การประยุกต์ใช้สารสีสกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงในขนมจีน

The Application of Extracted Colorant from Waste Purple Waxy Corn Husks in Fermented Rice Vermicelli

ทิพวัลย์ ไหลหลั่ง เยาวภา นันต๊ะภูมิ และ อโนดาษ์ รัชเวทย์

Tipawan Rhailung, Yaowapa Nuntapoomt and Anodar Ratchawet*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Chemistry Department, Faculty of Science and Technology, Chiangmai Rajabhat University

Received : 21 March 2016

Accepted : 22 July 2016

Published online : 10 August 2016

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง และศึกษาความคงตัวของสารสีที่สกัดที่ได้ แล้วนำไปประยุกต์ใช้ในขนมจีน พบว่าสารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดสีม่วง โดยใช้เอทานอลผสมกรดซิตริกในอัตราส่วน 2:1 เป็นตัวทำละลายในการสกัด สามารถสกัดสารสกัดหยาบของแอนโทไซยานินได้ร้อยละผลผลิตปริมาณมากสุด คือ 22.71 % จากปริมาณเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 100 กรัม รองลงมาคือ เอทานอล น้ำ และกรดซิตริก ที่ได้ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 3.43, 3.41 and 1.97 % ตามลำดับ และจากการศึกษาผลของความร้อนต่อความคงทนของสี พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าดูดกลืนแสงของสีลดลง และเมื่อได้ทำการผสมสีที่สกัดได้กับแป้งทำเส้นขนมจีนเพื่อศึกษาความคงทนของสีโดยการปรับค่า pH และอุณหภูมิในการผสมกับแป้งขนมจีนให้เหมาะสมแล้ว พบว่าเส้นขนมจีนที่ปรับค่า pH และอุณหภูมิแล้วนั้น สีของเส้นขนมจีนจะอ่อนกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาวะที่ไม่มีแสงจะมีความคงตัวของสีสูงกว่าในสภาวะที่มีแสงทุกตัวอย่าง จึงสรุปได้ว่าสารสีที่สกัดได้นี้สามารถประยุกต์ไปใช้เป็นสารให้สีแทนสีทางการค้าในขนมจีนได้เป็นอย่างดี โดยพิจารณาเปรียบเทียบการเก็บรักษาระหว่างขนมจีนที่ผสมและไม่ผสมสารสีสกัดได้ผลไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : สารสี เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง แอนโทไซยานิน ขนมจีน การสกัด

*Corresponding author. E-mail : anodar@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was to extract the colorant from waste purple waxy corn husks and to study the stability of this extracted colorant. This colorant would be applied in fermented rice vermicelli. The proper solvent which extracted this colorant was the mixed solvent between ethanol and citric acid, which the ratio 2:1 with total percent yield of crude anthocyanin of 22.71 % from the purple waxy corn peel 100 grams, whereas ethanol, water and citric acid could extracted the colorant with percent yield of 3.43, 3.41 and 1.97 % respectively. From the colorant heat stability studied found that, the temperature increased the absorbance of anthocyanin in this colorant become lower. After this colorant had used with fermented rice vermicelli with the appropriate pH and temperature. That colored fermented rice vermicelli were paler and appearance were softer. That was the reason of using more time for fermented rice vermicelli to be cooked. In the other study found that the stability of this colorant in dark state more stable than in the light state. The research findings was this extracted colorant could be applied as a colorant in fermented rice vermicelli in the room temperature as well as the commercial colorant products. After comparing between using and non-using extracted colorant in fermented rice vermicelli and keep them in the room temperature, it's not show significantly different results.

Keywords: colorant, purple waxy corn husks, Anthocyanin, fermented rice vermicelli, extract

บทนำ

ในการประกอบอาหารเพื่อการบริโภคหรือเพื่อผลิตทางการค้า สีเป็นปัจจัยแรกที่ดึงดูดให้ ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อและยอมรับอาหารนั้นๆ โดยทั่วไปสีที่ใช้ในอาหารแบ่งได้ 3 ประเภท คือ สีสังเคราะห์ เป็นสีที่สังเคราะห์ขึ้นจากสารเคมีต่างๆ เช่น เออริโธรซิน, ตาร์ตาร์ซีน สีอนินทรีย์ เช่น ผงถ่านที่ได้จากการเผาพืช (Vegetable charcoal) ไทเทเนียมไดออกไซด์ และสีธรรมชาติเป็นสีที่สกัดได้จากพืชหรือสัตว์ เช่น แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ และแอนโทไซยานิน เป็นต้น (Francisco D. V. and Octavio P.L., 2002) ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสีจากธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น เพราะการบริโภคอาหารที่มีสีสังเคราะห์ในปริมาณสูงเกินไปหรือบริโภคบ่อยๆ จะทำให้ร่างกายไม่สามารถกำจัดออกได้หมด เมื่อมีการสะสมมากถึงระดับหนึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุ (Pigment) ที่ละลายน้ำได้จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ให้สีแดง ม่วง และน้ำเงิน เป็นสีที่พบได้ทั่วไปในดอกไม้ ผลไม้ ใบหรือลำต้นของพืชบางชนิด ซึ่งสามารถใช้เป็นสารให้สีในอาหารได้ (Coloring agent) (Galvanoa, *et al*., 2004) โดยจะมีสีน้ำเงินเข้มในสภาวะที่เป็นด่าง (pH มากกว่า 7) มีสีม่วงเมื่อเป็นกลาง (pH 7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้มในสภาวะที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 7) (Ninwanna and Sookarham, 2010) ปัจจุบันมีการใช้แอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้อาหารแลดูสวยงาม น่ารับประทาน เช่น ลูกกวาด ไวน์ ไอศกรีม เป็นต้น ซึ่งสามารถดึงดูดใจผู้บริโภคได้ทั้งเด็กและผู้ใหญ่

ปัจจุบันข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงกำลังเป็นที่นิยมในกลุ่มคนรักสุขภาพ เพราะมีสารแอนโทไซยานินสูง ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และโรคมะเร็ง เป็นต้น

(Lazze, M.C. *et. al.,* 2004) ทั้งนี้หลังจากบริโภคข้าวโพดแล้วจะมีเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจจะสกัดสารสีที่ได้จากธรรมชาติจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่เหลือทิ้งมาใช้ ให้เกิดประโยชน์ เพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร เพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภค เพราะสีที่ได้เป็นสีที่ได้มาจากธรรมชาติ

วัตถุประสงค์

1 เพื่อสกัดสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

2 เพื่อศึกษาความคงตัวของสารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

3 ศึกษาการนำสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีน

ขอบเขตการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงแห้งสายพันธุ์ GC. Kaoneo. No 52. Tak ที่ปลูกในพื้นที่อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยจำกัดอายุให้เท่ากันคือ วันที่ 3 หลังจากวันเก็บเกี่ยว แกะเปลือก นำเปลือกไปผึ่งให้แห้ง และเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. สารเคมี

1). ตัวทำละลายต่างๆ เช่น เอทานอล (Ethanol, C_2H_5OH), กรดซิตริก (Citric acid, $C_6H_8O_7.H_2O$), Analytical grade. 2). กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl), Analytical grade 3). โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH), AR grade, RCL Labscan, Thailand 4). โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (Potassium hydrogen phthalate, KHP), AR grade , Rankem, India 5). โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4), LR, Merck, Germany 6). โซเดียมเตตราบอเรตเดคาไฮเดรท (Sodium tetraborate decahydrate, $Na_2B_4O_7.10H_2O$), LR, Rankem, India 7).แป้งหมักขนมจีน ตราสิงห์ ผลิตโดยบริษัทเพชรมงคล จำกัด

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมตัวอย่างในการสกัด โดยทำความสะอาดเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงสด ผึ่งลมและทิ้งไว้ให้แห้งในที่ร่ม (คือเมื่อทำการชั่งน้ำหนักแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลง) ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการ ตัดเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ (Blender, Moulinex, AY46, France.) และทำการเก็บตัวอย่างไว้ในเดสิกเคเตอร์ และไม่ให้โดนแสง

2.2 การศึกษาการสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ชั่งน้ำหนักเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงแห้งที่เตรียมไว้ 100.0 g โดยใช้ตัวทำละลายต่าง ๆ คือ เอทานอล 95 % น้ำ กรดซิตริก (0.1 M) และเอทานอลผสมกรดซิตริก (ที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 2 : 1 ในปริมาตร 1 ลิตร) จากนั้นนำสารละลายที่มีเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงแช่อยู่ทุกชนิด นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องเขย่า (Orbital Shaker, UNIMAX 2010,

HEIDOLPH, Germany). นำสารละลายแต่ละขวดไปกรองแยกกาก เพื่อให้ได้สารละลายสีด้วยผ้าขาวบาง และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นเก็บสารละลายสีที่ได้ไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ ประมาณ 4 °C ในตู้เย็น (Refrigerator , Panasonic, SBC-P339K, Thailand.) และ นำเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงแห้งที่กรองตัวทำละลายออกแล้ว มาสกัดด้วยตัวทำละลายเดิมซ้ำอีก 2 ครั้ง

2.3 การทำให้สารสีเข้มข้น สำหรับ ตัวทำละลายที่ใช้คือ น้ำ กรดซิตริก และเอทานอลผสมกรดซิตริก จะทำให้สารสีเข้มข้นขึ้น โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็งที่อุณหภูมิ -50 °C และที่ความดัน $1.33x10^{-3}$ mbar (Freeze dry, FREEZONE 4.5, LABCONCO, USA.) ส่วน ตัวทำละลายที่ใช้เอทานอล จะทำให้สารสีเข้มข้นขึ้นโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporators, B-480, BUCHI, Switzerland.)ที่อุณหภูมิ 60 °C จนได้สารละลายข้นหนืด และนำไปศึกษาหาปริมาณแอนโทไซยานินรวมจากสารสีที่สกัดได้ต่อไป

2.4 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน เริ่มจากการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1 และ pH 4.5 โดยการปิเปตสารละลายสี 1.0 cm^3 แล้วนำมาผสมในสารละลาย pH บัฟเฟอร์ที่เตรียมไว้จนครบ 10.0 cm^3 จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสง ในสารละลาย pH 1 และ pH 4.5 โดยใช้การสะแกนหาค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λmax) 2 ค่า คือที่ช่วงประมาณ 270 - 280 nm (บันทึกค่า λvis max) กับที่ 700 nm จากเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer, UV1600, Shimadzu, Japan) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ มาคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินรวมด้วยวิธี pH Differential Method ตามวิธีของ Lee, *et al*. (2005) โดยคำนวณจากสมการที่ (1) ส่วนสารละลายอื่นๆ ก็เจือจางในความเข้มข้นที่เหมาะสม

$$\text{Monomeric anthocyanin (mg/L)} = (A \times MW \times DF \times 1000)/(\varepsilon \times 1) \quad \ldots\ldots(1)$$

โดยที่ $A = (A\lambda_{vis\ max} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A\lambda_{vis\ max} - A_{700})_{pH\ 4.5}$

MW = มวลโมเลกุลของแอนโทไซยานิน

DF = Dilution factor

ε = โมลาร์แอบซอร์พติวิตี โดยทั่วไปมักใช้ค่าของ ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH = 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26,900 M^{-1} cm^{-1}

2.5 การศึกษาความคงตัวของสารสีที่สกัดได้

การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อความคงตัวของสารสี โดยการ เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 จากนั้น ทำการชั่งสารสีที่สกัดโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย 0.5 g ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนครบ 100 cm^3 จากนั้น ปิเปตสารละลายที่ได้ 1.0 cm^3 ผสมสารละลาย pH บัฟเฟอร์ที่เตรียมไว้ 9.0 cm^3 ทำการ ตรวจสอบความคงตัวของสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงโดยวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาว

คลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λmax) ของแต่ละ pH และค่าการดูดกลืนแสง (Abs) ของสารละลาย pH ต่างๆ และทำซ้ำโดยเปลี่ยนการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสีที่สกัดจากเอทานอล กรดซิตริก และเอทานอลผสมกรดซิตริก ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อความคงตัวของสารสี โดยการ เลือกสารละลาย pH ที่มีความคงตัวจากการทดสอบผลของ pH มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30, 50, 70 และ 90 °C ในอ่างควบคุมความร้อนเป็นเวลา 30 นาที ด้วยอ่างควบคุมความร้อน (Water bath, memert, schwabath FRG, Germany). จากนั้นวัดค่า การดูดกลืนแสงของสารละลายแต่ละ pH ที่อุณหภูมิต่างๆ และ เลือกอุณหภูมิที่สารสีมีความคงตัวมากที่สุด มาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนต่อไป

2.6 การศึกษาการประยุกต์ใช้สารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงในผลิตภัณฑ์ขนมจีน โดยการวัดค่า pH ของแป้งขนมจีนหลังการนวดแป้งด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, Metrohm, 826 pH mobile, Switzerland.) จากนั้นนำแป้งมาผสมน้ำ และทำการนวดจนแป้งผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ นำสีที่สกัดได้จากจากตัวทำละลายที่เหมาะสมมาละลายน้ำ และนำมาผสมกับแป้งขนมจีนและวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำแป้งอีกครั้ง และทำการนำแป้งที่ผสมสีแล้วดังกล่าว มาผสมน้ำส้มสายชู เพื่อปรับ pH ให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปขนมจีนต่อไป โดยวัดอุณหภูมิของน้ำร้อนสำหรับบีบเส้นขนมจีน โดยเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้ ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Infrared Temperature, OEM, TER002, Canada.)

3). ทดสอบความคงทนของสารสีสกัดเมื่อนำมาผสมในแป้งทำเส้นขนมจีน โดยการนำแป้งขนมจีนทั้งที่ไม่ได้ผสมสารสีที่สกัดได้และขนมจีนที่ผสมสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยเลือกจาก สารสีที่สกัดจากตัวทำละลายที่มีปริมาณผลผลิตหยาบมากที่สุดและปรับให้มีค่า pH และอุณหภูมิ ที่มีความคงทนต่อค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แล้วนำแป้งมาโรยเส้นในน้ำร้อนเพื่อขึ้นรูปเส้นขนมจีน ในสภาวะที่ดีที่สุดที่เลือกมาจากผลการวิจัยที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ จากนั้นนำทุกตัวอย่างมาแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนที่ 1 นำไปเก็บไว้ในสภาวะที่มีแสง ส่วนที่ 2 นำไปเก็บไว้ในที่สภาวะไม่มีแสง โดยเก็บทุกตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกที่เจาะรู และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงทุกวัน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 การศึกษาการสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

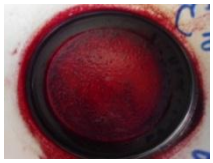
การศึกษาการสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงด้วยตัวทำละลายในการสกัดที่แตกต่างกัน และการเก็บรักษาไว้ในถุงพลาสติก เพื่อจำลองสถานการณ์การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 จากข้อมูลในตาราง พบว่าการสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงโดยใช้ตัวทำละลายได้แก่ เอทานอล น้ำ กรดซิตริก เอทานอลผสมกรดซิตริก พบว่า ตัวทำละลายในการสกัด คือ เอทานอลผสมกรดซิตริก สามารถสกัดสารสีสกัดหยาบ (crude) ซึ่งมีปริมาณร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบต่อปริมาณเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง กรัม 100 มากที่สุด คือ 45.50 รองลงมาคือกรดซิตริก เอทานอล และน้ำ ซึ่งสามารถสกัดสารสีได้ปริมาณ 31.73 % , 14.18% และ10.46 % ตามลำดับ สอดคล้องกับ Qin, C.*et al.,* (2010) ซึ่งมีการรายงานว่าการสกัดด้วยสารละลายกรด หรือสกัดในสภาวะที่เป็นกรด จะช่วยทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (flavylium cation) น้อยที่สุด อีกทั้งแอนโทไซยานินที่ได้ยังมีความเสถียรและ Jarayapun (2004) ยังได้มี

การศึกษาว่า หากสกัดในกรด หรือสารละลายกรด จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดให้สูงขึ้นอีกด้วย และนอกจากนี้ ในตารางที่ 1 ได้มีการแสดงรูปลักษณะของสารสกัดหยาบ ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบ และร้อยละผลผลิตของแอนโทไซยานินรวมเฉลี่ย ของตัวทำละลายในการสกัดที่แตกต่างกัน รวมทั้งสามารถแสดงการคำนวณค่าร้อยละผลผลิตของแอนโทไซยานินรวมเฉลี่ย ได้ดังสมการที่ (2) ดังนี้

ปริมาณแอนโทไซยานินรวม (% w/w) =
ปริมาณแอนโทไซยานิน จากสมการ (1)ในหน่วย ppm (mg/L) x ปริมาตรสารละลายที่ปิเปตมาครั้งแรกก่อนเจือจาง (mL) x 100 % x ปริมาณสารตั้งต้นที่ผ่านการทำให้เข้มข้น (กรัม) / ปริมาณสารตั้งต้นที่ชั่งมาละลายในตัวทำละลาย (กรัม).....(2)

ซึ่ง การหาค่าร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบ คือการหาปริมาณสารสีสกัดหยาบที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง(กรัม) ต่อปริมาณเปลือกข้าวโพดแห้งปริมาณ 100 กรัม ส่วนการคำนวณจากสมการ (2) นั้น เป็นร้อยละผลผลิตของแอนโทไซยานินรวมเฉลี่ย คือการหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณแอนโทไซยานินที่อยู่ในสารสีสกัดเริ่มต้น หลังจากผ่านการทำให้แห้ง ซึ่งแอนโทไซยานินนั้นจะอยู่รวมกันหลายรูปแบบ

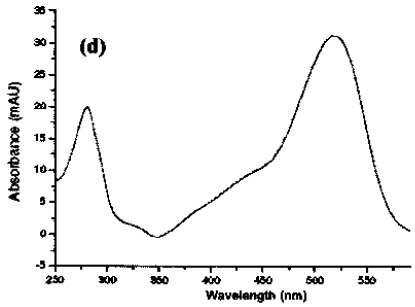
ตารางที่ 1 ลักษณะของสารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน

ตัวทำละลาย	ลักษณะสารสีที่สกัดได้	ลักษณะที่ปรากฏ	ร้อยละผลผลิต สารสกัดหยาบ เฉลี่ย (%w/w)	ร้อยละผลผลิตของแอนโทไซยานินรวมเฉลี่ย (%w/w)
เอทานอล	สารละลายสีม่วงแดง เมื่อทำให้สีเข้มขึ้นจะได้ สารละลายข้นสีดำ		14.18 ± 0.08	3..41 ± 0.02
น้ำ	สารละลายสีม่วง เมื่อทำให้สีเข้มขึ้นจะได้ของแข็งสีม่วงเข้มออกดำ		10.46 ± 0.14	1.97 ± 0.05
กรดซิตริก	สารละลายสีแดง เมื่อทำให้สีเข้มขึ้นจะได้ของแข็งสีแดง		31.72 ± 0.02	3.43 ± 0.03
เอทานอลผสมกรดซิตริก	สารละลายสีแดงเข้ม เมื่อทำให้สีเข้มขึ้นจะได้ของแข็งสีม่วงเข้มออกดำ		45.50 ± 0.16	22.71 ± 0.18

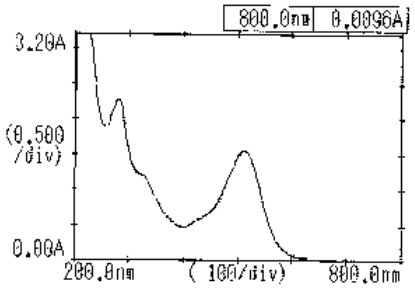
3.1 การศึกษาหาปริมาณแอนโทไซยานินรวมจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

การศึกษาหาปริมาณแอนโทไซยานินจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงด้วยวิธีพีเอชดิชเฟอเรนเชียล (pH – Differential method) ตามวิธีของ Lee and *et al*. (2005) โดยใช้เอทานอล น้ำ กรดซิตริก และเอทานอลผสมกรดซิตริกเป็นตัวทำละลาย ในการสกัด แสดงผลได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งจากข้อมูล พบว่า การสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงโดยใช้เอทานอลต่อกรดซิตริกเป็นตัวทำละลาย จะมีปริมาณร้อยละผลผลิตของแอนโทไซยานินรวมมากที่สุด รองลงมาคือ เอทานอลน้ำ และ กรดซิตริก ตามลำดับ ซึ่งการสกัดปริมาณแอนโทไซยานินรวมโดยใช้ตัวทำละลายแตกต่างกัน และเมื่อทำการสกัดซ้ำ (ใช้เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเดิมในการสกัด) จะทำให้ได้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้ในครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 จะมีปริมาณแอนโทไซยานินรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Amelia, F., *et al*. (2013) ที่ทำการสกัดแอนโทไซยานินจาก buni โดยใช้เอทานอล กรดไฮโดรคลอริก และกรดซิตริก เป็นตัวทำละลาย โดยพบว่าอัตราส่วนระหว่างเอทานอล 70% ผสมกรดซิตริก 3% สามารถสกัดแอนโทไซยานินจาก buni ออกมาได้มากที่สุด เนื่องจากการสกัดแอนโทไซยานินด้วยเอทานอล (Escribano-Bailon M. T. *et .al*., 2004) จะทำให้โครงสร้างแอนโทไซยานินอยู่ในรูปฟลาวีเลียม (flavylium) (ในแบบไอออนบวกที่มีสีแดง) จะทำให้แอนโทไซยานินที่ได้มีความเสถียรสูง และ Socaciu, C. (2007) ทำการสกัดแอนโทไซยานินโดยใช้กรดอินทรีย์ที่ระเหยง่าย เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดซิตริก และกรดทาร์มาริก ในความเข้มข้นน้อย (0.01-3%) จะช่วยลดการสลายตัวของเม็ดสีได้ สำหรับการตรวจเอกลักษณ์เบื้องต้นของแอนโทไซยานิน เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Konghom, 2004) ซึ่งจะให้ค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (maximum absorption, λ_{max}) ที่ความยาวคลื่น 2 ช่วงคือ 270 - 280 nm (band I) และ 465 - 560 nm (band II) ดังแสดงในภาพที่ 1

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า UV-VIS สเปกตรัมของสารสีที่สกัดได้มีค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (maximum absorption, λ_{max}) 2 ค่า คือที่ 281.0 และ 521.0 nm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกราฟมาตรฐาน cyanidin 3-O-rutinoside ในภาพที่ 1 ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าสารสีที่ได้จากการสกัดเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว สีม่วงคือแอนโทไซยานินรูปแบบหนึ่ง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qin,C., *et al*. (2010) ซึ่งได้ทดสอบเอกลักษณ์ของสารสีแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากผลมัลเบอรี การสกัดใช้ตัวทำละลาย 95 % เอทิลอัลกอฮอล์ ต่อ 0.1% HCl (อัตราส่วน 1 : 1) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในที่มืด และหลังทำการแยกในคอลัมน์ C-18 และวิเคราะห์สารสีที่สกัดด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ทำการบันทึกสเปกตรัมตั้งแต่ 200 - 800 nm และวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC-PDC, LC-MS และ ^{1}H NMR ผลการวิจัยพบว่า ที่ pH = 3 สเปคตรัมมีค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด 2 ค่า คือที่ ความยาวคลื่น 280 nm ซึ่งอยู่ในช่วง สเปคตรัม UV และที่ 520 nm ซึ่งอยู่ในช่วง สเปคตรัม Visible ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจากสารแอนโทไซยานินมาตรฐาน ดังแสดงในที่ 1 จากอ้างอิง จาก Longo, L. and Vasapollo, G. (2006). จึงอาจจะยืนยันได้ว่าสารสีแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงในงานวิจัยนี้เหมือนกับสารสีที่พบในผลมาล์เบอรี คือมีสารแอนโทไซยานิน อยู่ในกลุ่มโครงสร้างแบบ cyanidine ซึ่ง ในผลมาล์เบอรีมี cyaniding 3- o- rutinoside (คือ มีประมาณ 60 %) และสาร cyaniding 3- o-glucoside (38 %) เป็นหลัก ส่วนน้อยอีก 2 % เป็นสารพวก แอนโทไซยานิน ประเภท pelargonidin 3-o- glucoside และ pelargonidin 3- o- rutinoside



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐาน cyanidin 3-O-rutinoside
ที่มา: Longo, L. and Vasapollo, G. (2006).

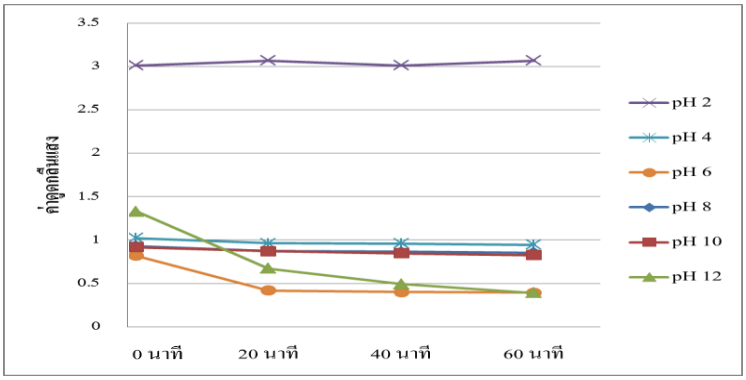


ภาพที่ 2 กราฟที่ได้จากสารสีที่สกัดโดยใช้เอทานอลผสมกรดซิตริกเป็นตัวทำละลาย

3.2 การหาความคงทนของสารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

3.2.1 การศึกษาผลของ pH ต่อความคงทนของสารสี

ในการศึกษาความคงทนของสีที่มีต่อ pH โดยเลือกใช้ pH ที่ 2 4 6 8 10 และ 12 โดยชั่งสารสีที่ได้มาจากการใช้ตัวทำละลายที่สามารถสกัดได้สารสีสกัดหยาบปริมาณมากที่สุด (ก็คือ สารสีที่สกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยใช้ตัวทำละลาย เอทานอลผสมกรดซิตริก เป็นตัวทำละลาย) 0.5 g ละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 100 cm^3 นำมาผสมกับสารละลายที่ pH ต่าง ๆ ในอัตราส่วน สารละลายสีต่อสารละลาย pH เป็น 1 : 9 แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงทุก ๆ 20 นาที จนครบ 60 นาที ได้ผลดังข้อมูลรูปภาพที่ 3 การหาค่า pH ต่อความคงทนของสารสี พบว่าที่ pH 2 4 8 และ 10 จะมีความคงตัวกว่าที่ pH 6 และ 12 ซึ่งเห็นได้จากกราฟค่าการดูดกลืนแสงที่ค่อนข้างคงที่ ดังนั้นในการทดสอบความร้อนต่อความคงทนของสารสีจึงเลือกใช้ pH 2 4 8 และ 10 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qin, C., *et al*. (2010) ซึ่งทดสอบความคงทนของสีแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากผลมาล์เบอรี เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า pH และอุณหภูมิ พบว่า สารเอนโทรไซยานินที่สกัดได้จะมีความเสถียร ที่ pH $<$ 5 โดยจะให้สีตั้งแต่ สีแดงจนถึงม่วงเข้ม และ จะไม่เสถียรในสภาวะที่เป็นกลางหรือในสภาวะที่เป็นเบส หรือ pH $>$ 5 โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงสีตั้งแต่ ไม่มีสีจนเป็นสีฟ้า แต่อย่างไรก็ตาม ผลวิจัยพบว่าในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสีแอนโทไซยานินด้วยวิธี UV-VIS Spectrophotometry พบว่า เมื่อค่า pH เพิ่มมากขึ้น สารแอนโทไซยานินจะปรากฏอยู่ในรูปแบบผสมของสารแอนโทไซยานินหลายรูปแบบ ทำให้ค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดค่าที่ตำแหน่ง 520 nm มีค่า การดูดกลืนแสงน้อยลง จากที่ pH = 1 3 และ 5 ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นจาก pH = 7 ซึ่งมีค่า λ_{max} น้อยมาก และ เพิ่มขึ้น เมื่อ pH = 11 และสูงสุด ที่ pH = 9 ดังนั้นจากในภาพที่ 4 ทำให้ค่า pH = 6 และ 12 ไม่มีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีน จึงอาจเป็นหลักฐานสนับสนุนว่าสารแอนโทไซยานินที่สกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง น่าจะเป็นชนิดเดียวกับในสารสีเอนโทรไซยานินที่สกัดได้จากผลมาล์เบอรี เนื่องจากมีผลกระทบของค่า pH คล้ายกัน



ภาพที่ 3 แสดงผลของ pH ต่อความคงทนของสารสี (เอทานอลผสมกรดซิตริกเป็นตัวทำละลาย)

3.2.2 การศึกษาผลของความร้อนต่อความคงทนของสารสี

ในการศึกษาผลของความร้อนต่อความคงทนของสารสีจะเลือกค่า pH ที่ 2 4 8 และ 10 ที่เลือกได้จากการทดสอบผลของ pH ที่มีต่อความคงทนของสารสีมาทดสอบต่อ โดยนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 50 70 และ 90 °C ในอ่างควบคุมอุณหภูมินาน 30 นาที ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4 จากข้อมูล การหาความคงทนของสารสีต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ pH 2, 4, 8 และ 10 พบว่า สารสี ที่สภาวะ pH 2 และ 4 มีความคงทนกว่าสารสีที่สภาวะ pH 8 และ 10 เห็นได้จากกราฟที่ pH 2 และ 4 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงยังค่อนข้างคงที่

จากตารางที่ 2 เป็นตารางการเปรียบเทียบสีของขนมจีนที่ผสมสารสกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงโดยสกัดมาจากตัวทำละลายต่างกัน เปรียบเทียบระหว่างขนมจีนที่มีการปรับค่า pH และอุณหภูมิ และขนมจีนที่ไม่มีการปรับค่า pH และอุณหภูมิ พบว่าทุกตัวอย่างมีสีซีดจางลงทั้งสิ้น หลังจากมีการปรับค่า pH และ อุณหภูมิ ทั้งนี้ pH ที่เหมาะสมในการทำแป้งขนมจีนทั้งขนมจีนแบบหมักและขนมจีนแบบสด จะอยู่ในช่วง 3.0-6.0 ดังนั้นจึงเลือก pH 4 ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีน และทดสอบความคงตัวของสารสีแอนโทไซยานินที่มีต่อแสงต่อไป ส่วนการศึกษาผลของความร้อนต่อความคงทนของสารสี พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจะทำให้ค่าดูดกลืนแสงมีค่าลดลง แสดงว่าที่อุณหภูมิสูงจะทำให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qin, C., *et al*. (2010) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและ pH ต่อความเสถียรของสารละลายผงสีแดงที่สกัดจากผลมาล์เบอรี พบว่าที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้สีเกิดการสลายตัวน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง และ Areekul (2009) ได้ทำการวิจัยพบว่าในการให้ความร้อนแก่น้ำบลูเบอรี่ เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ ก็จะทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ pH 4 และอุณหภูมิที่ 70 °C ในการจะนำสารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีนต่อไป เนื่องจากถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 70 °C จะทำให้ใช้เวลานานในการทำให้แป้งขนมจีนสุก และหากขนมจีนที่ผสมสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานาน ก็จะทำให้แอนโทไซยานินสลายตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย

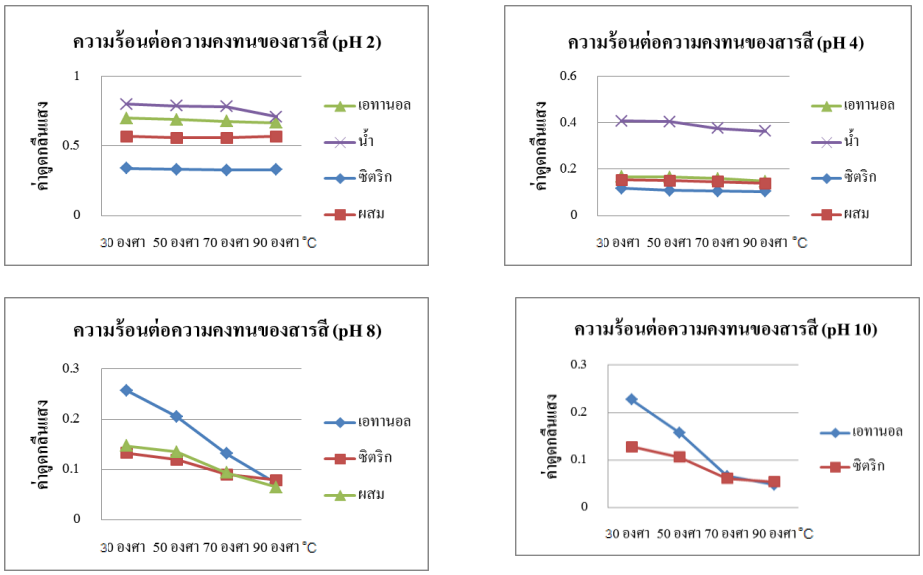
3.3 การประยุกต์สารสีในผลิตภัณฑ์ขนมจีน

3.3.1 การศึกษาผลของแสงต่อความคงทนของสารสี เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีน

หลังจากทำการศึกษาผลของแสงต่อความคงทนของสารสี ในเก็บรักษาขนมจีนในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง โดยเปรียบเทียบระหว่างขนมจีนที่ไม่ผสมสารสี เก็บไว้ที่มีแสงและไม่มีแสง กับขนมจีนที่ผสมสารสีสกัดได้จากเปลือกข้าวโพด ข้าวเหนียวสีม่วง ที่เก็บไว้ในที่มีแสงและไม่มีแสง โดยพบว่าหลังจากนำแป้งขนมจีนที่ไม่ได้ผสมสีมานวด แล้วโรยเส้นในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 70 ° C และชั่งสารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (โดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดต่างชนิดกัน) 1 กรัม ผสมลงในแป้งขนมจีน 0.5 กิโลกรัม นวดแป้งขนมจีนจนผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับสารสี และนำไปโรยเส้นในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 °C โดยจะมีการศึกษาผลของแสงต่อการเก็บรักษาขนมจีน โดยแบ่งผลิตภัณฑ์คือทั้งเส้นขนมจีนที่ผสมและไม่ผสมสารสีสกัดเป็น 2 ส่วนโดยส่วนแรกนำไปเก็บไว้ในที่มีแสง ส่วนที่ 2 เก็บไว้ในกล่องดำเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์อาหารโดนแสง ทั้งนี้ในการสังเกตสภาวะของแป้งขนมจีนทั้งหมด ได้ทำการวิจัย ณ อุณหภูมิห้อง (37 ± 1 °C) จากตารางที่ 3 พบว่าเส้นขนมจีนจากแป้งโรงงานตัวอย่าง มีค่า pH หลังนวดแป้ง เท่ากับ 6.8 โดยใช้อุณหภูมิในการต้มเส้นแป้งให้สุกที่ 70 °C ซึ่งโดยปรกติการผลิตเส้นขนมจีนจะทำที่อุณหภูมิประมาณ 92 °C ทำให้ได้เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล (สีจากการหมักแป้ง) และยัง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป เส้นขนมจีนจะคงทนในสภาวะที่ไม่มีแสง มากกว่าสภาวะที่มีแสง

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบสีของเส้นขนมจีนที่ผสมสารสีสกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยสกัดมาจากตัวทำละลายที่แตกต่างกัน และทำการเปรียบเทียบระหว่างขนมจีนที่มีการปรับให้ค่า pH = 4 และอุณหภูมิเท่ากับ 70 °C กับขนมจีนที่ไม่มีการปรับ pH และอุณหภูมิ

ตัวทำละลาย	การเปรียบเทียบ	
	ไม่ปรับค่า pH, T	ปรับค่า pH, T
เอทานอล		
น้ำ		
กรดซิตริก		
เอทานอลผสมกรดซิตริก		



ภาพที่ 4 แสดงผลความคงทนของสารสีต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น (เอทานอลผสมกรดซิตริกเป็นตัวทำละลาย) ที่ pH 2 4 8 และ 10

ส่วนตารางที่ 4 เป็นการศึกษาผลของแสงต่อความคงทนของสารสีที่สกัดมาจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงในผลิตภัณฑ์ขนมจีน (โดยใช้เอทานอลผสมกรดซิตริกเป็นตัวสกัด) พบว่าหลังจากการนำสารสีม่วงที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงผสมลงในเนื้อแป้ง จะทำให้เส้นขนมจีนมีสีม่วงและชมพู หลังจากนั้นทำการทดสอบแป้งขนมจีน หลังจากผสมสารสีสกัดแล้ว โดยการปรับค่า pH ให้เป็น 4 โดยใช้น้ำส้มสายชู และใช้อุณหภูมิในการต้มแป้งให้สุกที่ 70 °C จะทำให้ขนมจีนที่ได้มีสีม่วงอ่อน เนื่องจากการต้มแป้งให้สุกที่ 70 °C เป็นเวลา10 นาที ซึ่งจากงานวิจัยนี้จะส่งผลให้สีของเนื้อแป้งอ่อนลง เนื่องจากผลของอุณหภูมิทำให้สีของแอนโทไซยานินมีการสลายตัว สีจึงซีดจางลง ซึ่งเทียบกับงานวิจัยของ Jarayapun (2004) ซึ่งมีการใช้สีของลูกพุดแต่งอาหารที่ต้องผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 92 °C ดังนั้นในการนำแป้งหมักขนมจีนมาทดสอบความคงทนของสีในสภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่าในสภาวะที่ไม่มีแสงจะมีความคงตัวของสีสูงกว่าในสภาวะที่มีแสง ทั้งขนมจีนที่ไม่ผสมสารสีสกัดและผสมสารสีสกัด

ตารางที่ 3 แสดงการศึกษาผลของแสงต่อความคงทนของขนมจีนที่ไม่ได้ผสมสารสีสกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

วันที่	การสังเกตการเปลี่ยนแปลงขนมจีนที่ไม่ได้ผสมสารสีสกัด		สีของผลิตภัณฑ์
	สภาวะที่มีแสง	สภาวะที่ไม่มีแสง	
1	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล	
2	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล สีเข้มขึ้น	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล	
3	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล สีเข้มขึ้น เกือบเป็นสีน้ำตาล	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล	
4	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองเข้มขึ้นเกือบเป็นสีน้ำตาล	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล	
5	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองออกน้ำตาลและเริ่มเสีย	เส้นขนมจีนมีสีเหลืองนวล	

จะเห็นได้ว่าทั้งขนมจีนที่ไม่ได้ผสมสารสีและผสมสารสี จะมีปฏิกิริยาต่อแสงแตกต่างกัน โดยขนมจีนทั้งสองชนิดที่เก็บในสภาวะมีแสงจะเสียเร็วกว่าในสภาวะไม่มีแสง โดยจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ชัด ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 4 แสดงการศึกษาผลของแสงต่อความคงทนของสารสีในผลิตภัณฑ์ขนมจีน โดยใช้เอทานอลผสมกับกรดซิตริกเป็นตัวสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

วันที่	การสังเกตการเปลี่ยนแปลงขนมจีนหลังจากผสมสารสีสกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง		สีของผลิตภัณฑ์
	สภาวะที่มีแสง	สภาวะที่ไม่มีแสง	
1	เส้นขนมจีนมีสีม่วง	เส้นขนมจีนมีสีม่วง	
2	เส้นขนมจีนมีสีม่วงเข้ม บางส่วนมีสีครามน้ำเงินเห็นได้ชัดเจน	เส้นขนมจีนมีสีม่วงเข้มกว่าที่มีแสง บางส่วนมีสีครามน้ำเงินเห็นได้ชัดเจน	
3	เส้นขนมจีนมีสีครามน้ำเงิน บางส่วนมีสีชมพู และมีราสีดำเกิดขึ้น	เส้นขนมจีนมีสีครามน้ำเงิน บางส่วนมีสีชมพู และมีราสีดำเกิดขึ้น	
4	เส้นขนมจีนมีสีครามน้ำเงิน บางส่วนมีสีชมพู และมีราสีดำเกิดขึ้น	เส้นขนมจีนมีสีครามน้ำเงินเล็กน้อย และสีชมพู มีราสีดำเกิดขึ้น	
5	เส้นขนมจีนเสียเล็กน้อย มีสีชมพูเล็กน้อย มีราสีดำและสีเหลือง	เส้นขนมจีนเสียเล็กน้อย มีสีชมพูเล็กน้อย มีราสีดำและสีเหลือง	

จากผลการวิจัย พบว่า ขนมจีนที่ทำการผสมสารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพด ที่ pH ต่ำ แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปไอออนฟลาวีเลียม (flavylium cation) ซึ่งทำให้สารละลายมีสีแดง ชมพู แต่เมื่อเก็บไว้นานขึ้น สภาวะของขนมจีนจะมีค่า pH เพิ่มสูงขึ้น แอนโทไซยานินจะอยู่ในรูป chaclone และ carbinol pseudo-base จะให้สารละลายมีสีออกม่วง จนถึงฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hunjaroen and Chantanawarangoon (2008). ที่กล่าวว่าการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อ pH เพิ่มขึ้น เพราะโครงสร้างของแอนโทไซยานินในสภาวะที่เป็นกรดมีความคงตัวมากกว่าในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง ซึ่งทั้งนี้เนื่องจากเก็บขนมจีนไว้ที่อุณหภูมิห้อง การเปลี่ยนแปลงจึงเริ่มเปลี่ยนตั้งแต่วันที่ 2 ของการเก็บรักษา ซึ่งให้ผลเด่นชัดกว่าขนมจีนที่ไม่ผสมสารสีสกัด

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีน พบว่าการสกัดสารสีจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยตัวทำละลายเอทานอลผสมกรดซิตริก สามารถสกัดสารสีสกัดหยาบ ออกมาได้มากที่สุด คือ 45.50 % w/w รองลงมาจะเป็นตัวทำละลายกรดซิตริก เอทานอล และ น้ำ ตามลำดับ ส่วนในการหาปริมาณ

ของแอนโทไซยานินรวมจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ตัวทำละลายที่สามารถสกัดปริมาณร้อยละแอนโทไซยานินรวมจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง 100 กรัม ออกมาได้มากที่สุด คือ ตัวทำละลายเอทานอลผสมกรดซิตริก คือ 22.71 % รองลงมาจะเป็นเอทานอล น้ำ และกรดซิตริก ตามลำดับ ส่วนการหาความคงทนของสารสีที่สกัดได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่า ที่ pH น้อยจะมีความคงตัวมากกว่า pH ที่มีค่ามาก แม้ในสภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นก็ตาม ส่วนการศึกษาผลของแสงต่อความคงทนของสารสี เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมจีน พบว่า สารสีที่ผสมแป้งขนมจีนที่มีตัวทำละลายต่างชนิดเป็นตัวสกัด จะให้ผลว่าสภาวะที่มีแสงจะทำให้ความเข้มข้นของแอนโทไซยานินลดลงส่งผลให้สีของแป้งขนมจีนจางลง เมื่อเปรียบเทียบลักษณะ และระยะเวลาการเก็บของขนมจีนที่อุณหภูมิห้องในถุงพลาสติกที่เจาะรู เมื่อมีการใช้สารสีสกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง เทียบกับขนมจีนที่ไม่ใช้สารสีสกัด พบว่าลักษณะของขนมจีนและเวลาการเก็บรักษาไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถในการใช้สารสีสกัดจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมาประยุกต์ใช้เป็นสารให้สีในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทขนมจีนได้ ในการเพิ่มสีสันอาหารให้น่ารับประทาน โดยไม่ทำลายคุณสมบัติดั้งเดิมของขนมจีน เป็นสีผสมอาหารที่ปลอดภัย ดีต่อสุขภาพ สามารถละลายน้ำได้ง่าย ทั้งยังให้สีคงทน ในเฉดสีไม่ฉูดฉาด เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ โดยควรคำนึงในการเลือกอุณหภูมิและค่า pH ให้เหมาะสมกับการทำเส้นขนมจีน ทั้งนี้เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง เป็นของเหลือทิ้ง และราคาถูก สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง และหากทำการเก็บรักษาเส้นขนมจีนที่ผสมสารสีสกัดได้นี้ ไว้ในอุณหภูมิต่ำ จะสามารถเก็บรักษาไว้รับประทานได้นานขึ้นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

Amelia, F., Afnani, G. N., Musfiroh, A., Fikriyani, A. N., Ucche, S. and Murrukmihadi, M. (2013). Extraction and Stability Test of Anthocyanin from Buni Fruits (Antidesma Bunius. L) as an Alternative Natural and Safe Food Colorants. *J. Food Pharm.Sci., 1*, 49-53.

Areekul, V. (2009). Stabilities of anthocyanins and anti-radical activity in blueberry juice and concentrate. *Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry. Thailand*. 17-22 March 2009.

Boonkham, Y. (2009). *Extraction of Red Pigment from Rind of Pitaya (Hylocereus undatus) and Application in Pasteurized Strawberry Juice*. Master of Science (Agro-Industrial Product Development) dissertation. Chiangmai University. Chiangmai. Thailand. (in Thai)

Chaovanalikit, A. (2011). Extraction and Analysis of Anthocyanin. Srinakharinwirot University, *Journal of* Science and Technology, *3*(6), *26-63*. (in Thai).

Escribano-Bailon, M. T., Santos-Buelga, C. and Rivas-Gonzalo, J. C. (2004). Anthocyanins in cereals. *J. Chromatogr. A. 1054*, 129-141.

Francisco, D. V. and Octavio, P.L. (2002). *Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses*. Norway. CRC Press.

Galvanoa, F., Faucib, L. L., Lazzarinoc, G., Foglianod, V., Ritienid, A., Ciappellanoe, S., Battistinif, C. N., Tavazzig, B. (2004). Cyanidins : metabolism and biological properties. *Journal of nutritional Biochemistry, 15,* 2-11.

Giusti, M.M. and Wrolstad. R.E. (2001). *Charaterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy.* In: Current protocol in Food Analytical Chemistry (R.E. Wrolstad., ed.) John Wiley & Sons Inc., New York, F1.2.1-F1.2.13.

Hunjaroen, M. and Chantanawarangoon, S. (2008). Effect of temperature and pH on the stability of mulberry juice anthocyanins. *Proceedings of 46th Kasetsart University Annual Conference : Agro-Industry. Faculty of Agro-Industry*. 29 January – 1 February 2008. Department of Food Science and Technology. Kasetsart University. Bangkhen Campus, Bangkok (Thailand). (in Thai).

Jarayapun, A. (2004). Food color extraction from gardenia fruit (*Gardenia jasminodes Ellisforma* var gardiflora Makino) II: The stability of the gardenia fruit color extract. *Proceedings of the 32nd Kasetsart University Annual Conference: Home Economics, Science, Engineering, Agro-Industry, Economics, Business Administration, Education, Humanities, Natural Resources and Environmental Economics*. 3-5 February 2004. 280-290. (in Thai).

Jitpisoot, T. (2007). *Extraction of Anthocyanin from Black Bean (Vigna senensis) And Its Applications in Food Industry*. Master of Science (Agro-Industrial Product Development) dissertation. Kasetsart University. (in Thai)

Konghom, G. (2004). *Effects of sugars on the stability of anthocyanins in fermented java plum juice*. Master of Science (Economic Botany) dissertation. Kasetsart University. (in Thai).

Konczak, I. and Zhang, W. (2004). Anthocyanin more than nature's colors. *Journal of Biomedicine and biotechnology. 5*, 239-240.

Lazze, M.C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A.I., Stivala, L.A.,Bianchi,L. (2004) . Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human celllines. *Carcinogenesis, 25*, 1427-1433.

Lee, J., Durst R., and Wrolstad R. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method. collaborative study. *J. AOAC Int. 88*(50), 1269-1278.

Longo, L. and Vasapollo, G. (2006). Extraction and Identification of anthocyanins from *Smiax aspera* L. berries. *Food Chemistry, 94*, 226-231.

Ninwanna, R. and Sookarham, S. (2010). *The optimum condition in extraction of Anthocyanin from purple cabbage.* Bachelor degree of Science (Applied biology). Faculty of Science and Technology. Nakhonprathom Rajabhat Institute. (in Thai).

Palakajornsak, Y. (2003). *Extraction and Stability of Anthocyanins from Mangosteen peel*. Master of Science dissertation. Department of Food Technology. Silpakorn University. (in Thai)

Preecha, R. and Suankun, C. (2008). Variety and rice flour quality for boiled rice flour in noodle. *Research report on rice processing and development year 1997-2007*. Kasetsart University. (in Thai).

Qin, C., Li, Y., Niu, W.N., Ding, Y., Zhang, R.J. and Shang, X.Y. (2010). Analysis and characterization of anthocyanins in mulberry fruit. Czech. *J. Food Sci. 28*, 117-126.

Socacui C. (2007). *Food colorants: Chemical and functional properties*. Forida. U.S.A. CRC Press.

Veerakul, S. (2010). *Optimal processing of concentrated Mulberry juice extract fortified with bee pollen*. Master of Science (Agro-Industrial Product Development) dissertation. Chiangmai University. Chiangmai. Thailand. (in Thai)

Zhao, X. (2008).Composition and Thermal stability of anthocyanin from Chinese purple corn (Zea mays L.). *Agricultural and Food Chemistry, 56*, 10761-10766.