วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ Print ISSN: 2586-8101 Online ISSN: 2697-6447
ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม 2563 – มีนาคม 2564)

การพัฒนาเส้นสปาเก็ตตี้จากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมงาดำ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบเส้นด้วยโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี

DEVELOPMENT OF SPAGHETTI FROM RICE BERRY RICE COMPOSITE BLACK SESAME BY USING SPAGHETTI FORMING MOLECULAR GASTRONOMY TECHNIQUES

อัจฉรา ดลวิทยาคุณ*[1], จักรกฤษณ์ พลขันธ์[1], ชยุฒย์ เกิดแก้ว[1], วราภรณ์ บุญศรี[1], ศศิประภา สุขกล้า[1] และศิริลักษณ์ แจ่มหม้อ[1]

Achara Dholvitayakhun*[1], jakkrit pronrakan[1], Chayut Kerdkaew[1], Warapohn Boonsree[1], Sasiprapha sukkla[1] and Sirilak Jammor[1]

[1] *สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*

**ที่อยู่ E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): achara2518@yahoo.co.th*

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเตนได้รับความนิยมเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเส้นสปาเก็ตตี้ปราศจากกลูเตนจากข้าวไรซ์เบอรี่เสริมงาดำ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบเส้นด้วยโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี และศึกษาสมบัติทางกายภาพ การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น ผลการศึกษาพบว่า เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอรี่ โดยใช้เทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมีแบบเส้น มีอัตราส่วนระหว่างข้าวไรซ์เบอร์รี่สุกต่อน้ำเท่ากับ 1 : 3.1 ผสมลงในสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1.25 ปั่นให้เข้ากัน นำส่วนผสมที่ได้ใส่หลอดฉีดยา ขนาด 20 ml. ต่อกับสายยาง ยาว 25 cm. เพื่อช่วยในการขึ้นรูปให้เป็นเส้น และปล่อยลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.31 แช่ทิ้งไว้นาน 3 นาที และเมื่อนำมาเสริมงาดำผง 4 ระดับ (ร้อยละ 6, 8, 10 และ 12) พบว่า ปริมาณงาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง(b*) มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ค่าสีแดง(a*) และค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอรี่เสริมงาดำผงทั้ง 4 ระดับมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.25-3.57 มิลลิเมตร จากผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงร้อยละ 10 มีแนวโน้มคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (6.17-6.93) อยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง นอกจากนี้เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่พัฒนาขึ้นมีปริมาณพลังงาน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย วิตามินบีหนึ่ง บีสองและแคลเซียมเพิ่มขึ้นกว่าเส้นสปาเก็ตตี้ทางการค้า

คำสำคัญ: เส้นสปาเก็ตตี้, ข้าวไรซ์เบอรี่ และเทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี

วันที่รับบทความ 3 มีนาคม 2564
วันแก้ไขบทความ 14 มีนาคม 2564
วันตอบรับบทความ 20 มีนาคม 2564

ABSTRACT

Gluten-free products are increasingly popular in widespread consumption. The objectives of this research were to develop gluten-free spaghetti from rice berry rice composite black sesame powder by using spaghetti forming molecular gastronomy techniques and to evaluate the physical quality and sensory evaluation of developed formulations. The result found that the rice berry rice spaghetti formula was the ratio of rice berry rice and water at 1: 3.1 by wt., mixed and blended with 1.25% sodium alginate, injected through a 20 ml. syringe that is connected to 25 cm. tube for spaghetti forming, and then soaked in 1.31 calcium chloride for 3 minutes. The levels of black sesame powder content (6, 8, 10, and 12%, w/w) on spaghetti formulas were investigated. The increasing content of black sesame powder resulted in the decreasing intensity of lightness and yellow color while red color and viscosity increasing in spaghetti product ($p \leq 0.05$). All of the formulas have a diameter of 3.25-3.57 mm. Sensory quality showed that rice berry rice spaghetti containing 10% black sesame powder gained the highest score (6.17-6.93), which referred to criteria as like slightly to like moderately. Additionally, the developed rice berry rice spaghetti contains high amounts of calories, protein, carbohydrates, fat fiber, vitamin B1, vitamin B2, and more calcium than commercial spaghetti.

Keywords: spaghetti, rice berry rice and molecular gastronomy

1. บทนำ

สปาเก็ตตี้ เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ประเภทของเส้นพาสต้าที่มีต้นกำเนิดจากประเทศอิตาลี มีส่วนประกอบหลัก คือ แป้งสาลี ไข่ น้ำมันมะกอกและเกลือ[1] โดยในแป้งสาลีซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของสปาเก็ตตี้ มีโปรตีนกลูเตนที่เป็นสารก่อภูมิแพ้ ทำให้ผู้ป่วยที่แพ้กลูเตน (Celeac desease) ซึ่งผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้ลำไส้เล็กจะมีอาการอักเสบและมีผลต่อเนื้อเยื่อบริเวณผนังลำไส้เล็กทำให้พื้นที่ดูดซึมอาหารลดลง โดยมีอาการท้องบวมและอาการท้องร่วงเรื้อรัง น้ำหนักลด เป็นตะคริว ปวดกระดูกและข้อ เป็นต้น [2] ผู้ป่วยโรคนี้จะไม่สามารถบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของกลูเตนได้ตลอดชีวิต จึงทำให้อาหารที่ปราศจากกลูเตนเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้นในยุโรป และประเทศอื่น ๆ ทั่วโลก ปัจจุบันจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณกลูเตน หรือพัฒนาเส้นจากแป้งชนิดอื่น ๆ ที่ลดหรือปราศจากกลูเตนตลอดจนมีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ด้วยการเสริมสารอาหารต่าง ๆ เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าสดจากแป้งข้าวกล้อง [3] การใช้แป้งข้าวฟ่างแทนเซโมลินาบางส่วนเพื่อใช้ในการผลิตพาสต้า [4] พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่ว [5] สปาเก็ตตี้สดเสริมใบชะคราม [6] อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งชนิดต่าง ๆ ในแป้งสาลีจะส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส และคุณภาพของเส้นได้ ทำให้ไม่สามารถทดแทนได้ทั้งหมด หรือจำเป็นต้องใช้สารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ ที่มีสมบัติเพิ่มความคงตัว ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส ปัจจุบันมีการใช้แซนแทนกัม ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสมบัติของวิสโคอีลาสติกของกลูเตนในแป้งสาลี โดยนำมาผสมกับแป้งชนิดอื่น และรีดเป็นเส้นพาสต้า [7] แต่ยังไม่มีการนำมาผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นเส้นกลมแบบสปาเก็ตตี้ได้ เนื่องจากเส้นจะขาด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำเส้นสปาเกตตี้ที่ปราศจากกลูเตนจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นพันธุ์ข้าวสี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ Print ISSN: 2586-8101 Online ISSN: 2697-6447
ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม 2563 – มีนาคม 2564)

ที่ได้รับความนิยมปลูกในประเทศไทย เนื่องจากเป็นแหล่งของสารอาหารต่าง ๆ และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ประกอบด้วย แกรมมา-โอโรซานอล 462 ug/g , เบต้าแคโรทีน 63 mg/100 g, โพลีฟีนอล 113.5 mg/100g และแทนนิน 89.33 mg/100 g [8] ตลอดจนมีการเสริมงาดำในเส้นสปาเก็ตตี้ เพื่อเพิ่มใยอาหารและแคลเซียม โดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์ เข้ามาช่วยแก้ปัญหาในการขึ้นรูปเส้นสปาเก็ตตี้ที่ไม่มีโปรตีนกลูเตนในโครงสร้าง ด้วยการอาศัยกระบวนเกิดเจลของสารไฮโดรคอลลอยด์อัลจิเนต ในสภาพที่มีเกลือแคลเซียม เจลที่ได้จึงมีความกรอบ และแน่น โดยสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง เจลที่ได้จะสมบูรณ์มากขึ้นเมื่อแช่น้ำ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิเย็น [9] และทำให้ขึ้นรูปเป็นเส้นหรือที่เรียกว่า spaghetti molecular [10] ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี (Molecular gastronomy) นำมาประยุกต์ให้เกิดเป็นรูปแบบเส้นสปาเก็ตตี้จากน้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำ โดยงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาเส้นสปาเก็ตตี้จากข้าวไรซ์เบอรี่เสริมงาดำ โดยใช้เทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมีแบบเส้น เพื่อเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ เพิ่มความหลากหลายในการใช้ประโยชน์จากแป้งปราศจากกลูเตนชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นวัตถุดิบภายในประเทศ นอกจากนั้นยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับเส้นสปาเก็ตตี้ จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกหนึ่ง ของผู้ที่มีอาการแพ้โปรตีนกลูเตนต่อไป

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาหารโมเลกุล (Molecular Gastronomy) คือ ศาสตร์ที่นำเอาหลักการทางวิทยาศาสตร์ เคมีและฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ในการประกอบอาหารเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุดิบ [11] โดยมีเทคนิคการปรุงหรือการประกอบอาหารหลากหลายรูปแบบ เพื่อสร้างอาหารรูปแบบแปลกใหม่ ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ที่ต้องการรับประทานอาหารที่ทั้งอร่อยและแปลกตา ซึ่งมีหลายเทคนิควิธี และวิธีที่นิยมใช้วิธีหนึ่งคือเทคนิคการทำให้เกิดเม็ดเจล Faux Caviar หรือเทคนิคการทำ Spherical หรือเทคนิคการทำให้เป็นเม็ดเจล ซึ่งเม็ดเจลนี้จะห่อหุ้มของเหลวชนิดต่าง ๆ ไว้ข้างใน เมื่อรับประทานเม็ดเจลนี้เข้าไปจะแตกหรือละลายในปาก โดยวัตถุดิบที่สำคัญในการทำเม็ดเจล คือ โซเดียมอัลจิเนต และสารละลายแคลเซียม วิธีการทำเริ่มจากนำโซเดียมอัลจิเนตมาละลายในอาหารเหลว และนำอาหารเหลวที่ผสมโซเดียมอัลจิเนต ค่อยๆ หยดลงไปในน้ำที่มีแคลเซียมละลายอยู่ จากนั้นค่อยๆช้อนเม็ดเจลที่ได้ขึ้นจากน้ำ โดยความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมจะส่งผลต่อลักษณะของเม็ดเจล เช่น ขนาดและความกลมของเม็ดเจล นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาโดยการทำให้เป็นเส้น คล้ายเส้นสปาเก็ตตี้จากน้ำผักชนิดต่าง ๆ [12] หรือที่เรียกว่า spaghetti molecular ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้มีการดัดแปลงจากน้ำผักชนิดต่าง ๆ เป็นแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ผสมงาดำ และปล่อยสารที่ต้องการให้เกิดเจลผ่านหลอดฉีดยา (Syringe) ที่ต่อกับสายยางเพื่อให้เกิดรูปร่างที่เป็นเส้นแทนรูปร่างที่เป็นทรงกลมแทนการใช้น้ำผัก

วรรณวิมล [13] ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลม โดยเริ่มจากการศึกษาระยะเวลาการแช่ในน้ำเย็น พบว่า ระยะเวลาในการแช่น้ำเย็น 12 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ทรงกลม ในขณะที่สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ทรงกลม คือ ใช้โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1.96 และแคลเซียมคอลไรด์ร้อยละ 1.59 โดยคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบปานกลาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 15 วัน

ญาตาวี [14] ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ นอกจากนี้ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ และศึกษาผลของเวลาในการแช่น้ำต่อการเกิดเจลของ “ไข่มุกข้าว” ผลการ ศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำ

คือ 1:4 โดยน้ำหนัก ใช้โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1.25 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.31 และพบว่าเมื่อระยะในการแช่น้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนัก ขนาด ค่าสี และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้

อัจฉรา และวรรณวิมล [15] ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทับทิมกรอบ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมแบบแช่แข็งย้อนกลับ ทำการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมแลคเตท ด้วยการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมแลคเตทที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของทับทิมกรอบทรงกลมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตทับทิมกรอบทรงกลม คือ การใช้โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1.05 และแคลเซียมแลคเตทร้อยละ 0.77 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคะแนนความชอบด้านสี ความสามารถในการแตก รูปร่างทรงกลม และความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง

3. วิธีการวิจัย

วัตถุดิบ และสารเคมี

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ตราหงส์ทอง บริษัทเจียเม้งมาร์เก็ต ประเทศไทย, งาคั่วบด ตราเพียวเกรน ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซิน อกรีฟู้ดส์, สารโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) food grade บริษัท ยูเนี่ยนซายน์ จำกัด และแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) food grade บริษัท ยูเนี่ยนซายน์ จำกัด, ประเทศไทย

เตรียมน้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

เตรียมน้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ดัดแปลงมาจากการเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ [14] โดยนำข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุก 60 กรัม (ข้าวสารต่อน้ำ 1:2 โดยน้ำหนัก) ผสมกับน้ำ 186 กรัม (ข้าวสุกต่อน้ำที่ใช้ปั่น 1 : 3.1) ปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม (Tefal รุ่น MF805บริษัท กรุ๊ป เอส อี บี, ประเทศไทย) ด้วยความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 30 วินาที 3 รอบ จนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน กรองส่วนผสมน้ำแป้งด้วยที่ร่อนแป้ง (ความละเอียด 80 เมส) นำน้ำแป้งที่ได้มาชั่งน้ำหนัก 82.15 กรัม สำหรับทำเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1 ส่วน

การเตรียมขึ้นรูปเส้นโดยใช้เทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี

การเตรียมเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้เทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมีแบบเส้น (Molecular gastronomy) ดัดแปลงจากเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม [14, 15] นำมาขึ้นรูปให้เป็นเส้นแทน โดยนำน้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมไว้ ผสมลงในสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1.25 ปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นมือถือ จนกระทั้งเป็นเนื้อเดียวกัน นำส่วนผสมที่ได้ใส่หลอดฉีดยา (Syringe) ขนาด 20 มิลลิลิตร ต่อกับสายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร ยาว 25 เซนติเมตร เพื่อช่วยในการขึ้นรูปให้เป็นเส้น และปล่อยลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.31 แช่ทิ้งไว้นาน 3 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นและพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที เก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้เป็นผลิตภัณฑ์ “เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่”

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของงาดำผงเสริมในเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่

เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ตามวิธีการข้างต้น โดยทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของงาดำผงร้อยละ 6, 8, 10 และ 12 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด นำมาผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นมือถือ และปล่อยลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความ

เข้มข้นร้อยละ 1.31 ส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1 แช่ทิ้งไว้นาน 3 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นและพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเพื่อทำการศึกษาคุณลักษณะของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงในแต่ละอัตราส่วนต่อไป

ตารางที่ 1 วัตถุดิบและปริมาณส่วนผสมเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำในแต่ละอัตราส่วน

ส่วนผสม	อัตราส่วนเส้นจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำ (ร้อยละ)			
	6	8	10	12
น้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่	76.15	74.15	72.15	70.15
โซเดียมอัลจิเนต	1.25	1.25	1.25	1.25
น้ำละลายสารโซเดียมอัลจิเนต	16.6	16.6	16.6	16.6
งาดำผง	6	8	10	12

ศึกษาคุณภาพของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี

นำเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงที่ขึ้นรูปเส้นด้วยเทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี ในแต่ละอัตราส่วนมาทำการวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- วิเคราะห์ค่าสีของผลิตเส้นข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงในแต่ละอัตราส่วน โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter lab รุ่น MiniScan EZ Manual Version 1.2 ซึ่งแสดงผลในรูปของค่าสว่าง (L *) ค่าสีแดง (a *) และค่าสีน้ำเงิน (b*)

- วิเคราะห์หาเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper รุ่น 150 มิลลิเมตร 0.02 มิลลิเมตร/6” x 1/128 นิ้ว)

- วิเคราะห์หาความหนืดของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง โดยการวัดการกระจายตัวของเนื้ออาหาร ด้วยการวัดความหนืดแบบแผ่เป็นรัศมีวงกลมที่ดัดแปลงจากวิธีของ Mc William [16] โดยใช้พิมพ์วงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ใช้น้ำแป้งปริมาณ 40 มิลลิลิตร ปล่อยลงในพิมพ์ จับเวลา 1 นาที วัดค่าการกระจาย 4 จุด

- การตรวจสอบลักษณะรูปร่าง (Morphology) ของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscope) กำลังขยาย 3 ระดับ คือ 60X , 100X , และ 500X นำตัวอย่างเส้นมาผ่าตัดขวางตามยาว 1 นิ้ว แล้วใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องเพื่อลักษณะรูปร่างและลักษณะภายในของเส้น บันทึกผลแสดงข้อมูลเป็นภาพถ่ายแต่ละกำลังขยาย

การทดสอบทางประสาทสัมผัส นำเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงทั้ง 4 ระดับ มาทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบที่ไมผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน (n=30) ด้วยวิธี 9 - point hedonic scale และคัดเลือกอัตราส่วนงาดำผง ที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุด มาทำการศึกษาในขั้นต่อไป

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง ที่ผ่านการคัดเลือก มาคำนวณหาคุณค่าทางโภชนาการ เปรียบเทียบกับตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย [17] และนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเส้นสปาเก็ตตี้สดทั่วไป

การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ในทุกชุดการทดลองสำหรับการวิเคราะห์ทางกายภาพวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ใช้การวางแผนแบบบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ ANOVA ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีของ Scheffe

4. ผลการวิจัย

ผลศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของงาดำผงเสริมในเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของงาดำผง 4 ระดับ คือ ร้อยละ 6, 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนักของน้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ แล้วนำมาขึ้นรูปแบบเส้นด้วยเทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี กำหนดความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต 1.25 และแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.31 โดยน้ำหนัก และนำมาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการวิเคราะห์ค่าสี เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงทั้ง 4 ระดับ พบว่า มีความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (d*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่อปริมาณงาดำผงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) ทั้งนี้เนื่องจากงาดำผงจะมีส่วนที่เป็นส่วนเปลือกสีดำ เมื่อเพิ่มลงในส่วนผสมของน้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีสีดำออกแดง และนำไปขึ้นรูปเป็นเส้นจะทำให้มีลักษณะเป็นจุดสีดำๆ จากเปลือกงาดำผง กระจายเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสว่างและค่าสีเหลืองของเส้นลดลงตามอัตราส่วนของงาดำที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนงาดำที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการทดสอบทางกายภาพของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง

ร้อยละของงาดำ	ความหนืด	เส้นผ่าศูนย์กลาง^{ns}	ค่าสีเส้น		
			L	a	b
6	2.59 ± 0.16^{b}	3.42 ± 0.21	25.82 ± 0.05^{d}	2.67 ± 0.04^{a}	2.69 ± 0.06^{b}
8	2.30 ± 0.14^{ab}	3.57 ± 0.13	24.94 ± 0.15^{c}	3.12 ± 0.14^{b}	2.57 ± 0.08^{b}
10	2.12 ± 0.16^{a}	3.30 ± 0.13	24.32 ± 0.06^{b}	3.29 ± 0.03^{b}	2.52 ± 0.08^{b}
12	1.91 ± 0.12^{a}	3.25 ± 0.30	23.02 ± 0.14^{a}	3.77 ± 0.06^{c}	2.28 ± 0.07^{a}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ Print ISSN: 2586-8101 Online ISSN: 2697-6447
ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม 2563 – มีนาคม 2564)

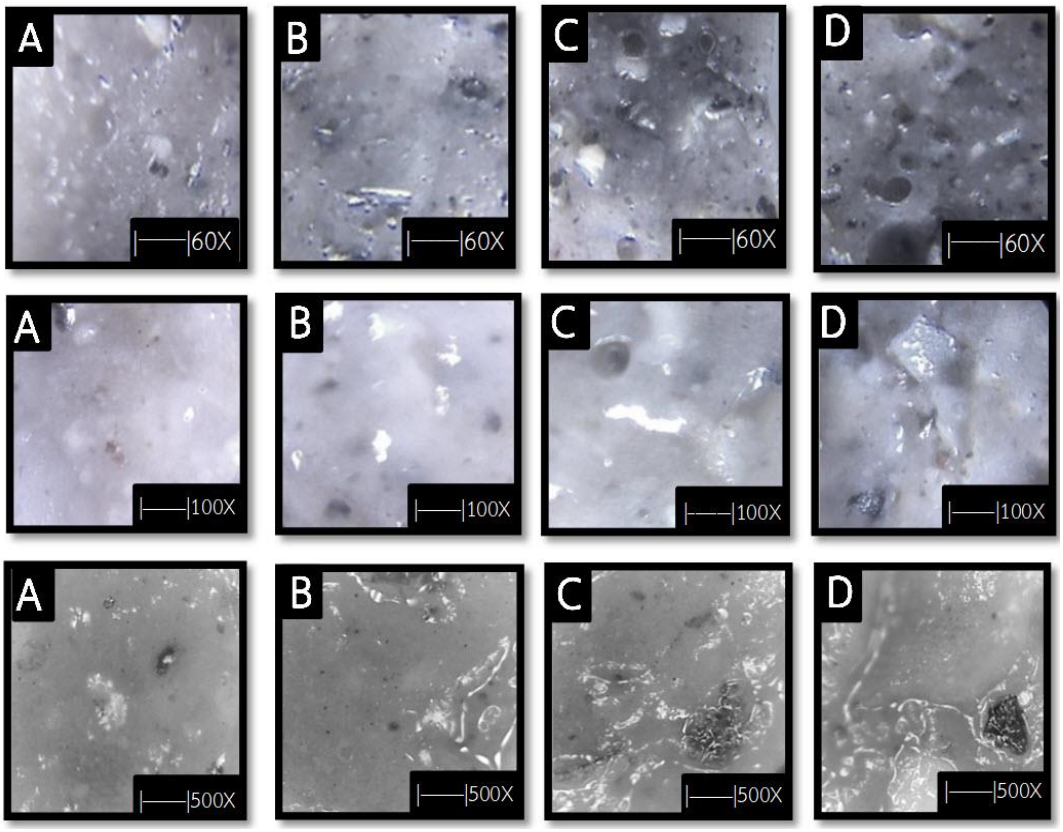
ภาพที่ 1 เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง 4 ระดับที่ขึ้นรูปเส้นด้วยเทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมี

ผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงทั้ง 4 ระดับ พบว่าแต่ละอัตราส่วนของงาดำที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ฯ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมของน้ำแป้งที่ผสมสารละลายโซเดียมอัลจิเนตในสภาวะที่เหมาะสม เมื่อปล่อยผ่านท่อสายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร ยาว 25 เซนติเมตร และแช่ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะเกิดการฟอร์มเจลขึ้นทันที ทำให้ขึ้นรูปเป็นเส้นได้ [15,18] ซึ่งการเกิดเจลเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอัลจิเนต และสารละลายเกลือแคลเซียม เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างโซเดียมอัลจิเนต กับแคลเซียมไอออนเกิดการก่อเจล และไขว้เชื่อมกลายเป็นแคลเซียมอัลจิเนต ซึ่งโครงสร้างภายในของเจลจะมีลักษณะคล้ายกล่องบรรจุไข่ (egg box) แคลเซียมอัลจิเนตที่ได้จะไม่ละลายน้ำ และเจลจะมีลักษณะเนื้อแข็งทนต่อการกัดกร่อน และทำหน้าที่กีดขวาง และควบคุมการแพร่ของอนุภาคที่ถูกกักเก็บได้ดี [14] ทำให้เส้นที่ปล่อยออกมามีขนาดใกล้เคียงกัน โดยทั้ง 4 ระดับจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.25 - 3.57 มิลลิเมตร

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด โดยวัดจากการกระจายตัวของน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำทั้ง 4 ระดับจะอยู่ในช่วง 1.93-2.59 มิลลิเมตร (ตารางที่ 2) พบว่า น้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นเส้นสปาเก็ตตี้ มีแนวโน้มหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อระดับงาดำผงเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากปริมาณงาดำผงที่เพิ่มขึ้นจะดูดซับน้ำในน้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีอัตราส่วนคงที่ ทำให้ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของงาดำผงที่เพิ่มขึ้น การปล่อยผ่านท่อสายยางเพื่อขึ้นรูปจะทำได้ยากเพิ่มขึ้น

ผลการตรวจสอบลักษณะรูปร่าง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงกำลังขยาย 3 ระดับ คือ 60X, 100X, และ 500X พบว่า การเพิ่มปริมาณงาดำผงส่งผลให้เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีส่วนของเปลือกงาดำกระจายเพิ่มขึ้นและมีฟองอากาศเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เสริมงาดำร้อยละ 6 จะการกระจายตัวของเปลือกงาดำน้อยที่สุดและมีผิวเนื้อสัมผัสเรียบ เนื่องจากมีปริมาณน้ำแป้งข้าวมากและเนื้องาน้อย สอดคล้องกับปริมาณอัตราส่วนของน้ำแป้งกับงาดำผงดังแสดงในตารางที่ 1 โดยเมื่อปริมาณงาดำผงเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำแป้งจะลดลง ส่งผลให้น้ำแป้งมีความข้นหนืดเมื่ออัตราส่วนของงาดำผงเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) เมื่อนำไปปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นมือถือจึงมีฟองอากาศกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำไปฉีดปล่อยในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพื่อขึ้นรูปเป็นเส้นจะเกิดการฟอร์มเจลทันที ทำให้เส้นที่ได้มีรูพรุนตามความหนืดที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณงาที่เพิ่มขึ้น และมีการกระจายตัวของงาดำเพิ่มขึ้น ในร้อยละ 8, 10 และ 12 ดังแสดงในภาพที่ 2

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ Print ISSN: 2586-8101 Online ISSN: 2697-6447
ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม 2563 – มีนาคม 2564)



ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างภายในของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง โดยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 60x, 100x, และ 500x (A) เสริมงาดำร้อยละ6, (B) ร้อยละ8, (C) ร้อยละ10, (D) และร้อยละ12 ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง 4 ระดับ โดยใช้เทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมีแบบเส้น ด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ พบว่า การเสริมงาดำผงทั้ง 4 ระดับมีคะแนนลักษณะปรากฏด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบรวมของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงร้อยละ 10 มีแนวโน้มคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด โดยมีคะแนนลักษณะปรากฏแต่ละด้านอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (6.17-6.93) ดังแสดงในตารางที่ 3 จึงนำอัตราส่วนดังกล่าวไปการคำนวณคุณค่าทางโภชนาการต่อไป

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ Print ISSN: 2586-8101 Online ISSN: 2697-6447
ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม 2563 – มีนาคม 2564)

ตารางที่ 3 คะแนนประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผง 4 ระดับ

ร้อยละของงาดำ	คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัส			
	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชอบรวม^{ns}
6	6.37±1.52	6.83±1.21	6.80±1.27	6.23±2.14
8	5.93±1.55	6.63±1.27	6.50±1.31	6.10±2.09
10	6.17±1.72	6.60±1.20	6.93±1.23	6.43±2.05
12	6.17±1.64	6.93±1.25	6.60±1.63	6.17±2.26

หมายเหตุ: ns: ค่าเฉลี่ยของแนวตั้ง หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5

การคำนวณคุณค่าทางโภชนาการ

เมื่อนำเส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงร้อยละ 10 ที่ผ่านการคัดเลือกมาคำนวณคุณค่าทางโภชนาการเทียบกับตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย [17] พบว่า เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำผงร้อยละ 10 ปริมาณ 100 กรัม ให้พลังงานดังแสดงในตารางที่ 4 และเมื่อนำมาเทียบกับเส้นสปาเก็ตตี้สุกทั่วไป พบว่า เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ฯ ที่พัฒนาขึ้นจะให้พลังงานเพิ่มขึ้น 2.08 เท่าในน้ำหนักที่เท่ากัน เนื่องจากในผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีส่วนประกอบของงาดำที่มีปริมาณไขมันสูงจึงให้พลังงานมาก [19] ทั้งในรูปแคลอรี่ ไขมันและคาร์โบไอเดรตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังให้ใยอาหารเพิ่มขึ้น 39 เท่าและแคลเซียม 13.75 เท่า จากส่วนประกอบของข้าวไรซ์เบอร์รี่และงาดำผงที่เสริมเข้าไป ตลอดจนมีสารอาหารอื่น ๆ เพิ่มขึ้นจากส่วนประกอบดังกล่าว (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เส้นข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำ 10 %

สารอาหาร	เส้นสปาเก็ตตี้สุก	เส้นสปาเก็ตตี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมงาดำ 10%	จำนวนสารอาหารที่เพิ่มขึ้น (เท่า)
พลังงาน	111 กรัม	231 กรัม	2.08
โปรตีน	3.4 กรัม	6.07 กรัม	1.78
ไขมัน	0.4 กรัม	5.26 กรัม	13.15
คาร์โบไฮเดรต	23 กรัม	40 กรัม	1.74
ใยอาหาร	0.1 กรัม	3.9 กรัม	39
แคลเซียม	8 มิลลิกรัม	110 มิลลิกรัม	13.75
วิตามินบี1	0.01 กรัม	0.4 กรัม	40
วิตามินบี2	0.01 กรัม	0.26 กรัม	26

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

จากการศึกษาพัฒนาเส้นสปาเก็ตตี้จากข้าวไรซ์เบอรี่ผสมงาดำ โดยใช้เทคนิคโมเลคคิวลาร์แกสโตรโนมีแบบเส้น พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบเส้น คือ น้ำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 72.15 (ข้าวหุงสุกต่อน้ำ 1 : 3.1) สารละลายโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1.25 น้ำที่ใช้ละลายสารร้อยละ 16.6 และงาดำผงร้อยละ 10 และปล่อยลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.31 แช่นาน 3 นาที เพื่อให้เกิดการขึ้นรูปเป็นเส้นได้ โดยลักษณะเส้นที่ได้มีลักษณะสีคล้ำมีจุดดำของงากระจายอยู่ทั่วทั้งเส้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.3 มิลลิเมตร มีระดับคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และมีคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากการคำนวณมากกว่าเมื่อเทียบกับเส้นสปาเก็ตตี้ต้มทั่วไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] จรินาถ ทิพย์รักษา และ สุภักษร นุดวงแก้ว. **พาสต้าเสริมเส้นใยจากแป้งถั่วแดงหลวง.** วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 2552, 4(1), หน้า 16 – 22.

[2] Rubio-Tapia, A., Hill, I. D., Kelly, C.P., et al. **ACG clinical guidelines: diagnosis and management of celiac disease.** American College of Gastroenterology. 2013, 108(5), หน้า 656-676.

[3] หทัยชนก ศรีประไพ, ฉัตรชนก บุญไชย และยศสินี หัวดง. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าสดจากแป้งข้าวกล้อง.** Thai Journal of Science and Technology. 2561, 7(1), หน้า 58 – 69.

[4] จิรนาถ บุญคง, และสุกัญญา ส่งแสง. การใช้แป้งข้าวฟ่างแทนเซโมลินาบางส่วนเพื่อใช้ในการผลิตพาสต้า. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2559, 42(2), หน้า 281 – 284.

[5] กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, อโนชา สุขสมบูรณ์ และอาภัสรา แสงนาค. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์; มหาวิทยาลัยบูรพา, 2558.

[6] ญาณี ไชยบุราณนนท์. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นสปาเกตตีสดเสริมใบชะคราม.** [วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2560.

[7] ขนิษฐา หมวดเอียด. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นพาสต้าปราศจากกลูเตนอบแห้งจากแป้งข้าวสังข์หยด.** วารสารวิจัยราชมงคลกรุงเทพ. 2561, 12(2), หน้า 91 – 102.

[8] นฤมล ธรรมทันตา และบรรณสรณ์ วิภูษิตวรกุล. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดลดพลังงานจากข้าวหักไรซ์เบอร์รี่.** [โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต] กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2559.

[9] Herrea M.G, Lozano-Esquivel I.E, Ponce de León - Ramírez Y.R, Martinez-Padilla L.P. **Effect of added calcium chloride on the physicochemical and rheological properties of aqueous mixtures of sodium caseinate / sodium aldinate and respective oil-in-water emulsions.** Food Hydrocolloids. 2012, 29, p.p. 175 - 184.

[10] Głuchowski A, Czarniecka-Skubina E, Pielak M, et al. **Sensory quality of molecular dishes and consumers' attitudes towards them.** Italian Journal of Food Science. 2019, 31(3), p.p. 501 – 513.

[11] Navarro, V., Gema, S., Dani, et al. **Cooking and nutritional science: Gastronomy goes further.** International Journal of Gastronomy and Food Science. 2012, 1, p.p. 37-45.

[12] This, H. **Food for tomorrow? How the scientific discipline of molecular gastronomy could change the way we eat.** EMBO reports. 2006, 7(11), p.p. 1062 - 1066.

[13] วรรณวิมล พุ่มโพธิ์ . **การผลิตเต้าหู้โดยใช้ เทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลม.** [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558.

[14] ญาตาวี ลิฐิตสมบูรณ์ และ ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม. **การเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม.** การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14, มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก, 2559.

[15] อัจฉรา ดลวิทยาคุณ และวรรณวิมล พุ่มโพธิ์. **การผลิตทับทิมกรอบโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมแบบแช่แข็งย้อนกลับ.** วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 2561, 13(2), หน้า 49-59.

[16] Mc Milliam, M. **Food: Experimental prepective**. 3rd edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1990.

[17] สถาบันวิจัยโภชนาการ. **Food composition database ND.3 for INMUCAL program**. นครปฐม : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2548.

[18] Lee P. and Rogers M.A. **Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate**. International Journal of Gastronomy and Food Science. 2012; 1, p.p. 96-100.

[19] กาญจนา บันสิทธิ์ และธีระพล บันสิทธิ์. **คุณค่าของกากงาดำดิบ.** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2557, 16(2), หน้า 47–54.