



ผลของการเติมกรดฟิวมาริกต่อความคงตัวของสารไฟโตเคมีคอล การต้านออกซิเดชัน และการต้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดแผ่นอบแห้ง Effects of Adding Fumaric Acid on Phytochemical Antioxidation and Antimicrobial Stabilities in Baked Corn Products

หทัยกาญจน์ กอกแก้ว^{1*}, เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์²
Hathaigan Kokkaew^{1*}, Theparit Pitirit²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 48000

² ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

* Correspondent author: hathaikk@yahoo.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ (1) เพื่อศึกษาผลการเติมกรดฟิวมาริกในผลิตภัณฑ์ต่อความคงตัวของสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolics; TPN) สารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanins; ACN) ความสามารถในการต้านอนุมูล 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH radical scavenging ability; DPPH-RSA) การต้านอนุมูล 2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS radical scavenging ability; ABTS-RSA) การจับเฟอร์รัสไอออน (Ferrous chelating ability; FCA) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count; TPC) และเชื้อราทั้งหมด (Total fungi count; TFC) ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดแผ่นอบแห้ง และ (2) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณจุลินทรีย์ และเชื้อราทั้งหมด พบว่าข้าวโพดสีม่วงมีปริมาณ DPPH-RSA, ABTS-RSA และ FCA (2.3, 6.9 mg Trolox equivalents (TE)/g และ 77 g EDTA/g) สูงกว่าข้าวโพดสีขาว (2.0, 6.2 mg TE/g และ 36 mg EDTA/g) อย่างไรก็ตามมีปริมาณ TPN (1.9 mg GE/g) น้อยกว่าข้าวโพดสีขาว (2.1 mg GE/g) ไม่พบ ACN ในข้าวโพดสีขาว ขณะที่ในเมล็ดข้าวโพดสีม่วงมีปริมาณ 270 mg CE/g การให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวโพดในสารละลายต่างมีผลทางลบต่อความคงตัวของ TPN, ACN, DPPH-RSA, ABTS-RSA และ FCA มากที่สุด การปรับสภาพเป็นกรดของโคข้าวโพดสีขาวและสีม่วงสามารถลดการสูญเสีย TPN, DPPH-RSA, ABTS-RSA และ FCA ได้ (5 และ 9%, 5 และ 2%, 5 และ 6% และ 6 และ 12% ตามลำดับ) เช่นเดียวกันพบการสูญเสียของ ACN ลดลงในการผลิตโคข้าวโพดสีม่วง (16%) และข้าวโพดสีม่วงแผ่นอบแห้ง (13%) นอกจากนี้การปรับสภาพผลิตภัณฑ์เป็นกรดยังมีผลในการลดการเจริญของจุลินทรีย์ ข้าวโพดสีม่วงแผ่นอบแห้งมี TPC และ TFC (1,030 และ 25 CFU/g) ต่ำกว่าข้าวโพดสีขาวแผ่นอบแห้ง (3,100 และ 26 CFU/g) สภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ -18 °C สามารถลดการเจริญของ TPC และ TFC ได้ดีกว่าอุณหภูมิห้อง และ 4 °C การศึกษานี้ยืนยันได้ว่าการปรับสภาพโคให้เป็นกรดช่วยลดการสูญเสียของสารไฟโตเคมีคอลและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน รวมถึงลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้

Abstract

The objectives of this study were: (1) to investigate the effects of adding fumaric acid supplementation on the total phenolics (TPN), total anthocyanins (ACN), 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging ability (DPPH-RSA), 2,2,2-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical scavenging ability (ABTS-RSA), Ferrous chelating ability (FCA), total plate count (TPC) and total fungi count (TFC) stabilities in baked corn products, and (2) to investigate the effects of storage condition of baked corn products on TPC and TFC. Purple corn contained higher DPPH-RSA ABTS-RSA and FCA (2.3, 6.9 mg Trolox equivalents (TE)/g and 77^g EDTA/g) than white corn (2.0, 6.2 mg TE/g & 36^g EDTA/g), however the TPN content (1.9 mg GE/g) was lower than that of white corn (2.1 mg GE/g). Amounts of ACN was not detected in White corns while purple corn kernels contained 270^g CE/g. Heating corn kernels in alkaline solution had the greatest negative impact on the stability of TPN, ACN, DPPH-RSA, ABTS-RSA and FCA. However, the dough acidification of white and purple corn could reduce TPN, DPPH-RSA, ABTS-RSA and FCA losses (5 and 9%, 4 and 4%, 5 and 2%, 5 and 6% and 6 and 12%, respectively). Similarly, ACN losses were also reduced when processed into dough (16%) and bake purple corn product (13%). In addition, acidified treatment of baked corn products also significantly reduced the microbial growth. Acidified baked purple corn product contained lower amount of TPC and TFC (1,030 and 25 CFU/g) than acidified baked white corn product (3,100 and 26 CFU/g). Storage condition of products at -18 °C could reduced the growth of microbial than storage conditions at room temperature and 4 °C. This study confirmed that dough acidification could reduce the phytochemical and antioxidation losses as well as microbial growth.

คำสำคัญ: ข้าวโพดสีขาว ข้าวโพดสีม่วง ฟีนอลิก แอนโทไซยานิน การต้านออกซิเดชัน

Keywords: White corn, purple corn, phenolics, anthocyanins, antioxidation

1. บทนำ

ปัจจุบันคนไทยมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ หลอดเลือดสมองอุดตัน และมะเร็งชนิดต่างๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหนักตัวที่เกินมาตรฐานซึ่งเป็นผลจากพฤติกรรมการบริโภคอาหารและขาดการออกกำลังกายที่เหมาะสม (1) จากปัญหาดังกล่าวรัฐบาลจึงตระหนักและรณรงค์ให้คนไทยหันมาดูแลสุขภาพโดยเน้นการออกกำลังกายควบคู่กับการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

ข้าวโพดสีขาวและสีม่วง (*Zea mays ceratina*) มีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และได้ปรับปรุงพัฒนาสายพันธุ์อย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มผลผลิตและความต้านทานโรคและแมลง (2) ข้าวโพดสีขาวมีองค์ประกอบของสารฟีนอลิกที่มักพบในบริเวณเปลือกหุ้มเมล็ดทั้งในรูปอิสระและ

เอสเทอร์ของกรดฟูลิคและกรดพาราควมาริก โดยอนุพันธ์เหล่านี้จับกับผนังเซลล์โพลีแซคคาไรด์ด้วยพันธะโคเวเลนต์ (3) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างร่างแหเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ของเมล็ด และมีบทบาทสำคัญในการสร้างลิกนินที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและเนื้อสัมผัสของพืช (4) ขณะที่ข้าวโพดสีม่วงนับว่าเป็นแหล่งสำคัญของสารแอนโทไซยานินโดยมีสารไซยานิดินและฟิโอนิดินไกลโคไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก สารเหล่านี้ส่วนใหญ่จะพบที่ชั้นอัลดูโรนของเอนโดสเปิร์ม (5) แอนโทไซยานินเป็นสารชีวภาพที่มีปริมาณมากในผักและผลไม้ รวมถึงยังเป็นสารที่ให้สีกับผักและผลไม้ สารแอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็น C6-C3-C6 ซึ่งเป็นกลุ่มย่อยของสารฟลาโวนอยด์และเป็นพาราควมาริกที่สำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพอาหารซึ่งมีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

สารฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานิน เป็นกลุ่มของสารไฟโตเคมีคอลที่สังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช แม้ว่าสารเหล่านี้จะไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ แต่กลับได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากความสามารถในการต้านออกซิเดชันและคุณสมบัติทางชีวภาพต่างๆ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก รวมถึงมีผลทางการรักษาที่หลากหลายอีกด้วย (6) มีรายงานทางระบาดวิทยาว่าการบริโภคสารไฟโตเคมีคอลมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอัตราการเกิดโรคระเร็งและเสื่อมสภาพต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ การผิดปกติของทางเดินปัสสาวะ และมะเร็งชนิดต่างๆ (7) การวิจัยส่วนใหญ่เน้นการศึกษาผลของสารไฟโตเคมีคอลในการรักษาโรคมะเร็ง (8) โภชนาการแก่มนุษย์ (9) และกิจกรรมทางชีวภาพเป็นต้น (10) สารไฟโตเคมีคอลเหล่านี้มีความไวต่อการถูกทำลายด้วย pH แสง และอุณหภูมิ ในอุตสาหกรรมอาหารมักใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิตซึ่งส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อการลดลงของปริมาณสารฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (11) จากรายงานการศึกษาของ Del Pozo-Insfran และคณะ (12) พบว่าการต้มเมล็ดข้าวโพดในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตทอร์ติลลาที่มีผลต่อการสูญเสียสารไฟโตเคมีคอลและความสามารถในการต้านออกซิเดชันอย่างมาก

กรดฟิวมาริกเป็นกรดอินทรีย์ที่มีความเป็นกรดอ่อนและมีความสามารถในการรีดิวซ์เนื่องจากในโครงสร้างประกอบด้วยพันธะคู่ซึ่งทำให้แตกต่างจากกรดชนิดอื่น จึงมีผลในการปรับปรุงกลไกการเกิดโคโดยกรดฟิวมาริกจะเข้าไปทำลายพันธะหรือป้องกันการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ของกลูเตนแป้งสาลี ซึ่งการลดลงของปริมาณพันธะไดซัลไฟด์มีผลทำให้โดขึ้นฟูมากขึ้น Friend และคณะ (13) รายงานว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างโดที่ pH 5.8 พบว่าทอร์ติลลาที่เติมกรดซิตริกหรือกรดมาลิกจะมีการขึ้นฟูน้อยกว่าสูตรที่เติมกรดฟิวมาริก นอกจากนี้กรดฟิวมาริกยังเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์รวมถึงการเจริญของเชื้อราของผลิตภัณฑ์อีกด้วย เนื่องจากที่ pH 5.5-5.8 เป็นสภาวะที่สารต้านจุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (14) เช่นเดียวกับ Tajkarimi และ Ibrahim (15) ได้รายงานว่าการดองอินทรีย์มีผลอย่างมากในการต้านจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีค่า pH ต่ำจะช่วยส่งเสริมความสามารถในการ

ต้านจุลินทรีย์และต้านออกซิเดชันได้มากขึ้น นอกจากนี้ Maga และ Kim (16) ได้รายงานว่าเมื่อเติมกรดซิตริกเข้มข้น 0.5% ในผลิตภัณฑ์เอกทูเตอร์ที่ผลิตจากแป้งข้าวและแครนเบอร์รี่แห้งสามารถปรับปรุงความคงตัวของสีได้ และ Del Pozo-Insfran และคณะ (17) พบว่าการเติมกรดฟิวมาริกลงในโดทั้งข้าวโพดสีม่วงและสีขาวจะช่วยลดการสูญเสียของสารไฟโตเคมีคอลและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน เนื่องจากเอกลักษณ์ที่โดดเด่นและรสชาติที่จำเพาะของข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีปริมาณสารไฟโตเคมีคอลและความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อินทรีย์และผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอื่นๆ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาผลการปรับสภาพโดด้วยกรดฟิวมาริกเพื่อลดการสูญเสียสารไฟโตเคมีคอลและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน รวมถึงความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ ซึ่งงานวิจัยนี้มีประโยชน์สำหรับการเพิ่มคุณค่าทางด้านโภชนาการและสุขภาพแก่ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวโพด

2. วิธีวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าวโพด

ในงานวิจัยนี้ใช้เมล็ดข้าวโพดสีขาวและสีม่วงแห้งจากตำบลขามเฒ่า อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม เป็นวัตถุดิบในการทดลอง โดยบรรจุเมล็ดข้าวโพดแห้งแบบสุญญากาศและเก็บที่อุณหภูมิ -18°C เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบก่อนนำไปทำการทดลองในขั้นต่อไป

2.2 การผลิตข้าวโพดแผ่นอบแห้ง

นำเมล็ดข้าวโพดสีขาวและสีม่วงไปต้มในสารละลายปูนขาว (CaOH) เข้มข้น 0.3% (w/w) ในอัตราส่วน 1:3 ที่อุณหภูมิ 90°C นาน 20 นาที จากนั้นเทสารละลายค้างทิ้งและล้างเมล็ดข้าวโพดให้สะอาดด้วยน้ำเย็น บดเมล็ดข้าวโพดให้ละเอียดด้วยเครื่องโม่เพื่อผลิตโดข้าวโพดแบ่งโดออกเป็นสองส่วนคือโดที่ไม่ปรับสภาพให้เป็นกรดและโดที่ปรับสภาพเป็นกรดด้วยกรดฟิวมาริกเข้มข้น 0.2% (w/w) (12) จากนั้นนำโดไปรีดให้เป็นแผ่นบางและอบแห้งด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 220°C นาน 90 วินาที พลิกกลับไปมาทุกๆ 30 วินาที ทิ้งให้เย็นและตัดเป็นชิ้นเล็กๆ

นำตัวอย่างเมล็ดข้าวโพด โดข้าวโพด และข้าวโพดแผ่นอบแห้งไปวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด สารแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS และความสามารถในการจับเฟอร์รัสไอออน

2.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิการจัดเก็บและกรดฟิวมาริกต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

นำผลิตภัณฑ์ข้าวโพดอบแห้งที่ได้จากข้อ 2.2 มาบรรจุในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทและจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง 4 °C และ -18 °C เป็นเวลา 1 เดือน ทำการสุ่มตัวอย่างทุกๆ สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณอนุมูลอิสระและเชื้อราทั้งหมด

2.4 วิธีวิเคราะห์

2.4.1 การสกัดสารไฟโตเคมีคัล

สกัดสารไฟโตเคมีคัลตามวิธีของ Abdel-Aal และ Hucl (18) โดยนำตัวอย่างมาสกัดด้วยสารละลายเอทานอลที่เป็นกรดในอัตราส่วน 1:8 เตรียมสารละลายเอทานอลที่เป็นกรดโดยมีสัดส่วนเอทานอลต่อไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 N เท่ากับ 85:15 (v/v) ที่อุณหภูมิ 25 °C นาน 30 นาที จากนั้นเขย่าอย่างต่อเนื่อง แยกส่วนสารผสมด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 27,200 × g นาน 15 นาที (Centrifuge refrigerator, AVANTI™ J25, Beckman Ltd., USA.) นำสารละลายส่วนใสด้านบนไปทำให้เข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ (Rotary evaporator, BUCHI R-114, BUCHI Corp., USA.) ที่อุณหภูมิ 50 °C เก็บสารสกัดที่อุณหภูมิ -18 °C ก่อนนำไปทดลองขั้นต่อไป

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (TPN) ตามวิธีของ Inglett และคณะ (19) นำสารตัวอย่างปริมาตร 1 mL มาผสมกับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent (1:1) ปริมาตร 0.5 mL เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (NaCO₃) เข้มข้น 20% (w/v) ปริมาตร 1.5 mL ปรับปริมาตรเป็น 10 mL ด้วยน้ำกลั่น ทั้งสารผสมไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมงและในที่มืด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer; LAMBDA 25, Perkin Elmer, Inc., Germany) หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Gallic acid และรายงานผลเป็น mg GE/g dry sample

2.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด
วิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดโดยการเจือจางตัวอย่างที่ pH แตกต่างกัน ตามวิธีของ Wrolstad (20) นำสารตัวอย่างปริมาตร 0.2 mL ใส่ในหลอดทดลองจำนวน 2 หลอด หลอดแรกเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ที่ pH 1.0 ปริมาตร 2.8 mL และหลอดที่ 2 เจือจางด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตรท (CH₃COONa) ที่ pH 4.5 ปริมาตร 2.8 mL จากนั้นเขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที นำสารผสมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และใช้น้ำกลั่นเป็นหลอดควบคุม ลำดับต่อมาเตรียมสารแอนโทไซยานินและวัดค่าในช่วงเวลา 15 นาทีถึง 1 ชั่วโมง หาปริมาณสารแอนโทไซยานินเทียบกับสาร cyanidin-3-glucoside โดยเริ่มต้นคำนวณค่าการดูดกลืนแสง (A) ของตัวอย่างจากสูตร $A = (A_{520} - A_{700})_{pH 1.0} - (A_{520} - A_{700})_{pH 4.5}$ กำหนดให้ A₅₂₀ เป็นความยาวคลื่นที่ตัวอย่างดูดกลืนแสงได้สูงสุด จากนั้นคำนวณหาปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสูตร $ACN = (A \times MW \times DF \times 1000) / (e \times l)$ กำหนดให้ DF คือค่าการเจือจาง (Dilution factor) MW คือน้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside (449.2) และ e คือค่า Molar absorptivity (26,900) และรายงานผลเป็น mg CE/g dry sample

2.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณการต้านอนุมูล DPPH
วิเคราะห์ปริมาณการต้านอนุมูล 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH-RSA) ตามวิธีของ Aluko และ Monu (21) เติมสารตัวอย่างปริมาตร 2.0 L ลงในสารละลาย DPPH เข้มข้น 100 mM ในเมทานอล ปริมาตร 2.0 mL จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที ในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ 517 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หาปริมาณการต้านอนุมูล DPPH โดยสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chloroman-2-carboxylic acid) กับความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH และรายงานผลเป็น mg TE/g dry sample

2.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณการต้านอนุมูล ABTS
วิเคราะห์ปริมาณการต้านอนุมูล 2,2'-azino bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS-RSA) ตามวิธีของ Yin และคณะ (22) เตรียมอนุมูล ABTS โดย

นำสารละลาย ABTS เข้มข้น 2 mM ใน สารละลายบัฟเฟอร์ ฟอสเฟตเข้มข้น 0.1 M ที่ pH 7.0 มาผสมกับสารละลาย โพแทสเซียมซัลเฟต ($K_2S_4O_8$) เข้มข้น 70 mM ในปริมาตร ที่เท่ากัน เดิมสารตัวอย่างปริมาตร 5 mL ลงในสารละลาย ABTS ที่เตรียมไว้ปริมาตร 0.3 mL ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 นาที ในที่มืด นำไป วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 nm ด้วยเครื่องสเปกโตร โฟโตมิเตอร์หาปริมาณการต้านอนุมูล ABTS โดยสร้าง กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของ Trolox กับความ สามารถในการยับยั้งของอนุมูล ABTS รายงานผลเป็น mg TE/g dry sample

2.4.6 การวิเคราะห์ปริมาณการจับกับเฟอร์รัส ไอออน

วิเคราะห์ปริมาณการจับกับเฟอร์รัสไอออน ตามวิธี ของ Yin และคณะ (22) โดยนำสารละลายตัวอย่างหรือตัว ควบคุมปริมาตร 1.0 mL มาเติมด้วยเมทานอลปริมาตร 3.7 mL และสารละลายไอออนคลอไรด์ ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$) เข้มข้น 2 mM ปริมาตร 0.1 mL ผสมสารผสมให้เข้ากัน จากนั้น เติมสารละลาย Ferrozine (3-(2-Pyridyl)-5,6-diphenyl- 1,2,4-triazine-4yl,4yl-disulfonic acid monosodium salt) เข้มข้น 5 mM ปริมาตร 0.1 mL ที่ไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 10 นาที จากนั้นนำสารผสมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 562 nm ด้วยเครื่องสเปกโตร โฟโตมิเตอร์ หาปริมาณความ สามารถในการจับกับ Fe^{2+} โดยสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง ความเข้มข้นของ EDTA (Ethylenediminetetraacetic acid) กับความสามารถในการยับยั้ง Fe^{2+} และรายงานผลเป็น mg EDTA/g dry sample

2.4.7 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์และเชื้อราทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ (TPC) และปริมาณ เชื้อราทั้งหมด (TFC) โดยวิธีการ Pour plate ใช้อาหาร Plate count agar (PCA) และ Potato dextrose agar (PDA) ตาม วิธี AOAC (23) รายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/g)

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completed Randomized Design (CRD) โดยดำเนินการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำและ แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้น วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ซึ่งเป็นการ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของหน่วยทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range tests ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วย โปรแกรม SPSS statistic program (Version 17)

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ปริมาณสารไฟโตเคมิคอล ความสามารถในการต้าน ออกซิเดชัน และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเมล็ดข้าวโพด

ข้าวโพดสีขาวมีปริมาณ TPN (2.1 mg GE/g) สูง กว่าข้าวโพดสีม่วง (1.9 mg GE/g) ($P < 0.05$) แต่พบ ACN ซึ่งเป็นสารสีม่วงเฉพาะข้าวโพดสีม่วงเท่านั้น (270 mg CE/g) ($P < 0.05$) (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการวิจัยของ Del Pozo-Insfran และคณะ (17) พบว่าข้าวโพดเม็กซิกันสีขาว มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวโพดเม็กซิกันและ อเมริกาสีม่วงถึง 4 เท่า และพบสารแอนโทไซยานินเฉพาะ ในข้าวโพดสีม่วง สารสีม่วงในเมล็ดข้าวโพดเป็นแหล่ง สำคัญของสารแอนโทไซยานิน และส่วนใหญ่พบที่ชั้น อัลลูโรนของเอนโดสเปิร์ม (5)

ข้าวโพดสีม่วงมีปริมาณ DPPH-RSA, ABTS-RSA และ FCA (2.1, 6.3 mg TE/g และ 0.8 mg EDTA/g) สูงกว่า ข้าวโพดสีขาว (1.7, 5.8 mg TE/g และ 0.2 mg EDTA/g) ($P < 0.05$) (ตารางที่ 1) ซึ่งความแตกต่างของความสามารถใน ด้านออกซิเดชันระหว่างข้าวโพดสีม่วงและสีขาวเป็น ผลจากความแตกต่างของ ACN ที่พบเฉพาะในข้าวโพด สีม่วงเท่านั้น เนื่องจากข้าวโพดสีขาวมีปริมาณ TPN สูงกว่า ข้าวโพดสีม่วงแต่กลับแสดงความสามารถในการต้าน ออกซิเดชันที่ต่ำกว่าเช่นเดียวกับรายงานของ Stintzing และ คณะ (24) พบว่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันของ บลูเบอร์รี่มีอิทธิพลหลักมาจาก ACN

ข้าวโพดสีม่วงมี TPC และ TFC (103 และ 28 CFU/g) ต่ำกว่าข้าวโพดสีขาว (310 และ 32 CFU/g) ($P < 0.05$) (ตาราง ที่ 1) แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดสีม่วงมีความสามารถในการ ด้านการเจริญของจุลินทรีย์ที่สูงกว่า ซึ่ง ACN ที่อยู่ใน ข้าวโพดสีม่วงน่าจะมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ สูงกว่าสารฟีนอลิกทั่วไป (24) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Burdulis และคณะ (25) ได้รายงานพบว่าพบสารแอนโทไซยานิน ปริมาณมากที่สุดที่ผิวของบลูเบอร์รี่ และมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์สูง พบว่ากลไกสำคัญ ที่ส่งผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้แก่ ผลิตความ คงตัวของไซโตพลาสซึมเมมเบรนและการแพร่ผ่านของ

ตารางที่ 1. ปริมาณเริ่มต้น (โดยน้ำหนักแห้ง) ของสารฟีนอลิกทั้งหมด สารแอนโทไซยานินทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS ความสามารถในการจับเฟอร์รัสไอออน จุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อราทั้งหมด

รายการวิเคราะห์	สายพันธุ์ข้าวโพด ¹	
	ข้าวโพดสีขาว	ข้าวโพดสีม่วง
ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GE/g sample)	2.1 ± 0.1 ^a	1.9 ± 0.1 ^b
ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (µg CE/g sample)	nd ^b	270 ± 20 ^a
ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH (mg TE/g sample)	2.0 ± 0.0 ^b	2.3 ± 0.0 ^a
ความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS (mg TE/g sample)	6.2 ± 0.1 ^b	6.9 ± 0.1 ^a
ความสามารถในการจับเฟอร์รัสไอออน (µg EDTA/g sample)	360 ± 20 ^b	770 ± 13 ^a
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g sample)	310 ± 21 ^a	103 ± 10 ^b
ปริมาณเชื้อราทั้งหมด (CFU/g sample)	25 ± 4 ^a	22 ± 2 ^a

¹ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 2 การทดลอง

^{a,b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

nd หมายถึงไม่สามารถตรวจพบ (Not detectable)

พลาสมาเมมเบรน ยับยั้งเอนไซม์ในจุลินทรีย์ มีผลต่อเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์โดยตรง และลดสปีดที่จำเป็นสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ (26)

3.2 ผลของกรดฟิวริกต่อการคงตัวของสารไฟโตเคมีคอลและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

จากการศึกษาการสูญเสียของ TPN, ACN, DPPH-RSA, ABTS-RSA และ FCA ในขั้นตอนการผลิตโคและการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ ข้าวโพดสีขาวที่ต้มด้วยปูนขาวจะสูญเสีย TPN (26%) มากกว่าข้าวโพดสีม่วง (16%) ($P < 0.05$) และข้าวโพดสีม่วงจะสูญเสีย ACN ถึง 33% และการสูญเสียจะเพิ่มขึ้นในขั้นตอนการอบแห้ง (42%) (รูปที่ 1a,b) พบว่าการสูญเสียสารไฟโตเคมีคอลในขั้นตอนการผลิตโคมากที่สุด ทั้งนี้เป็นผลจากการต้มเมล็ดข้าวโพดในค้างและใช้อุณหภูมิสูง สอดคล้องกับรายงานของ Bridle และ Timberlake (27) ซึ่งพบว่าสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันจะถูกทำลายเพิ่มมากขึ้นเมื่อต้มเมล็ดข้าวโพดในสารละลายค้างที่อุณหภูมิมากกว่า 90 °C Cortes และคณะ (28) รายงานว่าสารแอนโทไซยานินในข้าวโพดที่มีในเปลือกหุ้มเมล็ดจะถูกทำลายในระหว่าง

กระบวนการผลิตโคมากที่สุด ในขณะที่ข้าวโพดบางสายพันธุ์พบสารแอนโทไซยานินทั้งในชั้นอัลดูโรนและเปลือกหุ้มเมล็ด ทำให้ยังหลงเหลืออยู่ในชั้นอัลดูโรนแม้ว่าสารแอนโทไซยานินในเปลือกหุ้มเมล็ดจะลดลงเมื่อล้างด้วยน้ำ Salinas และคณะ (29) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกัน (0, 0.5, 1.0 และ 1.5%) ในกระบวนการผลิตโคต่อความคงตัวของสารแอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วง พบว่าทั้งปริมาณสารแอนโทไซยานินจะลดลงในระหว่างกระบวนการผลิตโค ซึ่งเป็นผลจากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีการสูญเสียสารแอนโทไซยานินตั้งแต่ 80.3 ถึง 85.6% ที่ระดับความเข้มข้นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5 และ 1.5%

การปรับสภาพผลิตภัณฑ์ให้เป็นกรดด้วยกรดฟิวริกจึงนำมาใช้เพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มความคงตัวของสารไฟโตเคมีคอลและความสามารถในการต้านออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ข้าวโพดเนื่องจากภายใต้สภาวะกรดจะส่งเสริมให้สารเหล่านี้มีความคงตัวมากขึ้น (12) การปรับสภาพโคให้เป็นกรดช่วยลดการสูญเสีย TPN ในโคและข้าวโพดสีขาวแผ่นอบแห้ง (21 และ 26% ตามลำดับ)

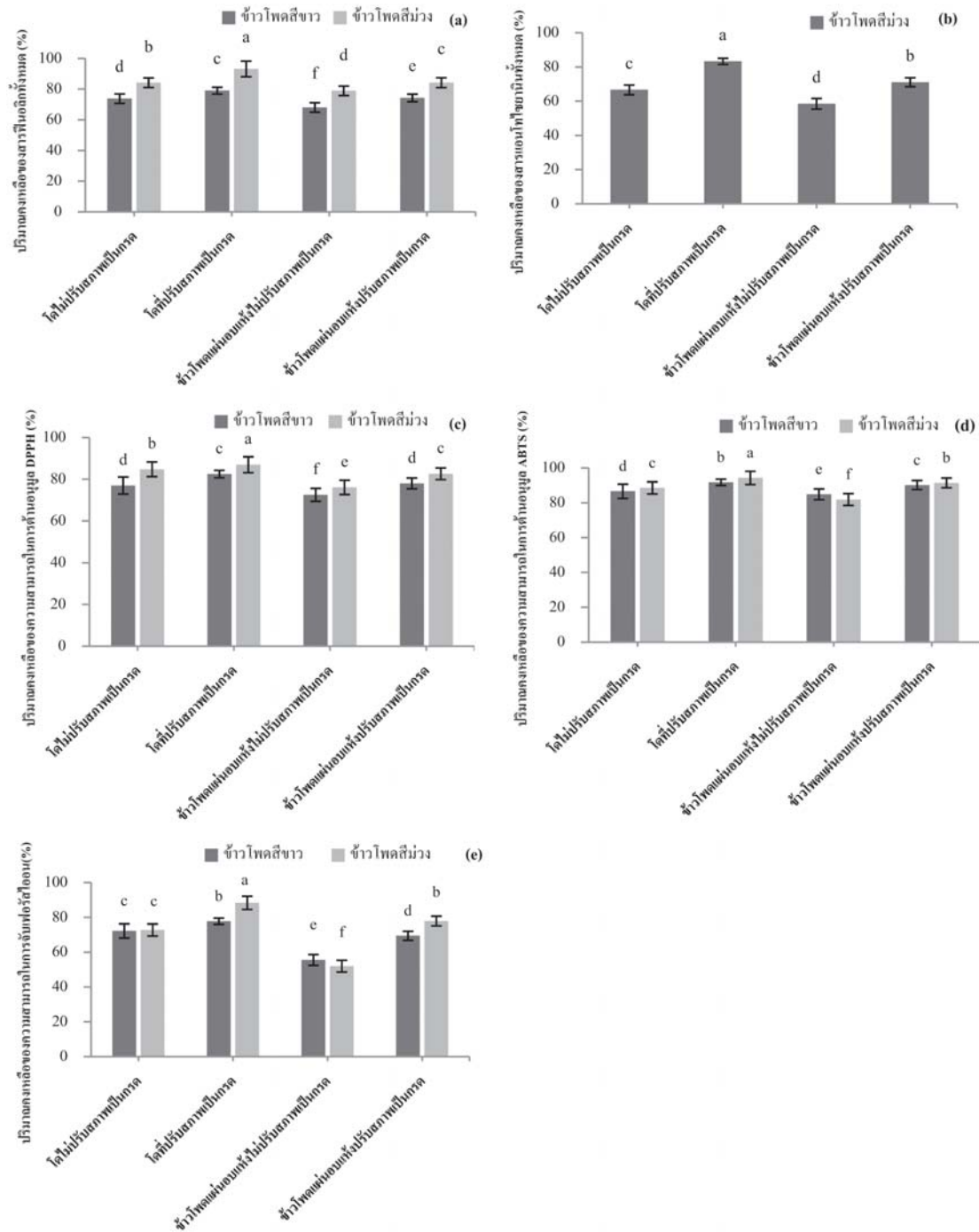
และโคและข้าวโพดสีม่วงแผ่นอบแห้ง (7 และ 17% ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสีย ACN ในโคและข้าวโพดสีม่วงแผ่นอบแห้งได้ถึง 16 และ 29% ตามลำดับ ($P<0.05$) จากการศึกษาพันธุ์ข้าวโพดและการปรับสภาพให้เป็นกรดของ Del Pozo-Insfran และคณะ (17) พบว่าการสูญเสียของ ACN มีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับการสูญเสียของสารฟีนอลิก ($r = 0.91$) และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ($r = 0.94$) ของข้าวโพดทุกสายพันธุ์ และการปรับสภาพโคให้เป็นกรดช่วยลดการสูญเสีย TPN และ ACN ในข้าวโพดสีขาวและสีม่วงได้

โคข้าวโพดสีขาวที่ไม่ปรับสภาพเป็นกรดจะสูญเสีย DPPH-RSA ABTS-RSA และ FCA ถึง 23, 13 และ 28% และเพิ่มขึ้นเป็น 28, 15 และ 48% ในขั้นตอนการอบแห้ง ขณะที่โคที่ปรับสภาพเป็นกรดลดการสูญเสียลงเป็น 18, 8 และ 22% และหลังการอบแห้งเป็น 28, 15 และ 44% ขณะที่การสูญเสียของ DPPH-RSA ABTS-RSA และ FCA ในโคข้าวโพดสีม่วงที่ไม่ถูกปรับสภาพเป็นกรดประมาณ 15, 11 และ 27% และหลังการอบแห้งประมาณ 24, 18 และ 48% ซึ่งมากกว่าการสูญเสียของโคที่ปรับสภาพเป็นกรดที่สูญเสียประมาณ 13, 6 และ 12% และประมาณ 17, 9 และ 22% หลังการอบแห้ง (รูปที่ 1c,d,e) การปรับสภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดสีม่วงเป็นกรดช่วยลดการสูญเสียของ DPPH-RSA, ABTS-RSA และ FCA ในการผลิตโค (2, 6 และ 16%) และขั้นตอนการอบ (7, 10 และ 26%) ได้ดีกว่าขั้นตอนการผลิตโคข้าวโพดสีขาว (5, 5 และ 6%) และขั้นตอนการอบแห้ง (6, 5 และ 14%) ($P<0.05$) (รูปที่ 1c,d,e) Del Pozo-Insfran และคณะ (12) รายงานว่าการปรับสภาพโคให้เป็นกรดจะลดอัตราการทำลายของ TPN และ ACN ในทั้งข้าวโพดสีม่วงและสีขาวเนื่องจากภายใต้สภาวะที่เป็นกรดจะส่งเสริมให้ TPN และ ACN มีความคงตัวมากขึ้น โดยความสามารถในการต้านออกซิเดชันของข้าวโพดสีม่วงและสีขาวขึ้นกับปริมาณสารฟีนอลิกโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของกรดเฟรูลิกและกรดพาราควมาริก (3) ซึ่งความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่สูงของทั้งผลิตภัณฑ์ข้าวโพดสีม่วงและสีขาวเป็นผลจากองค์ประกอบของสารแอนโทไซยานินและ/หรือสารฟีนอลิกที่เป็นสารต้านออกซิเดชันโดยทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ สารให้ไฮโดรเจนและจับกับซิงเกิลออกซิเจน (30) และสาร

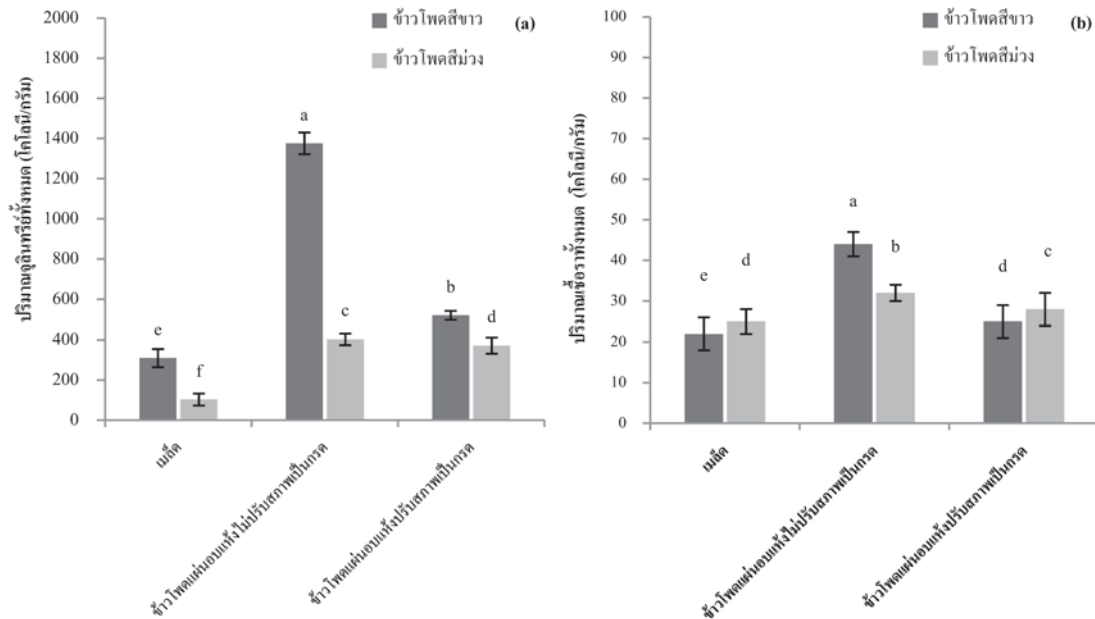
ฟลาโวนอยด์ประกอบด้วยกลุ่มไฮดรอกซิลซึ่งแสดงความสามารถในการต้านออกซิเดชันผ่านกระบวนการ scavenging หรือ chelating

3.3 ผลของกรดฟิวมาริกต่อความสามารถในการต้านจุลินทรีย์

TPC และ TFC ในข้าวโพดสีม่วงแผ่นอบแห้ง (403 และ 32 CFU/g) มีปริมาณต่ำกว่าในข้าวโพดสีขาวแผ่นอบแห้ง (1,376 และ 44 CFU/g) ($P<0.05$) (รูปที่ 2a,b) แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดสีม่วงมีความสามารถในการเจริญของจุลินทรีย์ได้สูงกว่าข้าวโพดสีขาว ดังนั้น คุณสมบัติต้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดแผ่นอบแห้งขึ้นกับปริมาณ TPN และ ACN มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของสารฟีนอลิกที่สกัดจากพืชและฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ (31) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารแอนโทไซยานิน ไกลโคไซด์ซึ่งเป็นสารสีม่วงเข้มและละลายน้ำได้ (32) การเติมกรดฟิวมาริกช่วยป้องกันและลดการสูญเสียของสารไฟโตเคมีคอลได้เป็นอย่างดีและยังมีผลในการลดการเพิ่มขึ้นของ TPC และ TFC ในข้าวโพดสีม่วงแผ่นอบแห้ง (520 และ 25 CFU/g) และข้าวโพดสีขาวแผ่นอบแห้ง (352 และ 28 CFU/g) ได้ดีขึ้นเช่นเดียวกัน ($P<0.05$) (รูปที่ 2a,b) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tajkarimi และ Ibrahim (15) ที่พบว่ากรดอินทรีย์มีผลในการต้านจุลินทรีย์อย่างมาก และในสภาวะที่มีค่า pH ต่ำจะช่วยส่งเสริมความสามารถในการต้านจุลินทรีย์และต้านออกซิเดชัน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Friedman และ Jrgens (33) พบว่ากิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ของสารฟีนอลิกในน้ำผลไม้ขึ้นกับค่า pH และกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ของโรวานเบอร์รี่ (Rovanberry) เป็นผลมาจากสารฟีนอลิกและกรดซอร์บิกซึ่งมีผลในการยับยั้งยีสต์และรา (34) การลด pH 5.5-5.8 ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดด้วยการเติมกรดฟิวมาริกจะยังคงทำให้สารต้านจุลินทรีย์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงยืดอายุการเก็บได้มากกว่า 60 วัน (17) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ Garza-Casso และคณะ (35) ได้รายงานว่าต้องใช้ปริมาณกรดฟิวมาริกที่ความเข้มข้น 0.45% ของน้ำหนักแป้งข้าวโพดเพื่อปรับค่า pH ของทอร์ทิลลาไปที่ 5.5 ขณะที่การทดลองนี้ได้เติมกรดฟิวมาริกที่ความเข้มข้น 0.2% ของน้ำหนักแป้งข้าวโพดเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดของโคข้าวโพด



รูปที่ 1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสารฟีนอลิกทั้งหมด (a) สารแอนโทไซยานินทั้งหมด (b) ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH (c) ความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS (d) และความสามารถในการจับฟอร์ซไดออกไซด์ (e) ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวโพด (โดและข้าวโพดอ่อนอบแห้ง) ที่ผลิตจากสายพันธุ์ข้าวโพดสีขาวและสีม่วงและการปรับสภาพโดเป็นกรด (โดยการเติมกรดฟิวมาริกเข้มข้น 0.2% (w/w)) พิจารณาการคลอโรฟิลล์ (%) เทียบกับปริมาณเข้มข้นของสารเริ่มต้นในเมล็ดข้าวโพด ตัวอักษรที่แตกต่างในแต่และแท่งกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)



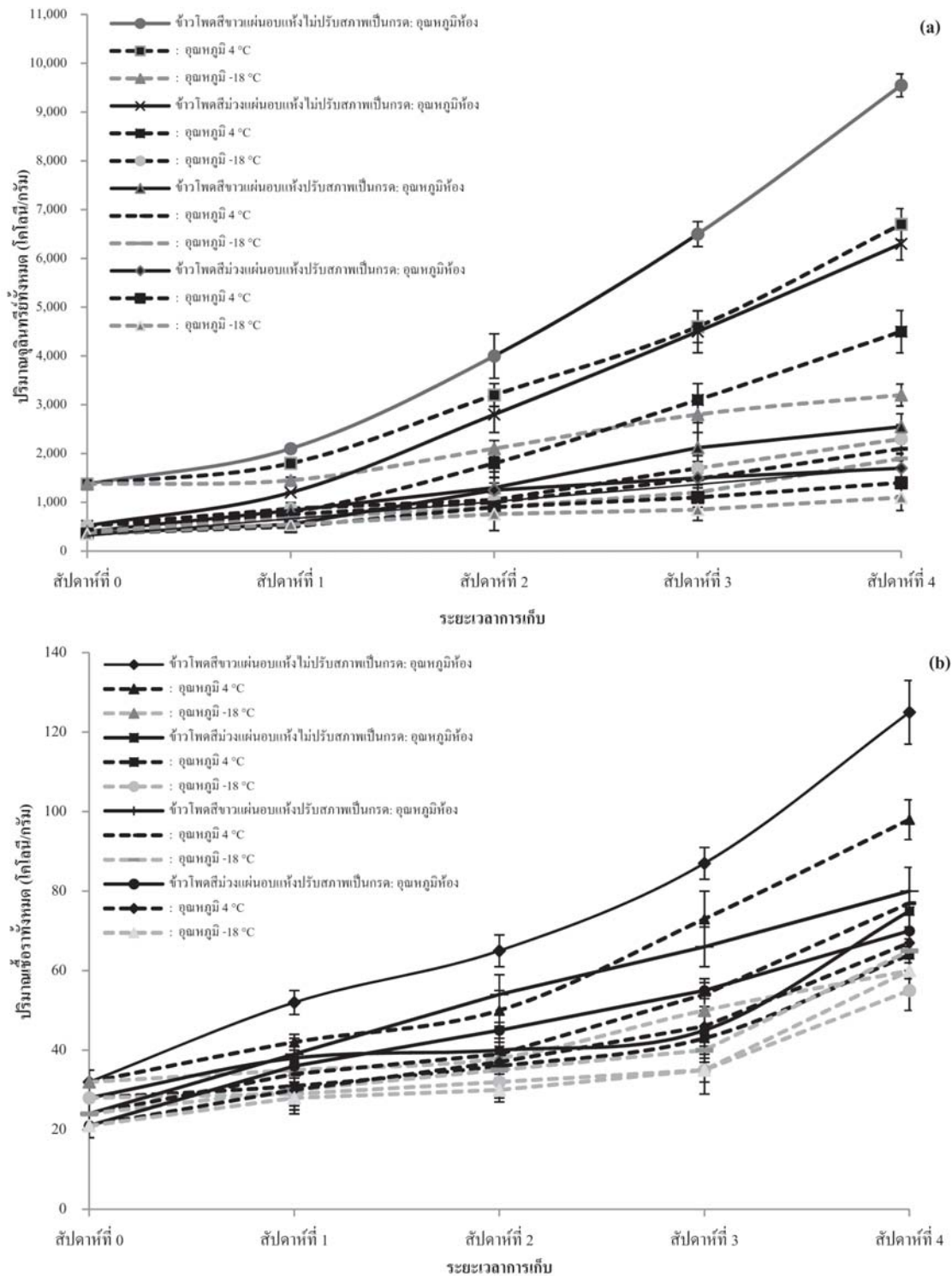
รูปที่ 2 โคโลนีต่อกรัม (CFU/g) ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (a) และปริมาณเชื้อราทั้งหมด (b) ของเมล็ดข้าวโพด ข้าวโพดแผ่นอบแห้งไม่ปรับสภาพเป็นกรด และข้าวโพดแผ่นอบแห้งปรับสภาพเป็นกรด (โดยการเติมกรดฟิวมาริกเข้มข้น 0.2% (w/w) ที่ผลิตจากสายพันธุ์ข้าวโพดสีขาวและสีม่วง ตัวอักษรที่แตกต่างในแต่และแท่งกราฟแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

3.4 ผลของอุณหภูมิการจับเก็บและกรดฟิวมาริกต่อความสามารถในการต้านจุลินทรีย์

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อ TPC และ TFC ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดสีขาวและสีม่วงแผ่นอบแห้ง ณ อุณหภูมิห้อง 4 °C และ -18 °C นาน 4 สัปดาห์ พบว่าในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ -18 °C สามารถลดการเพิ่มขึ้นของ TPC และ TFC ได้มากกว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องและ 4 °C ในทุกตัวอย่าง ($P < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 °C และ -18 °C ในสัปดาห์ที่ 1-3 (รูปที่ 3a,b) อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ข้าวโพดสีม่วงแผ่นอบแห้งที่ปรับสภาพเป็นกรดสามารถควบคุมการเพิ่มขึ้น TPC และ TFC (1,100 และ 55 CFU/g) ได้ดีที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nohynek และคณะ (36) ที่ศึกษาความคงตัวของสารฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานินและกิจกรรมการต้านจุลินทรีย์ของเบอร์รี่แช่แข็งพบว่าเบอร์รี่ที่จัดเก็บที่อุณหภูมิแช่แข็งจะมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น

4. สรุป

การปรับสภาพผลิตภัณฑ์ให้เป็นกรดด้วยกรดฟิวมาริกช่วยลดการสูญเสียของสารไฟโตเคมิคอลและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน รวมถึงการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมล็ดข้าวโพดและโดที่ได้จากข้าวโพดสีม่วงมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่สูงกว่าข้าวโพดสีขาว เนื่องจาก ACN ซึ่งพบได้เฉพาะข้าวโพดสีม่วง นอกจากนี้การจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ -18 °C ช่วยยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด การศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มปริมาณสารไฟโตเคมิคอลและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของข้าวโพดสีม่วงในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความชอบและทางเลือกให้กับผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวโพดและยังเป็นสารอาหารที่มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน



รูปที่ 3. โคลิโคแกรม (CFU/g) ของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) (a) และปริมาณเชื้อราทั้งหมด (TFC) (b) ในผลิตภัณฑ์ข้าวโพดแผ่นอบแห้งที่ไม่ปรับสภาพเป็นกรดและปรับสภาพเป็นกรด (โดยการเติมกรดฟิวมาริกเข้มข้น 0.2% (w/w) ที่ผลิตจากสายพันธุ์ข้าวโพดสีขาวย่นและสีม่วง ที่เป็นผลจากสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 4 °C และ -18 °C

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนครพนมเป็นอย่างยิ่งที่ให้ทุนสนับสนุน ประเภทเงินอุดหนุนปีงบประมาณ 2556 ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Department of Health: Ministry of Public Health. Strategy plan to solve a diet & physical activity problem, Thailand 2011-2013. Thailand: Department of Health: Ministry of Public Health 2013. Thai.
- (2) Panrapee A, Tinnagon T, Nitima C, Komsan A. Effects of purple field corn anthocyanins on broiler heart weight. *As J Food Ag-Ind.* 2010;3(03): 319-27. Thai.
- (3) Bily AC, Burt AJ, Ramputh A, Livesey J, Regnault-Roger C, Philogene BR. HPLC-PAD-APCI/MS assay of phenylpropanoids in cereals. *Phytochem Analysis.* 2004;15: 9-15.
- (4) Kroon PA, Williamson G. Hydroxinnamates in plants and food: current and future perspectives. *J Sci Food Agric.* 1999;79: 355-61.
- (5) Pascual-Teresa S, Santos-Buelga C, Rivas-Gonzalo JC. LC-MS analysis of anthocyanins from purple corn cob. *J Sci Food Agric.* 2002;82: 1003-6.
- (6) Setchell KDR, Aedin C. Dietary isoflavones biological effects and relevance to human health. *J Nutr.* 1999;129: 7585-675.
- (7) Matsumoto M, Hara H, Chiji H, Kasai T. Gastroprotective effect of red pigments in black chokeberry fruit (*Aronia melanocarpa Elliot*) on acute gastric hemorrhagic lesions in rats. *J Agric Food Chem.* 2004;52: 2226-9.
- (8) Lule SU, Xia W. Food phenolics, pros and cons: a review. *Food Rev Int.* 2005;21(4): 367-88.
- (9) Stintzing FC, Carle R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends Food Sci Tech.* 2004;15(1): 19-38.
- (10) Kong JM, Chia LS, Goh NK, Chia TF, Brouillard R. Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry.* 2003;64(5): 923-33.
- (11) Camire ME, Chaovanalikit A, Dougherty MP, Briggs J. Blueberry and grape anthocyanins as breakfast cereal colorants. *J Food Sci.* 2002;67(1): 438-41.
- (12) Del Pozo-Insfran D, Brenes CH, Serna Saldivar SO, Talcott ST. Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Res Int.* 2006;39: 696-703.
- (13) Friend CP, Ross RG, Waniska RD, Rooney LW. Effects of additives in wheat flour tortillas. *Cereal Food World.* 1995;40: 494-7.
- (14) Li A, Walker CE. Cake baking in conventional, impingement and hybrid ovens. *J Food Sci.* 1996;61(1): 188-91.
- (15) Tajkarimi M, Ibrahim SA. Antimicrobial activity of ascorbic acid alone or in combination with lactic acid on *Escherichia coli* O157:H7 in laboratory medium and carrot juice. *Food Control.* 2011;22: 801-4.
- (16) Maga JA, Kim CH. Co-extrusion of rice flour with dried fruits and fruit juice concentrates. *Lebensm Wiss Technol.* 1989;22(4): 182-7.
- (17) Del Pozo-Insfran D, Brenes CH, Serna Saldivar SO, Talcott ST. Polyphenolics and antioxidant capacity of white and blue corns processed into tortillas and chips. *Cereal Chem.* 2007;84(2): 162-8.
- (18) Abdel-Aal ESM, Hucl P. A rapid method for quantifying total anthocyanins in Blue aleurone and Purple pericarp wheats. *Cereal Chem.* 1999;76(3): 350-4.

- (19) Inglett GE, Chen D, Berhow M. Influence of jet- cooking corn bran on its antioxidant activities, phenolic contents and viscoelastic properties. *Food Sci Nutr.* 2011;2: 521-9.
- (20) Wrolstad RE, Culbertson JD, Comwell CJ, Mattick LR. Detection of adulteration in blackberry juice concentrates and wines. *J Assn Off Anal Chem.* 1982;65:1417-23
- (21) Aluko RE, Monu E. Functional and bioactive properties of quinoa seed protein hydrolysates. *Food Chem Toxicol.* 2003;68: 1254-8.
- (22) Yin LJ, Tong YL, Jlang ST. Improvement of the functionality of minced Mackerel by hydrolysis and subsequent lactic acid bacterial fermentation. *J Food Sci.* 2005;70(3): 172-8.
- (23) AOAC. Official method of analysis association of AOAC international. 16th. Maryland: USA; 2000.
- (24) Stintzing FC, Stintzing AS, Carle R, Frei B, Wrolstad RE. Color and antioxidant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. *J Agric Food Chem.* 2002;50: 6172-81.
- (25) Burdulis D, Sarkinas A, Jasutienė I, Stackevičienė E, Nikolajevs L, Janulis V. Comparative study of anthocyanin composition, antimicrobial and antioxidant activity in Bilberry (*Vaccinium Myrtillus* L.) and Blueberry (*Vaccinium Corymbosum* L.) fruits. *Acta Pol Pharm.* 2009;66(4): 399-408.
- (26) Hakkinen S. Flavonols and phenolic acids in berries and berry products [PhD thesis]. Kuopio University, Kuopio; 2000.
- (27) Bridle P, Timberlake CF. Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. *Food Chem.* 1997;58: 103-9.
- (28) Cortes GA, Salinas MY, San Martin-Martinez E, Martinez-Bustos F. Stability of anthocyanins of blue maize (*Zea mays* L.) after nixtamalization of separated pericarp germ tip cap and endosperm fractions. *J Cereal Sci.* 2006;43(1): 57-62.
- (29) Salinas-Moreno Y, Martinez-Bustos F, Soto-Hernandez M, Ortega-Paczka R, Arellano-Vazquez JL. Effect of alkaline cooking process on anthocyanins in pigmented maize grain. *Agrociencia.* 2003;37(6): 617-28.
- (30) Chang C, Yang M, Wen H, Chern J. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J Food Drug Anal.* 2002;10: 178-82.
- (31) Alberto MR, Canavosio MAR, Nadra MCM. Antimicrobial effect of polyphenols from apple skins on human bacterial pathogens. *Electron J Biotechnol.* 2006;9: 205-9.
- (32) Kokotkiewicz A, Jaremicz Z, Luczkiewicz M. Aronia plants: a review of traditional use, biological activities, and perspectives for modern medicine. *J Med Food.* 2010;13: 255-69.
- (33) Friedman M, Jrgens HS. Effect of pH on the stability of plant phenolic compounds. *J Agr Food Chem.* 2000;48: 2101-10.
- (34) Brunnen U. Some antifungal properties of sorbic acid extracted from berries of rowan (*Sorbus aucuparia*). *J Biol Educ.* 1985;19: 41-7.
- (35) Garza-Casso JB, Rooney LW, Waniska RD. Fumaric acid induced changes in pH of flour tortillas. Agricultural Program Conference Graduate Poster Contest. College Station, Texas; 2002.
- (36) Nohynek LJ, Alakomi HL, Kahkonen MP, Heinonen M, Helander IM, Oksman-Caldentey KM, Puupponen-Pimia RH. Berry phenolics: antimicrobial