, 1998) ยกเว้นอัตราการเจริญสูงสุด และระยะเวลาหนึ่งชั่วอายุของเชื้อ *L. plantarum* โดยทำการวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดย ANOVA procedure และ Duncan's New Multible Range Test ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SAS (Staitical Analysis System Institute, 1998)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัด

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนสตาร์ชสกัดจากเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยไข่ดิบพบว่า ผงเปลือกและกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบมากที่สุด อยู่ในช่วง 86.81-97.01 g/100 g dry matter เมื่อนำผงเปลือกกล้วยไข่ดิบสกัดเป็นใยอาหาร พบว่าใยอาหารสกัดมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดและใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้มากกว่าผงเปลือกกล้วยไข่ดิบ ($P<0.05$) แต่มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากภายหลังสกัดใยอาหาร ใยอาหารมีปริมาณโปรตีน และไขมันน้อยกว่าผงเปลือกกล้วยไข่ดิบ ($P< 0.05$) ในขณะที่ เมื่อนำผงเนื้อกล้วยไข่ดิบมาทำการสกัดรีซิสแทนต์สตาร์ช พบว่า รีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดและรีซิสแทนต์สตาร์ชมากกว่าผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ แต่มีปริมาณนอน-รีซิสแทนต์สตาร์ชน้อยกว่าผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ (Table 1) ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้กรดซิตริกในการสกัดรีซิสแทนต์สตาร์ชเปลี่ยนนอน-รีซิสแทนต์ เป็นน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวส์ (Zhao and Lin, 2009) นอกจากนี้รีซิสแทนต์สตาร์ชที่สกัดได้ยังมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด และใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ มากกว่าผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเยื่อใย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่พบว่ามีในรีซิสแทนต์สตาร์ชที่สกัดได้มากกว่าผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ ทั้งนี้เนื่องมาจากรีซิสแทนต์สตาร์ชที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีน และไขมันน้อยกว่าผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 Chemical composition of green banana peel and pulp powder, dietary fiber and resistant starch extracts form green banana peel and pulp[1].

Items (g/100 g dry matter)	Banana peel powder	Banana pulp powder	Dietary fiber extract	resistant starch extract
Ash	10.97±1.12[a]	3.27±1.31[b]	6.31±0.14[c]	2.05±0.11[b]
Fat	1.98±0.16[a]	0.96±0.04[b]	0.59±0.03[c]	0.81±0.03[b]
Protein	0.25±0.02[a]	1.18±0.02[b]	0.06±0.01[c]	0.13±0.01[d]
Carbohydrate	86.81±1.19[a]	94.58±1.31[b]	93.04±0.16[c]	97.01±0.11[d]
Fiber	66.02±0.64[a]	28.16±1.19[b]	86.62±0.46[c]	34.47±1.22[d]
Cellulose	36.03±0.42[a]	6.53±0.43[b]	42.27±0.70[c]	8.46±0.22[d]
Hemicellulose	13.71±0.48[a]	12.70±0.29[a]	17.99±0.48[b]	16.44±0.34[c]
Lignin	6.55±0.11[a]	3.47±0.27[b]	8.59±0.27[c]	4.49±0.37[d]
Total dietary fiber	72.75±1.08[a]	26.64±0.72[b]	78.62±1.12[c]	33.26±0.58[d]
Soluble dietary fiber	11.28±0.31[a]	2.46±0.47[b]	12.19±0.29[a]	3.07±0.32[b]
Insoluble dietary fiber	61.47±0.93[a]	24.18±0.68[b]	66.43±0.88[c]	30.19±0.71[d]
Total sugar	0.47±0.06[a]	0.43±0.01[a]	0.39±0.06[a]	1.03±0.06[b]
Reducing sugar	0.26±0.01[a]	0.08±0.05[b]	0.26±0.01[a]	0.31±0.01[a]
Starch	11.59±0.59[a]	67.51±1.34[b]	6.03±0.71[c]	62.72±1.01[d]
Resistant starch	2.29±0.06[a]	40.22±0.82[b]	2.12±0.30[a]	45.71±0.26[c]
Non-resistant starch	9.29±0.04[a]	27.29±1.04[b]	3.90±1.41[c]	17.01±0.04[d]

[1] Values are means standard deviations of triplicate determinations. Treatments followed by different letters in a row were significant different (P< 0.05).

2. สมบัติทางกายภาพของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัด

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบโดยทำการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน และค่าสี (Table 2) พบว่า ใยอาหารสกัดมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีที่สุด (P<0.05) 13.54±0.24 g water/g dry mater รองลงมาคือ ผงเปลือกกล้วย ผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัด 11.75±0.24 3.51±0.20 และ 2.96±0.17 g water/g dry mater ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นใยอาหารสกัดยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันได้ดีที่สุด (P<0.05) 7.75±0.29 g oil/g dry mater ส่วนผงจากเปลือกกล้วย ผงเนื้อกล้วยไข่ดิบ และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำมันเป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงความเป็น emulsifier ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูงได้ ซึ่งการอุ้มน้ำมันขึ้นอยู่กับผิวสัมผัส ความหนาแน่น และสมบัติการชอบน้ำ (Femenia *et al*., 1997) ในขณะที่ใยอาหารจากพืชและส้มมีค่าการอุ้มน้ำมันเพียง 1 และ 1.2 g oil/g fiber ตามลำดับ เท่านั้น (Grigelmo-Miguel *et al*., 1999a; 1999b) ดังนั้นใยอาหารจากเปลือกกล้วยไข่ดิบจึงมีค่าการอุ้มน้ำมันอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจความสามารถในการดูดซับน้ำมันและคลอเลสเตอรอลได้ (Wachirasiri *et al*., 2009) สำหรับค่าสี พบว่า รีซิสแทนสตาร์ชสกัดจะมีค่า *L** สูงสุด เท่ากับ 65.25±0.13 แต่มีค่าสี *a** ต่ำที่สุด รองลงมาคือ ใยอาหารสกัด และผงเปลือกและเนื้อกล้วยดิบ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2 Physical properties of green banana peel and pulp powder, dietary fiber and resistant starch extracts form green banana peel and pulp[1].

Items[2]	Banana peel powder	Banana pulp powder	Dietary fiber	resistant starch
Water holding capacity	11.75±0.24[a]	3.51±0.20[b]	13.54±0.24[c]	2.96±0.17[b]
Oil holding capacity	6.83±0.25[ab]	7.11±0.55[ab]	7.75±0.29[a]	6.26±0.48[b]
a_w	0.32±0.01	0.34±0.03	0.35±0.02	0.34±0.04
*L**	35.99±0.09[a]	56.90±0.38[b]	54.21±0.18[c]	65.25±0.13[d]
*a**	5.53±0.37[a]	5.11±0.09[a]	3.37±0.26[b]	2.57±0.30[c]
*b**	14.34±0.35[ab]	14.61±0.12[a]	13.94±0.38[ab]	13.79±0.09[b]

[1] Values are means standard deviations of triplicate determinations. Treatments followed by different letters in a row were significant different ($P < 0.05$).

[2] Units of water holding capacity is g water/g dry mater; unit of oil holding capacity is g oil/g dry mater.

3. คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหาร และรีซิสแทนต์สตาร์ช

จากการศึกษาคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารและรีซิสแทนสตาร์ชจากเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยไข่ดิบ (Table 3) พบว่า ผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าใยอาหารและรีซิสแทนต์สตาร์ช ($P<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามทุกตัวอย่างมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (มอก. 638-2529) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 6 log cfu/g นอกจากนี้ทุกตัวอย่างยังมีการปนเปื้อนราและยีสต์น้อยกว่า 1 log cfu/g ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแป้งกล้วย (มผช. 1375/2550) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (มอก. 638-2529) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 2.70 และ 2 log cfu/g ตามลำดับ

Table 3 Microbiological loading (log cfu/g) of green banana peel and pulp powder, dietary fiber and resistant starch extracts form green banana peel and pulp[1]

Types of microbial	Banana peel powder	Banana pulp powder	Dietary fiber	resistant starch
Mesophile	2.23±0.01[a]	2.18±0.01[a]	1.20±0.02[b]	1.16±0.16[b]
Thermophile	1.28±0.01[ab]	1.39±0.29[a]	1.09±0.04[b]	1.04±0.06[b]
Yeast and mold	ND	ND	ND	ND

[1] Values are means standard deviations of triplicate determinations. Treatments followed by different letter in a row were significant different ($P<0.05$).

[2] ND = detected less than 1 log cfu/g.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สมบัติความเป็นพรีไบโอติกเบื้องต้นของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัด

จากการศึกษาสมบัติความเป็นพรีไบโอติกเบื้องต้นของผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกกล้วยและเนื้อกล้วยไข่ดิบ โดยทำการตรวจนับปริมาณ อัตราการเจริญสูงสุด และชั่วอายุของเชื้อ *L. plantarum* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่มีการเติมผงเปลือกและเนื้อกล้วยดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดความเข้มข้น 1% (w/v) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ที่อุณหภูมิการบ่ม 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า เชื้อ *L. plantarum* ในอาหารที่เลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่มีการเติมผงเปลือกและเนื้อกล้วยดิบ ใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยดิบ สามารถเจริญได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (Figure 1A) และเมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าจลนพลศาสตร์การเจริญของเชื้อ *L. plantarum* โดยคำนวณหาอัตราการเจริญสูงสุด และระยะเวลาหนึ่งชั่วอายุ พบว่า อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่มีการเติมรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดและใยอาหารสกัดจะส่งเสริมให้เชื้อ *L. plantarum* มีอัตราการเจริญมากกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) โดยมีค่า 0.96±0.09 0.90±0.06 และ 0.640±0.06 log cfu/ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนเชื้อ *L. plantarum* ที่ทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่มีการเติมผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบมีอัตราการเจริญไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) (Figure 1B) ซึ่งสอดคล้องกับระยะเวลาหนึ่งชั่วอายุของเชื้อ *L. plantarum* ที่มีค่าผกผันกับอัตราการเจริญสูงสุด โดยพบว่า เชื้อ *L. plantarum* ที่ทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่มีการเติมใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดมีระยะเวลาหนึ่งชั่วอายุน้อยที่สุด 0.72±0.03 และ 0.78±0.05 ชั่วโมง ตามลำดับ รองลงมาคือเปลือกกล้วยไข่ดิบ 0.98±0.01 ชั่วโมง ($P<0.05$) ในขณะที่ เชื้อ *L. plantarum* ที่ทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่มีการเติมผงเนื้อกล้วยไข่ดิบมีอัตราการเจริญไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) (Figure 1C) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเชื้อ *L. plantarum* สามารถผลิตเอนไซม์ cellulase และ hemicellulase ได้ (Sharp *et al.*, 1992) ซึ่งใยอาหารสกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสมากกว่าผงเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบ (Table 1)

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าใยอาหารสกัดและรีซิสแทนต์สตาร์ชสกัดจากเปลือกและเนื้อกล้วยไข่ดิบมีองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และมีแนวโน้มแสดงสมบัติด้านพรีไบโอติกเบื้องต้น ซึ่งเหมาะสมต่อแบคทีเรียโพรไบโอติกในการนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน มหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

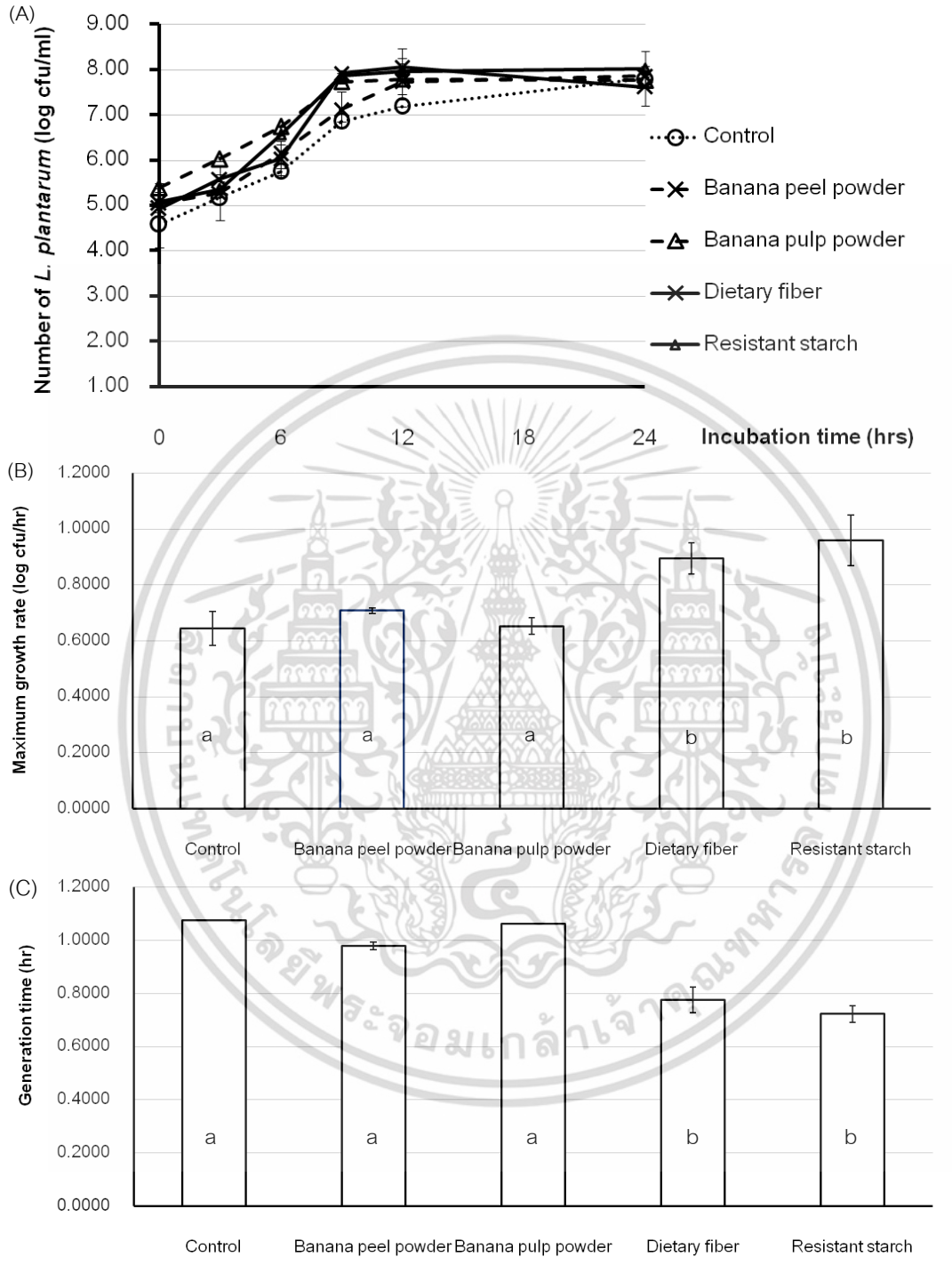

Figure 1 Growth (A), maximum growth rate (B) and generation time (C) of *L. plantarum* in MRS broth (control) included addition of banana peel and pulp powder, dietary fiber and resistant starch; a-b Different letters indicate that values are significantly different ($P < 0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า (มอก. 638-2529). กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแป้งกล้วย (มผช. 1375/2550). กระทรวงอุตสาหกรรม.

AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Edition. Grami, B., ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.

Caussiol, L. 2001. Postharvest quality of conventionally and organically grown banana fruit. Thesis of Master of Science by Research in Postharvest Technology, Institute of Agritechnolgy, Cranfield University at Silsoe.

Daramola, B. and S.A. Osanyinlusi. 2006. Production, characterization and application of banana (*Musa* spp.) flour in whole maize. African J. Biotechnol. 5: 992-995.

Dubois, M.K., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analyt. Chem. 28: 350-356.

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

Femenia, A., C. Lefebvre, Y. Thebaudin, J. Robertson and C. Bougeois. 1997. Physical and sensory properties of model food supplemented with cauliflower fiber. J. Food Sci. 62: 635-639.

Figuerola, F., M.L. Hurtado, A.M. Estevez, I. Chiffelle and F. Asenjo. 2005. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. Food Chem. 9: 395-401.

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

Grigelmo-Miguel, N. and O.M. Martin-Belloso. 1999a. Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. Food Res. Int. 31: 355-361.

Grigelmo-Miguel, N. and O.M. Martin-Belloso. 1999b. Comparison of dietary fiber from by-products of processing fruits and greens and from cereals. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie. 32: 503-508.

Guergoletto, K.B., M. Magnani, J.S. Martin, C.G.T.J. Andrade and S. Garcia. 2010. Survival of *Lactobacillus casei* (LC-1) adhered to prebiotic vegetal fibers. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 11: 415-421.

HappiEmaga, T., R.H. Andrianaivo, B. Wathelet, J.T. Tchango and M. Paquot. 2007. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. Food Chem. 103: 590-600.

HappiEmaga, T., B. Wathelet and M. Paquot. 2008. Changements texturaux et biochimiques des fruits du bananier au cours de la maturation. Leur influence sur la préservation de la qualité du fruit et la maîtrise de la maturation. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 12: 89-98.

Langkilde, A.M., M. Champ and H. Andersson. 2002. Effects of high-resistant-starch banana flour (RS_2) on *in vitro* fermentation and the small-bowel excretion of energy, nutrients and sterols: an ileostomy study. Amer. J. Clin. Nutr. 75: 104–111.

Larrauri, J.A., P. Ruperez, B. Borroto and F. Saura-Calixto. 1996. Mango peels as a new tropical fiber: preparation and characterization. Lebeensmittel-Wissenschaft and Technologie. 29: 729-733.

Nago, M.C., J.D. Hounhouigan, N. Akissoe, E. Zanou and C. Mestres. 1998. Characterization of the Beninese traditional Ogi, a fermented maize slurry: Physicochemical and Microbiological aspects. Int. J. Food Sci. Tech. 33: 307-315.

Oliveira, R.P.D.S., P. Perego, M.N.D. Oliveira and A. Converti. 2011. Effect of inulin as a prebiotic to improve growth and counts of a probiotic cocktail in fermented skim milk. LWT-Food Sci. Technol. 44: 520-523.

Prosky, L., N.G. Asp, T.F. Schweitzer, W.J. DeVries and I. Furda. 1988. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 71: 1017-1024.

Rodriguez, R., A. Jimenez, J. Fernandez-Bolanos, R. Guillen and A. Heredia. 2006. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. Trends Food Sci. Technol. 17: 3-15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rycroft, C.E., M.R. Jones, G.R. Gibson and R.A. Rastall. 2001. A comparative in vitro evaluation of the fermentation properties of prebiotic oligosaccharides. J. Appl. Microbiol. 91: 878-887.

Statistical Analysis System Institute. 1998. SAS software. Statistical Analysis Systems Institute Inc., USA.

Sharavathy, M.K., A. Urooj and S. Puttaraj. 2001. Nutritionally important starch fractions in cereal based Indian food preparations. Food Chem. 75: 241-247.

Sharp, R., A.G. O'Donnell, H.G. Gilbert and G.P. Hazlewood. 1992. Growth and survival of genetically manipulated *Lactobacillus plantarum* in silage. Appl. Environ. Microbiol. 58: 2517-2522.

Swetwiwathana, A., T. Zendo, J. Nakayama and K. Sonomoto. 2007. Screening of bacteriocin-producing lactic acid bacteria associated with Thai fermented meat-rice sausage. Proceeding of 53rd International Congress of Meat Science and Technology. pp. 59-60.

Tangwatcharin, P., S. Chanthachum, P. Khopaibool and M.W. Griffiths. 2006. Morphological and physiological responses of *Campylobacter jejuni* to stress. J. Food Prot. 69: 2747-2753.

Vatanasuchart, N., B. Niyomwit and K. Wongkrajang. 2009. Resistant starch contents and the in vitro starch digestibility of Thai starchy foods. Kasetsart J. (Natural Science). 43: 178-186.

Wachirasiri, P., S. Julakarangka and S. Wanlapa. 2009. The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate. Songklanakarin J. Sci. Technol. 31: 605-611.

Yoshimoto, M., O. Yamakawa and H. Tanoue. 2005. Potential chemopreventive properties and varietal difference of dietary fiber from sweet potato (*Ipomoea batatas L.*) root. Japan Agric. Res. Quart. 39: 37-43.

Zhao, X.H. and Y. Lin. 2009. Resistant starch prepared from high-amylose maize starch with citric acid hydrolysis and its simulated fermentation *in vitro*. Eur. Food Res. Technol. 228: 1015-1021.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้