

ผลของการสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำและการใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์

Effect of Extraction on Anthocyanin from Black Glutinous Rice Using Soaking Method and Pulsed Electric Field

อรัทัย บุญทะวงศ์^{1*} และอุบลรัตน์ พรหมพั่ง¹
Orathai Bunthawong^{1*} and Ubonrat Phromfung¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ 2 วิธี คือ วิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างกัน คือ อุณหภูมิห้อง (27 ± 1), 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส แช่นาน 8 ชั่วโมง และวิธีการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ที่ความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร นาน 10, 15 และ 20 นาที ใช้อัตราส่วนน้ำหนักของข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:5 พบว่า วิธีการแช่น้ำเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมากขึ้น มีผลให้ความเข้มข้นของสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้เพิ่มขึ้น โดยการแช่ข้าวเหนียวดำด้วยน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ได้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 12.42 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร และวิธีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 20 นาที ได้ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 99.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแอนโทไซยานินของข้าวเหนียวดำได้มากกว่าวิธีการแช่น้ำ 8 เท่า และใช้เวลาน้อยกว่า 12 เท่า

คำสำคัญ: แอนโทไซยานิน ข้าวเหนียวดำ สนามไฟฟ้าแบบพัลส์

Abstract

The aim of this study was to compare two extraction methods of anthocyanin from black glutinous rice. The first extraction method was soaking in water at room temperature (27 ± 1), 50, 60, 70, 80 and 90 OC for 8 hours, and the second extraction method involved the use of pulsed electric field (PEF) at 3 kV/cm for 10, 15 and 20 minutes. The weight ratio of black glutinous rice to water used was 1:5. It was found that when the extraction temperature and the extraction time were increased, the total anthocyanin concentration increased. The highest concentrations of total anthocyanin in the extracts from black glutinous rice that were seen for the water soaking method at 90 OC for 4 hours, and for the PEF method for 20 minutes were 12.42 and 99.65 mg/100mL, respectively. In conclusion, the comparison of the two methods of extracting anthocyanin from black glutinous rice revealed that the PEF total anthocyanin extraction method rice was 8 times more efficient than the water soaking method and was 12 times faster.

Keywords: anthocyanin, black glutinous rice, pulsed electric field

คำนำ

ข้าวเหนียวดำหรือข้าวดำ (black glutinous rice, purple glutinous rice, purple rice) มีสารสีโปรแอนโทไซยานินและสารแอนโทไซยานินในปริมาณสูงกว่าข้าวขาว 8-16 เท่า สารสีต่าง ๆ ของข้าวดำจะมีอยู่ในบริเวณเยื่อหุ้มของเมล็ดข้าว โดยสารแอนโทไซยานินจะมีปริมาณมากเมื่อเมล็ดข้าวแก่เต็มที่ (ดำเนิน กาละดี, 2554) สารแอนโทไซยานินเป็นสารให้สีในอาหาร (Chun-Ying et al., 2014) และมีความสามารถในการละลายน้ำ และมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ช่วยป้องกันการเกิดโรคเมตาบอลิก การเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือด การเกิดโรคหัวใจ และช่วยบรรเทาภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (Hou, 2003; Katsube et al., 2003; Bagchi et al., 2004) โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสารแอนโทไซยานิน ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ชนิดของตัวถูกละลาย และอัตราส่วนของตัวถูกละลาย เป็นต้น (Anderson and Markham,

¹ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai, 50290, Thailand

* Corresponding author, E-mail: jakkrapong_ks@mju.ac.th

2006; Yang and Zhai, 2010) จากกระบวนการผลิตข้าวแต่น้ำข้าวเก่า ซึ่งได้จากการนำข้าวเก่ามาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง เพื่อสกัดสีม่วงจากข้าวเก่าออกมา จากนั้นจึงนำน้ำแช่ข้าวเก่าที่มีสีม่วงไปแช่ข้าวเหนียวขัดขาวเพื่อให้ติดสีม่วง และผลิตเป็นข้าวแต่น้ำข้าวเก่าต่อไป โดยข้าวเก่าหรือข้าวเหนียวดำที่ผ่านการแช่น้ำแล้ว ยังคงมีสีม่วงเหลืออยู่ในเมล็ดข้าว ดังนั้นจึงควรศึกษาวิธีการสกัดวิธีอื่น เพื่อสกัดสีม่วงหรือสารแอนโทไซยานินออกจากข้าวเหนียวดำให้ได้มากที่สุด โดยการสกัดด้วยไฟฟ้าในรูปของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (pulsed electric field) เป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สกัดสารแอนโทไซยานินได้ (รวินิภา ศรีมูล และสมยศ สันติมาลัย, 2561) ซึ่งวิธีนี้เป็นเทคนิคการใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง มีลักษณะเป็นจังหวะ (pulse) โดยผ่านขั้วอิเล็กโทรดในช่วงเวลาสั้น ๆ เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อมีการสะสมประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤต จึงส่งผลทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ (ข้าวจันทร์ กันทะลา และคณะ, 2560) ทำให้สามารถสกัดสารต่าง ๆ ที่ยึดติดกับโครงสร้างของเซลล์ได้ดี ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่ใช้ความร้อนในการสกัด และไม่ทำให้สูญเสียคุณภาพหรือคุณค่าสารอาหาร (จุฑาทิพย์ ศรีทาเกิด และคณะ, 2559; Praporscic et al., 2007; Grimi et al., 2011)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งเป็นการประยุกต์จากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ เพื่อคัดเลือกวิธีที่สกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำได้มากที่สุด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการผลิตข้าวแต่น้ำข้าวเก่าหรือผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการเสริมสารแอนโทไซยานินด้วยวิธีการสกัดจากข้าวเหนียวดำต่อไป

วิธีการศึกษา

ศึกษาการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

นำข้าวเหนียวดำแช่น้ำในอัตราส่วนน้ำหนักของข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:5 โดยเตรียมน้ำที่มีอุณหภูมิกลั่นน้ำไปแช่ข้าวเหนียวดำที่แตกต่างกัน 6 อุณหภูมิ คือ อุณหภูมิห้อง (27 ± 1), 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำน้ำที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันเทใส่ในข้าวเหนียวดำที่เตรียมไว้ แช่ข้าวเหนียวดำนาน 8 ชั่วโมง และสุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบคุณภาพข้าวเหนียวดำ คือ ปริมาณการดูดซึมน้ำ (water uptake) (Neher et al., 2014) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) และนำน้ำแช่ข้าวเหนียวดำทุก 1 ชั่วโมง วัดค่าความเข้มข้นของสารที่สกัดได้ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร และปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Fuleki and Francis, 1968) คัดเลือกสภาวะการสกัดสารแอนโทไซยานินที่เหมาะสม เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำต่อไป

$$\text{ปริมาณการดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าวเหนียวดำหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักของข้าวเหนียวดำก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักของข้าวเหนียวดำก่อนแช่น้ำ}} \times 100 \quad (1)$$

ศึกษาการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์

แช่ข้าวเหนียวดำกับน้ำในอัตราส่วนน้ำหนักเท่ากับ 1:5 นำไปสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ ใช้การทดลองในการสกัดแบบกะ (batch) โดยใช้ความเข้มสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร และความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ โดยใช้ระยะเวลาการสกัด 10, 15 และ 20 นาที คิดเป็นจำนวนพัลส์ 600, 900 และ 1,200 พัลส์ ตามลำดับ จากนั้นตรวจสอบคุณภาพข้าวเหนียวดำ คือ ปริมาณการดูดซึมน้ำ (water uptake) (Neher et al., 2014) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) และนำส่วนน้ำหลังการสกัดจากข้าวเหนียวดำวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร และปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Fuleki and Francis, 1968) คัดเลือกสภาวะการสกัดสารแอนโทไซยานินที่เหมาะสม เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ รายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย (mean $\pm$ SD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

จากการนำข้าวเหนียวดำแช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นแตกต่างกัน 6 อุณหภูมิ ดังแสดงใน Figure 1-2 พบว่า ข้าวเหนียวดำมีปริมาณการดูดซึมน้ำ และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่นานขึ้น การแช่น้ำที่นานขึ้นทำให้เกิดการแพร่ของโมเลกุลน้ำจากบริเวณที่มีปริมาณน้ำสูงไปสู่เมล็ดข้าวเหนียวดำที่มีปริมาณน้ำต่ำได้มากขึ้น โดยในช่วง 1-4 ชั่วโมง ข้าวเหนียวดำมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และช่วงการแช่นาน 4-8 ชั่วโมง ค่าการดูดซึมน้ำและความชื้นของเมล็ดข้าวเหนียวดำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยน้ำหลังการแช่ข้าวเหนียวดำมีค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่นานขึ้น เนื่องจากระยะเวลาที่มีผลต่อการแพร่ของโมเลกุลสารแอนโธไซยานินหรือสีม่วงจากบริเวณผิวของข้าวเหนียวดำลงสู่ น้ำแช่ โดยในช่วง 1-4 ชั่วโมง ค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำแช่ข้าวเหนียวดำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ($p \leq 0.05$) จากนั้นมีปริมาณค่อนข้างคงที่ในช่วงการแช่นาน 4-8 ชั่วโมง ($p > 0.05$) ดังแสดงใน Figure 3 และ Table 1 จากการศึกษาพบว่าน้ำที่แช่ข้าวเหนียวดำนาน 8 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดลดลง เนื่องจากเวลาที่นานอาจมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแอนโธไซยานิน จึงส่งผลให้มีปริมาณลดลงได้ (รัตนมา ม่วงรัตน์ และคณะ, 2558; Lapornlik and Wonda, 2005) เมื่อเปรียบเทียบผลจากอุณหภูมิแช่น้ำที่ใช้ต่อการสกัดสารแอนโธไซยานิน หากพิจารณาที่ระยะเวลาการแช่น้ำที่เท่ากัน พบว่า การแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส จะมีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำแช่ข้าวเหนียวดำมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงจะไปช่วยทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และลดแรงดึงดูดของตัวทำละลาย ส่งผลให้การสกัดสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น (รัตนมา ม่วงรัตน์ และคณะ, 2558) และเมื่อพิจารณาด้านระยะเวลาการแช่ พบว่า การแช่ข้าวเหนียวดำนาน 4 ชั่วโมง จะมีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำแช่ข้าวเหนียวดำไม่แตกต่างกับการแช่นานมากขึ้น (5-8 ชั่วโมง) ($p > 0.05$) ดังนั้นวิธีการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีการสกัดที่เหมาะสมที่สุดของวิธีการแช่น้ำนี้

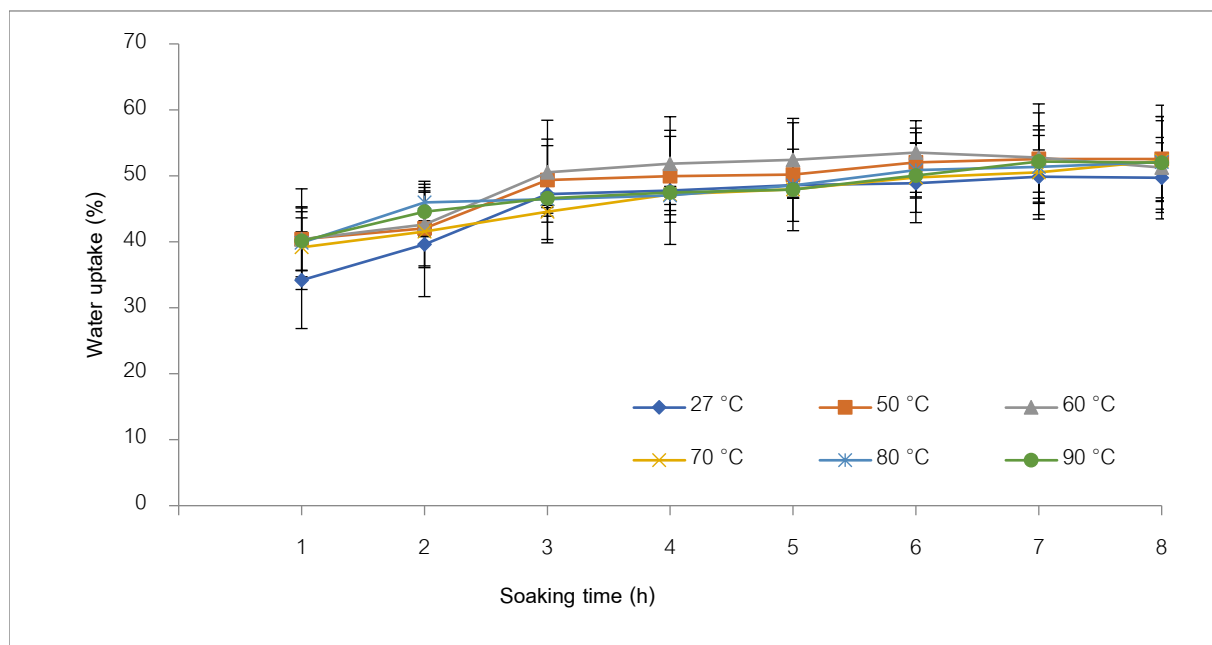


Figure 1 The water uptake of soaked black glutinous rice at the different various condition.

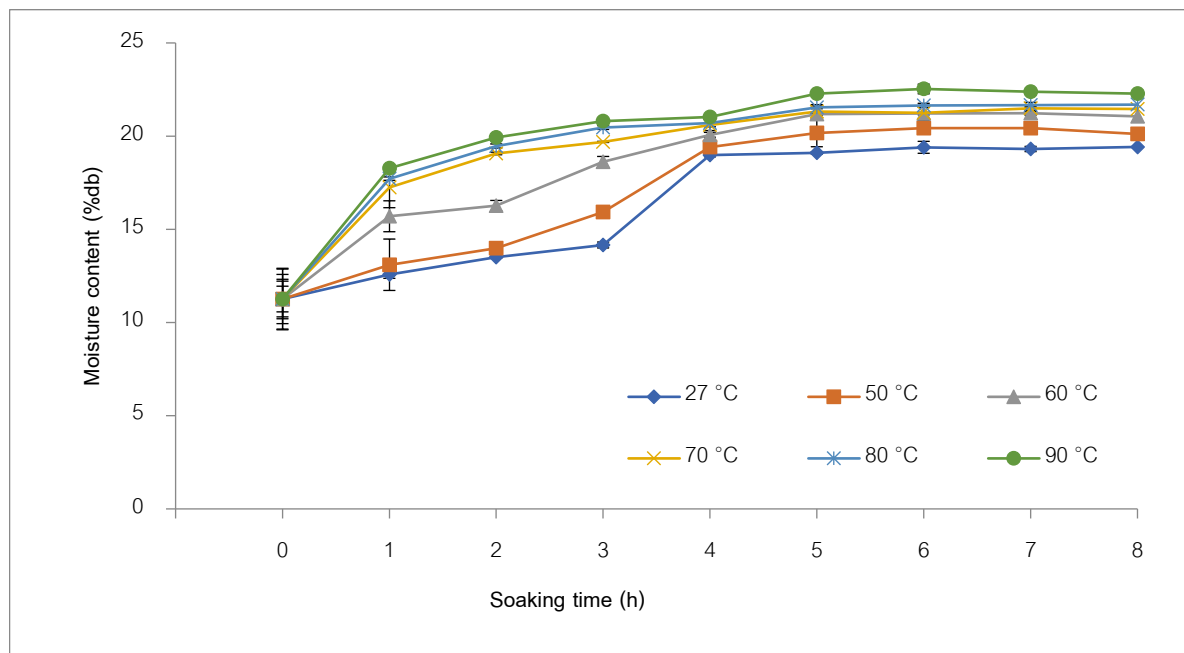


Figure 2 The moisture content of soaked black glutinous rice at the different various condition.

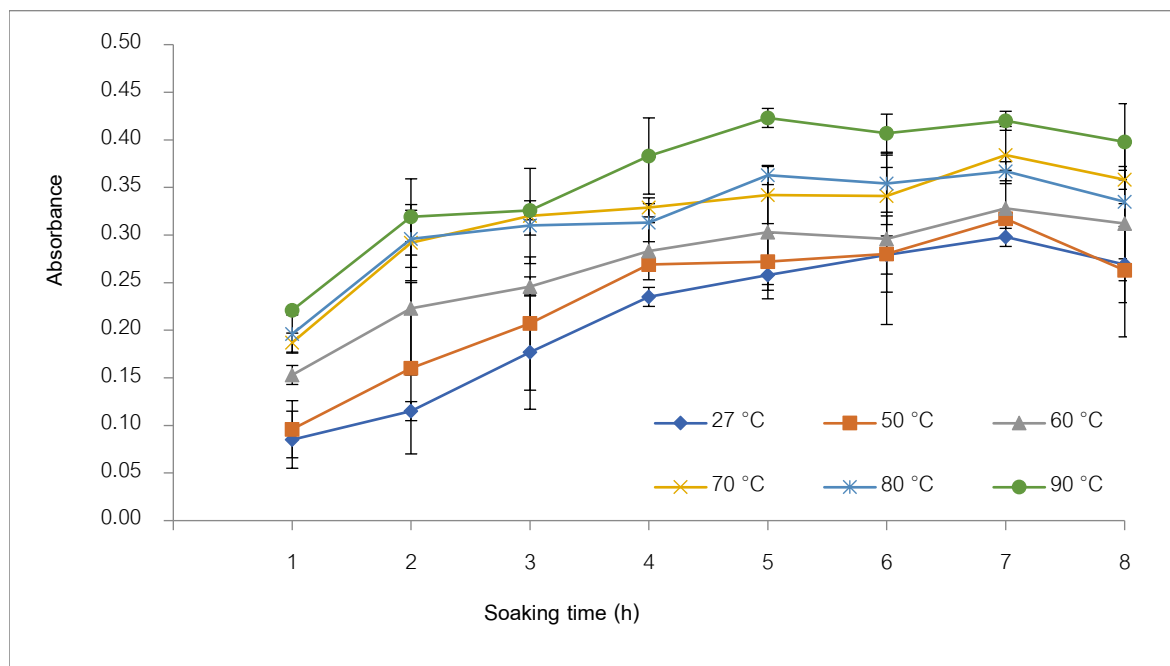


Figure 3 The absorbance of water after soaking black glutinous rice at the different various condition.

Table 1 The total anthocyanin (mg/100ml) of water after soaking black glutinous rice at the different various condition.

Soaking time (h)	Water temperature (°C)					
	27	50	60	70	80	90
1	2.75±1.00 ^{c C}	3.11±1.10 ^{c C}	4.97±0.45 ^{a B}	6.05±0.31 ^{c AB}	6.36±0.59 ^{c A}	7.15±0.02 ^{d A}
2	3.74±1.89 ^{c B}	5.18±3.06 ^{bc B}	7.22±2.32 ^{a AB}	9.47±1.43 ^{b A}	9.61±0.93 ^{b A}	10.35±1.25 ^{c A}
3	5.74±2.43 ^{bc B}	6.72±2.12 ^{abc B}	7.99±0.47 ^{a AB}	10.38±1.52 ^{ab A}	10.06±0.17 ^{ab A}	10.58±0.44 ^{bc A}
4	7.60±0.21 ^{ab E}	8.73±0.12 ^{ab DE}	9.16±0.89 ^{a CD}	10.68±0.34 ^{ab B}	10.14±0.74 ^{ab BC}	12.42±1.24 ^{ab A}
5	8.35±0.34 ^{ab C}	8.80±0.98 ^{ab C}	9.82±2.43 ^{a BC}	11.09±1.01 ^{ab B}	11.78±0.31 ^{ab AB}	13.71±0.16 ^{a A}
6	9.05±0.73 ^{a B}	9.08±1.23 ^{ab B}	9.59±2.86 ^{a B}	11.07±1.13 ^{ab AB}	11.48±0.96 ^{ab AB}	13.20±0.18 ^{a A}
7	9.65±0.11 ^{a D}	10.28±0.28 ^{a D}	10.65±1.45 ^{a CD}	12.44±1.05 ^{a AB}	11.90±0.32 ^{a BC}	13.63±0.78 ^{a A}
8	8.72±1.33 ^{ab C}	8.52±2.12 ^{ab BC}	10.13±2.09 ^{a ABC}	11.61±0.22 ^{ab AB}	10.87±1.92 ^{ab ABC}	12.91±0.17 ^{a A}

^{a-d} Means value in the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{A-E} Means value in the same row with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลของการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์

จากการนำข้าวเหนียวดำสกัดสารแอนโธไซยานินด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ดังแสดงใน Table 2 พบว่า ข้าวเหนียวดำมีการดูดซึมน้ำ และความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสกัดที่นานขึ้น ($p > 0.05$) ส่วนค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดในน้ำแช่ข้าวเหนียวดำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 20 นาที มีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดมากที่สุด ซึ่งการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์เป็นวิธีที่ช่วยทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ และปล่อยสารต่าง ๆ ออกมา (Goettel et al., 2013) และทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า electroporation หรือ pore formation คือเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกเป็นรูพรุน (pores) เล็ก ๆ มากขึ้น ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะการเป็นเยื่อเลือกผ่านเพิ่มขึ้น มีการไหลของสารมากขึ้น ส่งผลให้สามารถสกัดสารต่าง ๆ ที่ยึดติดกับโครงสร้างของเซลล์ได้ดี (จุฑาทิพย์ ศรีทาเกิด, 2559; Clark, 2006) ดังนั้นการใช้เวลาสกัดที่นานจึงส่งผลให้สามารถสกัดสารออกมาได้มากขึ้น ในทางปฏิบัติจึงผู้ประกอบการอาจพิจารณาเลือกใช้การสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 10 นาที ซึ่งสกัดสารแอนโธไซยานินได้ 95.26 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ขณะที่การเพิ่มเวลาในการให้กระแสไฟฟ้านาน 20 นาที สามารถสกัดได้สารแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยประมาณ 4 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (99.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) อาจต้องมีการพิจารณาด้านความคุ้มค่ากับเวลาและค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้น

เมื่อนำวิธีการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำที่ได้คัดเลือกจากสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละวิธี คือ การแช่น้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง และการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 20 นาที นำมาเปรียบกับการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (27 องศาเซลเซียส) นาน 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม ดังแสดงใน Table 3 พบว่า ข้าวเหนียวดำหลังแช่มีค่าความชื้นร้อยละ 19.42, 22.28 และ 42.27 ตามลำดับ และการแช่ข้าวเหนียวดำที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง สามารถสกัดสารแอนโธไซยานินทั้งหมดได้น้อยที่สุด (8.72 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) และการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง สกัดสารแอนโธไซยานินทั้งหมดได้มากขึ้น (12.42 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ส่วนการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ได้ปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดมากที่สุด (99.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) ซึ่งวิธีนี้เป็นการสกัดแบบไม่ใช้ความร้อนและใช้เวลาน้อย มีผลให้สารแอนโธไซยานินเกิดการสลายตัวได้น้อยกว่า จึงสามารถสกัดสารแอนโธไซยานินได้มากกว่าวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (แบบดั้งเดิม) และการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส ได้ 12 และ 8 เท่า ตามลำดับ และใช้เวลาน้อยกว่า 24 และ 12 เท่า ตามลำดับ

จากผลการศึกษาวิธีการสกัดสารสีม่วงหรือสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำ ส่งผลให้ผู้ประกอบการสามารถลดเวลาการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำจากเดิมใช้เวลา 8 ชั่วโมง ให้เหลือเพียง 4 ชั่วโมง ซึ่งสามารถสกัดได้สารสีม่วงหรือปริมาณสารแอนโธไซยานินได้ใกล้เคียงกัน ($p > 0.05$) และหากเปลี่ยนมาเตรียมน้ำแช่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส แช่นาน 4 ชั่วโมง จะสามารถสกัดได้สารสีม่วงหรือปริมาณสารแอนโธไซยานินได้มากกว่าวิธีเดิม และหากผู้ประกอบการสามารถพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำได้มากขึ้น

Table 2 The qualities of soaked black glutinous rice and water after soaking black glutinous rice by pulsed electric field at different times.

Qualities	Soaking time (min.)		
	10	15	20
Water uptake of soaked black glutinous rice (%) ^{ns}	25.23±0.60	25.95±0.57	27.20±0.71
Moisture content of soaked black glutinous rice (%) ^{ns}	38.62±0.52	40.10±0.17	42.27±0.49
The absorbance of water after soaking black glutinous rice	2.938±0.01 ^b	2.931±0.01 ^b	3.073±0.01 ^a
Total anthocyanin of water after soaking black glutinous rice (mg/100ml)	95.26±0.37 ^b	95.05±0.44 ^b	99.65±0.44 ^a

^{ns} Means with no significant difference (p>0.05).

^{a-b} Means value in the same row with different letters are significantly different (p≤0.05).

Table 3 The moisture content of soaked black glutinous rice and total anthocyanin of water after soaking black glutinous rice at the different various condition.

Method	The moisture content of soaked black glutinous rice (%)	Total anthocyanin of water after soaking black glutinous rice (mg/100ml)
Black glutinous rice before soaking	11.26±0.19	-
Soaking in water at 27°C for 8 h	19.42±0.14	8.72±1.33
Soaking in water at 90°C for 4 h	22.28±0.09	12.42±1.24
Soaking in water by the pulsed electric field for 20 min	42.27±0.49	99.65±0.44

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารแอนโธไซยานินหรือสีม่วงจากข้าวเหนียวดำด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างกัน และการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:5 จากการศึกษาพบว่า การแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม และการแช่น้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัดมากขึ้น ความเข้มข้นของสารแอนโธไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น โดยการแช่ข้าวเหนียวดำในน้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง และน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง สามารถสกัดสารแอนโธไซยานินได้ 8.72 และ 12.42 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ และการสกัดด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์นาน 20 นาที สามารถสกัดสารแอนโธไซยานินได้ 99.65 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารแอนโธไซยานินจากข้าวเหนียวดำได้มากกว่าวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง และน้ำอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 90 องศาเซลเซียส ได้ 12 และ 8 เท่า ตามลำดับ และใช้เวลาน้อยกว่า 24 และ 12 เท่า ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการเมืองนวัตกรรมเกษตรและอาหารล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ประจำปี 2562 และขอขอบคุณ รศ.ดร.พานิช อินต๊ะ และอาจารย์ชัชวาลย์ กันทะลา ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวไฟฟ้า หน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์สำหรับงานวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้คำปรึกษา และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จุฑาทิพย์ ศรีทาเกิด, รุ่งทิพา ชุมคำ, วริศรา ยังยืนกุล, อาทิตย์ ยาวุฑฒิ และพานิช อินต๊ะ. 2559. การสกัดน้ำจากแอปเปิ้ลสดโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ร่วมกับการบีบอัดเชิงกล. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ* 26(2): 253-263.
- ชัชวาลย์ กันทะลา, เวสราธิ จรเจริญ, กัญญาภรณ์ เสือชุมแสง, ปพน สะอาดวง และพานิช อินต๊ะ. 2560. การพัฒนาและการทดสอบเบื้องต้นระบบสนามไฟฟ้าพัลส์ระดับห้องปฏิบัติการสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำส้ม. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม* 1(1): 15-25.
- ดำเนิน กาละดี. 2554. *ข้าวเก่า (ข้าวเหนียวดำ) ทรัพยากรข้าวไทยที่ถูกลืม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มีงเมือง.
- วรินภา ศรีมูล และสมยศ สันติมาลัย. 2561. การสกัดแอนโธไซยานินจากลูกหว้า (*Syzygium cumini* Skeels) โดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 46(4): 800-811.

- รัตน์ ม่วงรัตน์, ศุจินทรา สุวรรณ และปณิดา ศุทธิกิจ. 2558. ผลของสภาวะต่าง ๆ ในการสกัดแบบอัลตราโซนิกต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 23(ฉบับพิเศษ 5): 783-796.
- Anderson, O. M., and Markham, K. K. 2006. *Flavonoids-chemistry, biochemistry and applications*. New York: CRC Taylor & Francis Group.
- AOAC. 2005. *Official method of analysis*. 18th ed. USA: The Association of Official Analytical chemists (AOAC). Maryland: Gaithersburg.
- Bagchi, D., Sen, C. K., Bagchi, M., and Atalay, M. 2004. Anti-angiogenic, antioxidant, and anti-carcinogenic properties of a novel anthocyanin-rich berry extract formula. *Biochemistry* 69(1): 75-80.
- Chun-Ying, L., Hee-Woong, K., He, L., Deug-Chan, L., and Hae-Ik, R. 2014. Antioxidative effect of purple corn extracts during storage of mayonnaise. *Food Chemistry* 152: 592-596.
- Clark, J. P. 2006. Pulsed electric field processing. *Food Technology* 60(1): 66-67.
- Hou, D. X. 2003. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins. *Current Molecular Medicine* 3(2): 149-159.
- Fuleki, T., and Francis, F. J. 1968. Quantitative methods for anthocyanin, extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *Journal of Food Science* 33:72-77.
- Goettel, M., Eing, C., Gusbelth, E., Straessner, R., and Frey, W. 2013. Pulsed electric field assisted extraction of intracellular valuables from microalgae. *Algal Research Journal*. 28: 350-356.
- Grimi, N., Mamouni, F., Lebovka, N., Vorobiev, E., and Vaxelaire, J. 2011. Impact of apple processing modes on extracted juice quality: pressing assisted by pulsed electric fields. *Journal of food Engineering* 103(1): 52-61
- Katsube, N., Iwashita, K., Tsushida, T., Yamaki, K., and Kobori, M. 2003. Introduction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(1): 68-75.
- Lapornlik, B., Prošek, M., and Wonda, A. G. 2005. Comparison of extracts prepared from plant by-product using different solvents and extraction time. *Journal of food Engineering* 71(2): 214-222.
- Neher, B., Bhuiyan, M. R., Kabir, H., Qadir, R., Gafur, A., and Ahmed, F. 2014. Study of mechanical and physical properties of palm fiber reinforced acrylonitrile butadiene styrene composite. *Materials Sciences and Applications* 5(1): 39-45.
- Praporscic, I., Lebovka, N., Vorobiev, E., and Mietton-Peuchot, M. 2007. Pulsed electric field enhanced expression and juice quality of white grapes. *Separation and Purification Technology* 52(3): 520-526.
- Yang, Z., and Zhai, W. 2010. Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technology* 11(1): 169-176.

วันรับบทความ (Received date) : 5 ต.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 11 มี.ค. 65

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65