

## สารบัญ

|                                                                                         | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ                                                                         | ก    |
| บทคัดย่อ                                                                                | ข    |
| สารบัญ                                                                                  | ง    |
| สารบัญตาราง                                                                             | ฉ    |
| สารบัญภาพ                                                                               | ซ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                                            | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มา                                                                   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา                                                             | 3    |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย                                                                   | 3    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง                                                   | 4    |
| 2.1 ข้าวโพด                                                                             | 4    |
| 2.2 สารประกอบฟีนอลิกและสารแอนโทไซยานิน                                                  | 10   |
| 2.3 กระบวนการออกซิเดชัน                                                                 | 27   |
| 2.4 สารต้านออกซิเดชัน                                                                   | 35   |
| 2.5 การแปรรูปอาหารโดยกระบวนการเอกซ์ทรักชัน                                              | 41   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย                                                              | 50   |
| 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี                                                                   | 50   |
| 3.2 วิธีการทดลอง                                                                        | 52   |
| 3.3 สถานที่ทำการวิจัย                                                                   | 58   |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย                                                                      | 59   |
| 4.1 องค์ประกอบทางเคมี                                                                   | 59   |
| 4.2 การวางแผนการทดลอง Central composite design (CCD)                                    | 59   |
| 4.3 การทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์                                         | 70   |
| 4.4 ผลของการเติมกรดอินทรีย์ต่อปริมาณสารไฟโตเคมีคอล และความสามารถ<br>ในการต้านออกซิเดชัน | 71   |
| 4.5 ผลของการเติมกรดอินทรีย์ต่อคุณภาพสีของเส้นบะหมี่ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง              | 72   |
| 4.6 การประเมินผลทางประสาทสัมผัส                                                         | 74   |
| 4.7 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์                                                     | 75   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                   | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล                                                                                       | 80   |
| 5.1 องค์ประกอบทางเคมี                                                                                             | 80   |
| 5.2 การวางแผนการทดลอง Central composite design (CCD)                                                              | 80   |
| 5.3 ผลของการเติมกรดต่อสารไฟโตเคมีคอล และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน                                             | 83   |
| 5.4 ผลของการเติมกรดต่อคุณสมบัติทางกายภาพ                                                                          | 83   |
| 5.5 ผลของกรดต่อการประเมินผลทางประสาทสัมผัส                                                                        | 85   |
| 5.6 ผลของอุณหภูมิการจัดเก็บต่อปริมาณสารไฟโตเคมีคอล ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน และความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ | 85   |
| บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ                                                                               | 87   |
| 6.1 สรุปผลการวิจัย                                                                                                | 87   |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ                                                                                                    | 89   |
| 6.3 ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลงานวิจัยที่ได้                                                                      | 89   |
| บรรณานุกรม                                                                                                        | 90   |
| ภาคผนวก                                                                                                           | 94   |
| ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี                                                                           | 95   |
| ภาคผนวก ข เครื่องมือ วัสดุดิบ และขั้นตอนการผลิตเส้นบะหมี่ข้าวโพดสีม่วง                                            | 102  |
| ประวัติคณะผู้วิจัย                                                                                                | 111  |

## สารบัญตาราง

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณของสารอาหารในเมล็ดข้าวโพดน้ำหนัก 100 กรัม                                                                                                                                                                                                                                                                                | 8    |
| ตารางที่ 2.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่มีในผลไม้สุก                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 14   |
| ตารางที่ 2.3 สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่ที่พบในพืช                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 15   |
| ตารางที่ 2.4 อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้อง                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 30   |
| ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงและเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง                                                                                                                                                                                                                                             | 59   |
| ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรอิสระและระดับของตัวแปรของ CCD                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 60   |
| ตารางที่ 4.3 ค่าตอบสนองของ $Y_1$ , $Y_2$ , $Y_3$ , $Y_4$ , $Y_5$ and $Y_6$ ที่เกิดจากค่าที่แตกต่างกันของ $x_1$ $x_2$ และ $x_3$ ในการทดลองแบบ CCD                                                                                                                                                                                                | 61   |
| ตารางที่ 4.4 การทวนสอบผลการทดลอง                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 70   |
| ตารางที่ 4.5 ผลของการเติมกรดอินทรีย์ต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (TAC) $Y_2$ : ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) $Y_3$ : ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC), $Y_4$ : ความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS (ABTS-RSA) $Y_5$ : ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริกของสารต้านออกซิเดชัน $Y_6$ : ความสามารถในการจับกับเฟอร์รัส (FCA) ของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง | 72   |
| ตารางที่ 4.6 ค่าสีของของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 73   |
| ตารางที่ 4.7 คุณลักษณะของเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง                                                                                                                                                                                                                                                                     | 74   |
| ตารางที่ 4.8 การสูญเสียภายหลังจากให้ความร้อนของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง                                                                                                                                                                                                                                                             | 74   |
| ตารางที่ 4.9 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง                                                                                                                                                                                                                                                                    | 75   |
| ตารางที่ 4.10 ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเมื่อจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์                                                                                                                                                                                                                      | 75   |
| ตารางที่ 4.11 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเมื่อจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์                                                                                                                                                                                                                           | 76   |
| ตารางที่ 4.12 ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเมื่อจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์                                                                                                                                                                                                                        | 76   |
| ตารางที่ 4.13 ความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS ของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเมื่อจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์                                                                                                                                                                                                                   | 77   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|                                                                                                                                                | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 4.14 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริกของสารต้านออกซิเดชันของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเมื่อจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์ | 77   |
| ตารางที่ 4.15 ความสามารถในการจับกับเพอร์สไดออกไซด์ของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเมื่อจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์             | 78   |
| ตารางที่ 4.16 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเมื่อจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์                     | 78   |
| ตารางที่ 4.17 ปริมาณเชื้อราทั้งหมดของเส้นบะหมี่จากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเมื่อจัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 4 สัปดาห์                             | 79   |

## สารบัญภาพ

|                                                                                                                                                                                                         | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะส่วนต่างๆ ของข้าวโพด (Zea mays)                                                                                                                                                    | 5    |
| ภาพที่ 2.2 แสดงส่วนต่างๆ ของลำต้นข้าวโพด ที่ประกอบด้วยใบ ช่อดอกเพศเมีย ช่อดอกเพศผู้ และฝักที่มีผลและเมล็ด ติดอยู่ โดยมีเปลือกหุ้มฝักไว้หลายชั้น                                                         | 5    |
| ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของเมล็ดข้าวโพด                                                                                                                                                                     | 6    |
| ภาพที่ 2.5 ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง                                                                                                                                                                      | 10   |
| ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างของกลุ่มพลาโวนอยด์                                                                                                                                                                   | 11   |
| ภาพที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลชนิดต่างๆ ที่พบทั่วไปในพืช                                                                                                                                     | 13   |
| ภาพที่ 2.8 การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลในพืชจาก shikimic acid และ phenylalanine                                                                                                                          | 17   |
| ภาพที่ 2.9 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล                                                                                                                                         | 19   |
| ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของ Flavones Flavanone Catechin และ Anthocyanin                                                                                                                                    | 20   |
| ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของ flavan                                                                                                                                                                         | 21   |
| ภาพที่ 2.12 การชีวสังเคราะห์ของพลาโวนอยด์                                                                                                                                                               | 22   |
| ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน                                                                                                                                                                    | 25   |
| ภาพที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานิน                                                                                                                                                             | 26   |
| ภาพที่ 2.15 Ascorbic acid (วิตามินซี)                                                                                                                                                                   | 35   |
| ภาพที่ 2.16 $\alpha$ -tocopherol (วิตามินอี)                                                                                                                                                            | 35   |
| ภาพที่ 2.17 ส่วนประกอบของเครื่องเอกซทราเตอร์                                                                                                                                                            | 43   |
| ภาพที่ 4.1 Contour plots (a) และพื้นผิวตอบสนอง (b) แสดงถึงผลของปริมาณน้ำ (WC, %) อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (RF:WPCF; %) และปริมาณกัวร์กัม (GC, %) ต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด | 62   |
| ภาพที่ 4.2 Contour plots (a) และพื้นผิวตอบสนอง (b) แสดงถึงผลของปริมาณน้ำ (WC, %) อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (RF:WPCF; %) และปริมาณกัวร์กัม (GC, %) ต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด      | 63   |
| ภาพที่ 4.3 Contour plots (a) และพื้นผิวตอบสนอง (b) แสดงถึงผลของปริมาณน้ำ (WC, %) อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (RF:WPCF; %) และปริมาณกัวร์กัม (GC, %) ต่อปริมาณพลาโวนอยด์ทั้งหมด   | 64   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                                                  | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 4.4 Contour plots (a) และพื้นผิวตอบสนอง (b) แสดงถึงผลของปริมาณน้ำ (WC, %) อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (RF:WPCF; %) และปริมาณกัวร์กัม (GC, %) ต่อความสามารถในการต้านอนุมูล ABTS                     | 65   |
| ภาพที่ 4.5 Contour plots (a) และพื้นผิวตอบสนอง (b) แสดงถึงผลของปริมาณน้ำ (WC, %) อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (RF:WPCF; %) และปริมาณกัวร์กัม (GC, %) ต่อความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านออกซิเดชัน | 67   |
| ภาพที่ 4.6 Contour plots (a) และพื้นผิวตอบสนอง (b) แสดงถึงผลของปริมาณน้ำ (WC, %) อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (RF:WPCF; %) และปริมาณกัวร์กัม (GC, %) ต่อความสามารถในการจับกับเพอร์ออกไซด์                  | 68   |
| ภาพที่ 4.7 Contour plots (a) และพื้นผิวตอบสนอง (b) แสดงถึงผลของปริมาณน้ำ (WC, %) อัตราส่วนของแป้งข้าวต่อแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (RF:WPCF; %) และปริมาณกัวร์กัม (GC, %) ต่อปริมาณการสูญเสียภายหลังจากให้ความร้อน              | 69   |
| ภาพที่ ข-1 เอกซ์ทรูเดอร์ Poly drive with rheomex R252                                                                                                                                                                            | 103  |
| ภาพที่ ข-2 เครื่องบดแป้งแบบละเอียด                                                                                                                                                                                               | 103  |
| ภาพที่ ข-3 เครื่องผสมวัตถุดิบ                                                                                                                                                                                                    | 104  |
| ภาพที่ ข-4 ตู้อบแห้ง                                                                                                                                                                                                             | 104  |
| ภาพที่ ข-5 แป้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง                                                                                                                                                                                           | 105  |
| ภาพที่ ข-6 แป้งข้าวเจ้า                                                                                                                                                                                                          | 105  |
| ภาพที่ ข-7 กัวร์กัม                                                                                                                                                                                                              | 106  |