# บทที่ 4
# ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 4.1 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งเปลือกถั่วเขียวต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

### 4.1.1 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งเปลือกถั่วเขียวต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

จากการวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสด และเปลือกถั่วเขียวอบแห้งที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50, 75 และ 100 องศาเซลเซียส (จนมีความชื้นประมาณ 4±0.02 เปอร์เซ็นต์ (w/w)) โดยคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ในหน่วยของมิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว

| อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส) | ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง) |
|---|---|
| เปลือกถั่วเขียวสด | $17.57 \pm 0.004^{c}$ |
| 50 | $1.7 \pm 0.002^{a}$ |
| 75 | $2.49 \pm 0.002^{b}$ |
| 100 | $1.65 \pm 0.002^{a}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของเปลือกถั่วเขียวสด (ไม่ผ่านการอบแห้ง) และเปลือกถั่วเขียวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆกัน จะเห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของตัวอย่างเปลือกถั่วเขียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าตัวอย่างเปลือกถั่วเขียวสดมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 17.57 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง เมื่อให้ความร้อนกับเปลือกถั่วเขียวที่อุณหภูมิ

50, 75 และ 100 องศาเซลเซียส เปลือกถั่วเขียวมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงเป็น 1.7, 2.49 และ1.65 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิสูงในระหว่างการอบแห้ง อาจมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ และระเหยกลายเป็นไอ เช่น ฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างเป็นแบบ $C_6$-$C_3$-$C_6$ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกัน จะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัว โดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและวงแหวน A จะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์และจะระเหยไปพร้อมกับน้ำ (วิวัฒน์, 2545) ในการทดลองยังให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Weider และคณะ (2002) พบว่าปริมาณของฟีนอลิกในข้าวไรย์มีปริมาณลดลงเมื่อนำมาผ่านกระบวนการอบแห้ง และจะมีปริมาณลดลงเป็นลำดับเมื่อใช้เวลาอบนานขึ้น และยังสอดคล้องกับการทดลองของ Mausour และ Khaili (2000) ที่พบว่าการลดลงของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดจากขิงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง โดย gingerol ในสารสกัดจากขิงที่เป็นสารในกลุ่มฟีนอลิกคีโตนจะไม่ถูกทำลาย ถ้าใช้อุณหภูมิในการทำแห้งไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส

**4.1.2 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งเปลือกถั่วเขียวต่อสมบัติการต้านออกซิเดชัน**

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสด (ไม่ผ่านการอบแห้ง) และเปลือกถั่วเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50, 75 และ 100 องศาเซลเซียส โดยคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกในหน่วย มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสดและเปลือกถั่วเขียวอบแห้ง

| อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส) | ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (หน่วย มิลลิกรัม Trolox Equivalent /กรัมตัวอย่างแห้ง) | |
|---|---|---|
| | ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระDPPH | ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก |
| เปลือกถั่วเขียวสด | $4.43 \pm 0.19^{c}$ | $7.81 \pm 0.02^{c}$ |
| 50 | $0.28 \pm 0.00^{b}$ | $1.17 \pm 0.01^{a}$ |
| 75 | $0.30 \pm 0.02^{b}$ | $1.34 \pm 0.007^{b}$ |
| 100 | $0.15 \pm 0.009^{a}$ | $1.18 \pm 0.007^{a}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของเปลือกถั่วเขียวสด และเปลือกถั่วเขียวอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเป็นไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยเปลือกถั่วเขียวสดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก สูงถึง 14.37 และ 7.81 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และเมื่อให้ความร้อนกับเปลือกถั่วเขียว พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกลดลง อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อกิจกรรมในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ ซึ่งอุณหภูมิอาจจะไปลดองค์ประกอบทางเคมีของพืชและเพิ่มการสูญเสียจากการระเหยกลายเป็นไอ (Larrauri และคณะ, 1997) โดยเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกลดลงเป็น 0.15 และ 1.18 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ การอบแห้งทำให้ผนังเซลล์ของเปลือกถั่วเขียวเกิดการแห้งแข็ง เมื่อนำมาสกัดจึงอาจทำให้ตัวทำละลายแทรกผ่านเข้าไปด้านในเซลล์ได้ยาก และเข้าไปทำละลายได้น้อยจึงมีผลให้การปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกถั่วเขียวที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (soluble phenolic) ออกมาได้น้อย อีกทั้งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้สารประกอบฟีนอลิกแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ และระเหยกลายเป็นไอดังที่ได้กล่าวข้างต้น (วิวัฒน์, 2545)

จากการทดลองจะเห็นว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวมีการความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นในลักษณะที่สัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยพบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสดให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดที่ได้จากเปลือกถั่วเขียวแห้ง ดังนั้นจึงเลือกเปลือกถั่วเขียวสดเป็นวัตถุดิบในการทดลองต่อไป

## 4.2 ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อปริมาณและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว

### 4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อปริมาณสารสกัดและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว

การวิเคราะห์ปริมาณสารสกัด และการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวสดที่สกัดที่อุณหภูมิต่างๆกัน คือ 25, 50 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยคำนวณปริมาณสารสกัดที่ได้ในหน่วยของ กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง และคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในหน่วยของ มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.3** ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อปริมาณสารและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง

| อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส) | ปริมาณสารสกัด (กรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) | ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง) |
|---|---|---|
| 25 | $0.077 \pm 0.007^{a}$ | $0.80 \pm 0.07^{a}$ |
| 50 | $0.082 \pm 0.000^{a}$ | $0.87 \pm 0.02^{b}$ |
| 80 | $0.087 \pm 0.007^{a}$ | $1.40 \pm 0.013^{c}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**ตารางที่ 4.4** ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อปริมาณสารและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว

| อุณหภูมิในการสกัด (องศาเซลเซียส) | ปริมาณสารสกัด (กรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) | ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง) |
|---|---|---|
| 25 | $0.283 \pm 0.024^{a}$ | $18.01 \pm 0.014^{b}$ |
| 50 | $0.316 \pm 0.024^{a}$ | $17.43 \pm 0.042^{a}$ |
| 80 | $0.283 \pm 0.024^{a}$ | $25.05 \pm 0.20^{c}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาปริมาณสารสกัด และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองที่สกัดที่อุณหภูมิต่างๆกัน จะเห็นว่าอุณหภูมิในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่าอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการสกัดเปลือกถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเป็น 0.795 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเป็น 50 และ 80 องศาเซลเซียส ก็พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.87 และ 1.40 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับกรณีของตัวอย่างเปลือกถั่วเขียวสด (ตารางที่ 4.4) พบว่าอุณหภูมิในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการสกัดเปลือกถั่วเขียวสดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเป็น 18.01 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเป็น 80 องศาเซลเซียส ก็พบว่าที่อุณหภูมิสูงสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสด มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 25.05 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากในธรรมชาติสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในพืชส่วนใหญ่จะพบในรูปที่อยู่รวมกับสารอื่นที่เป็นองค์ประกอบของพืช (bound form) ซึ่งก็มีทั้งชนิดที่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ และอยู่ในรูปที่จับกับสารโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชโดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนท์ จึงทำให้ไม่สามารถสกัดได้ด้วยตัวทำละลายโดยทั่วไปได้ง่าย (Balasundram *et al*., 2006 ; Choi *et al*., 2006) ดังนั้นการใช้ความร้อนใน

การสกัดนั้น ความร้อนอาจจะไปทำลายพันธะโควาเลนท์ จึงทำให้สามารถปลดปล่อยสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในพืชให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ ขณะเดียวกันความร้อนก็สามารถปลดปล่อยสารประกอบโพลีฟีนอลที่อยู่ในรูปที่จับกับสารอื่นให้อยู่ในรูปที่สามารถละลายได้เช่นกัน (Dewanto *et al*., 2002 ; Podsedek., 2007) จึงทำให้สามารถสกัดสารประกอบโพลีฟีนอลจากพืชได้มากขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kirca และคณะ (2006) พบว่าปริมาณแอนโธไซยานินจากแครอทสีดำมีปริมาณเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิในการสกัด 70-80 องศาเซลเซียส และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sousa และคณะ (2008) ทำการสกัดสารสกัดจากมะกอก (*alcaparras*) โดยเปรียบเทียบการสกัดด้วยน้ำและเมธานอลและเปรียบเทียบการสกัดที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำและเมธนานอล พบว่าการสกัดสารสกัดจากมะกอก (*alcaparras*) ด้วยน้ำและเมธานอลที่อุณหภูมิจุดเดือดของทั้งน้ำและเมธานอลจะให้ได้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยน้ำและเมธานอลที่อุณหภูมิห้อง และจากข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าตัวอย่างเปลือกถั่วเหลืองและตัวอย่างเปลือกถั่วเขียวมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าพืชแต่ละชนิดอาจมีสารประกอบโพลีฟีนอลเป็นองค์ประกอบในรูปแบบและ/หรือโครงสร้างที่แตกต่างกัน และพบว่าเปลือกถั่วเขียวสดให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าเปลือกถั่วเหลือง

**4.2.2 ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง และเปลือกถั่วเขียว**

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง), 50 และ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมงโดยคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกในหน่วย มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6

**ตารางที่ 4.5** ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง

| อุณหภูมิสกัด (องศาเซลเซียส) | ความสามารถการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (มิลลิกรัม Trolox Equivalent / กรัมตัวอย่างแห้ง) | |
|---|---|---|
| | ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระDPPH | ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก |
| 25 | $0.33 \pm 0.024^{a}$ | $0.28 \pm 0.003^{a}$ |
| 50 | $0.77 \pm 0.005^{b}$ | $0.3 \pm .003^{b}$ |
| 80 | $1.40 \pm 0.004^{c}$ | $0.37 \pm 0.0007^{c}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**ตารางที่ 4.6** ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว

| อุณหภูมิสกัด (องศาเซลเซียส) | ความสามารถการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (มิลลิกรัม Trolox Equivalent / กรัมตัวอย่างแห้ง) | |
|---|---|---|
| | ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระDPPH | ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก |
| 25 | $14.13 \pm 0.106^{a}$ | $7.84 \pm 0.021^{a}$ |
| 50 | $16.01 \pm 0.192^{b}$ | $8.21 \pm 0.021^{b}$ |
| 80 | $42.10 \pm 0.226^{c}$ | $17.19 \pm 0.00^{c}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 วิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง พบว่าอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการสกัดเปลือกถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำให้สารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเป็น 0.33 และ 0.28 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเป็น 50 และ 80 องศาเซลเซียส ทำให้สารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นเป็น 0.77 และ 1.4 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง

ตามลำดับ และมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกซ์เพิ่มขึ้นเป็น 0.3 และ 0.37 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ

จากผลการทดลองความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองได้ผลสอดคล้องในทิศทางเดียวกับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสด แสดงดังตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว พบว่าอุณหภูมิในการสกัดมีผลต่อความสามารถในการปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทำการสกัดเปลือกถั่วเขียวสดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำให้สารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็น 14.13 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเป็น 50 และ 80 องศาเซลเซียส ทำให้สารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสดมีความความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นเป็น 16.01 และ 42.1 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ เช่นเดียวกับความสามารถในการรีดิว์เฟอร์ริก พบว่าเปลือกถั่วเขียวสดทำการสกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเป็น 7.84 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเป็น 50 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวสดมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้นเป็น 8.21 และ 17.19 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการสกัด ความร้อนอาจจะไปทำลายพันธะโควาเลนท์ทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลถูกสกัดออกมาได้เพิ่มมากขึ้นโดยปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลจะสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ตารางที่ 4.3 และ 4.4) ดังนั้นจึงทำให้สารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวที่สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกดีกว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Siriwardhana and Shahidi (2002) กล่าวว่ากระบวนการสกัดสารประกอบฟีนอลิกในส่วนของ เมล็ด ผิว และเปลือกของอัลมอนด์ สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือการใช้เอธานอลความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง อีกทั้งยังทำให้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นด้วย และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Padda และ Picha (2008) พบว่าเนื้อมันเทศที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเมื่อนำมาทำการสกัดโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะแสดงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อปริมาณสารสกัด ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวสด พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวสดที่สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูง และแสดงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงได้เลือกอุณหภูมิในการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สกัดตัวอย่างเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวสด ในการทดลองต่อไป

## 4.3 ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว

### 4.3.1 ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารสกัด และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสกัด และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวที่สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3, 5 และ 8 ชั่วโมง โดยคำนวณปริมาณสารสกัดที่ได้ในหน่วยของกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง และคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในหน่วยของ มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8

**ตารางที่ 4.7** ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารสกัด และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง

| เวลาสกัด (ชั่วโมง) | ปริมาณสารสกัด (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง) | ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง) |
|---|---|---|
| 1 | $0.087 \pm 0.007^{a}$ | $0.98 \pm 0.002^{a}$ |
| 3 | $0.082 \pm 0.014^{a}$ | $1.21 \pm 0.007^{b}$ |
| 5 | $0.093 \pm 0.014^{a}$ | $1.37 \pm 0.010^{c}$ |
| 8 | $0.092 \pm 0.00^{a}$ | $1.8 \pm 0.002^{d}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**ตารางที่ 4.8** ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารสกัด และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว

| เวลาสกัด (ชั่วโมง) | ปริมาณสารสกัด (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง) | ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง) |
|---|---|---|
| 1 | $0.260 \pm 0.00^{a}$ | $25.38 \pm 0.056^{a}$ |
| 3 | $0.283 \pm 0.023^{a}$ | $26.39 \pm 0.000^{b}$ |
| 5 | $0.283 \pm 0.023^{a}$ | $27.19 \pm 0.330^{c}$ |
| 8 | $0.300 \pm 0.047^{a}$ | $32.59 \pm 0.113^{d}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาการปริมาณสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองที่สกัดในเวลาที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อปริมาณสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเปลือกถั่วเหลืองทำการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเป็น 0.98 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง และเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้จากเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดเป็น 3, 5 และ 8 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 1.21, 1.37 และ 1.8 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งได้ให้ผลเช่นเดียวกับผลการทดลองของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว ดังข้อมูลในตารางที่ 4.8 ที่ทำการสกัดเปลือกถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆกัน พบว่าเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเป็น 25.38 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดเป็น 3, 5 และ 8 ชั่วโมง จะเห็นว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 26.39, 27.19 และ 32.59 มิลลิกรัม gallic acid/กรัมตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้ความร้อนในการสกัดมีผลทำให้ผนังเซลล์พืชถูกทำลายและมีผลต่อการทำลายพันธะโควาเลนท์ ทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ ถูกปลดปล่อยออกมาได้มากหากใช้เวลาในการสกัดนานขึ้นก็จะทำให้สารประกอบฟีนอลิก

ถูกสกัดได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chandrika และ Fereidoon (2005) ศึกษาการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากข้าวสาลีโดยเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการสกัด พบว่าการสกัดสารสกัดจากข้าวสาลี โดยใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง จะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 95 องศาเซลเซียส และใช้เวลาการสกัดน้อยกว่า 12 ชั่วโมง

**4.3.2 ผลของเวลาในการสกัดต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว**

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1, 3, 5 และ 8 ชั่วโมงโดยคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกในหน่วย มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ 4.10

**ตารางที่ 4.9** ผลของเวลาในการสกัดต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง

| เวลาสกัด (ชั่วโมง) | ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง) | |
|---|---|---|
| | ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH | ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก |
| 1 | $0.65 \pm 0.003^{a}$ | $0.30 \pm 0.000^{a}$ |
| 3 | $1.01 \pm 0.014^{b}$ | $0.33 \pm 0.004^{b}$ |
| 5 | $1.41 \pm 0.007^{c}$ | $0.39 \pm 0.001^{c}$ |
| 8 | $1.76 \pm 0.007^{d}$ | $0.44 \pm 0.002^{d}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

**ตารางที่ 4.10** ผลของเวลาในการสกัดต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว

| เวลาสกัด (ชั่วโมง) | ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง) | |
|---|---|---|
| | ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH | ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก |
| 1 | $28.65 \pm 0.495^{a}$ | $14.67 \pm 0.014^{a}$ |
| 3 | $37.90 \pm 0.361^{b}$ | $15.77 \pm 0.049^{b}$ |
| 5 | $55.76 \pm 0.537^{c}$ | $19.77 \pm 0.028^{c}$ |
| 8 | $67.23 \pm 0.332^{d}$ | $20.60 \pm 0.042^{d}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 แสดงผลของเวลาในการสกัดต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง พบว่าเวลาในการสกัดมีผลต่อการความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การสกัดเปลือกถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะเห็นว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็น 0.65 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นเป็น 3, 5 และ 8 ชั่วโมง พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นเป็น 1.01, 1.41 และ1.76 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก สารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง ทำการสกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเป็น 0.30 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง และเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นเป็น 3, 5 และ 8 ชั่วโมง ก็พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.33, 0.39 และ 0.44 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ

ในกรณีของตัวอย่างเปลือกถั่วเขียว ให้ผลในทิศทางเดียวกับผลการทดลองของตัวอย่างเปลือกถั่วเหลือง จากข้อมูลในตารางที่ 4.10 แสดงผลของเวลาการสกัดต่อความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าเวลาในการสกัดมีผลต่อการความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการสกัดเปลือกถั่วเขียวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็น 28.65 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง และเมื่อเพิ่มเวลาสกัด

นานขึ้นเป็น 3, 5 และ 8 ชั่วโมง พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นเป็น 37.90, 55.76 และ 67.23 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และให้ผลเช่นเดียวกับความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว พบว่าเวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง จะมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเป็น 14.67 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง และเมื่อเพิ่มเวลาการในการสกัดนานขึ้นเป็น 3, 5 และ 8 ชั่วโมง ก็พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้นเช่นกันโดยมีค่าเป็น 15.77, 19.77 และ 20.60 มิลลิกรัม Trolox Equivalent/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบเวลาในการสกัดจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นโดยความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจะสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล หากปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้นความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 4.7 และ 4.8) จากการวิเคราะห์ผลของเวลาในการสกัดต่อปริมาณสารสกัด ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวสด สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกสูงกว่าสารสกัดเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวที่สกัดที่เวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ดังนั้นจึงได้เลือกตัวอย่างสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวสด ที่ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ใช้ในการทดลองต่อไป

## 4.4 ผลของการใช้สารสกัดจากเปลือกถั่วเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด

จากการศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด โดยเติมสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆกันคือ 0.5, 1.5, 3.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่ไม่เติมสารสกัด (ตัวอย่างควบคุม) เก็บรักษาที่สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ค่า TBARS และ คอนจูเกตเต็ดไดอีน (conjugated dienes) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมูบดทุก 5 วัน เป็นเวลา 15 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.11** ค่า TBARS (มิลลิกรัม malondialdehyde/กิโลกรัมตัวอย่าง) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่เติมสารสกัดเปลือกถั่วเหลืองที่ระดับต่างๆ

| ความเข้มข้น | ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) | | | |
|---|---|---|---|---|
| (%) | 0 | 5 | 10 | 15 |
| 0 | $1.945\pm0.017^{b,D}$ | $2.857\pm0.070^{a,C}$ | $3.306\pm0.013^{b,B}$ | $4.487\pm0.022^{a,A}$ |
| 0.5 | $2.014\pm0.027^{aD}$ | $2.384\pm0.034^{c,B}$ | $2.038\pm0.031^{c,C}$ | $3.750\pm0.447^{b,A}$ |
| 1.5 | $1.616\pm0.013^{c,D}$ | $2.290\pm0.015^{d,C}$ | $3.425\pm0.018^{a,B}$ | $3.438\pm0.040^{d,A}$ |
| 3.0 | $1.417\pm0.023^{d,D}$ | $2.447\pm0.040^{b,B}$ | $1.945\pm0.013^{d,C}$ | $3.468\pm0.047^{c,A}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

$^{ABC}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

**ตารางที่ 4.12** ค่า Conjugated dienes (µmole/กรัมตัวอย่าง) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่เติมสารสกัดเปลือกถั่วเหลืองที่ระดับต่างๆ

| ความเข้มข้น | ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) | | | |
|---|---|---|---|---|
| (%) | 0 | 5 | 10 | 15 |
| 0 | $1.885\pm0.016^{a,A}$ | $1.841 \pm 0.007^{a,D}$ | $1.843 \pm0.006^{a,B}$ | $1.824 \pm0.002^{a,C}$ |
| 0.5 | $1.815 \pm0.004^{c,A}$ | $1.815 \pm0.005^{b,B}$ | $1.600 \pm0.003^{c,C}$ | $1.600 \pm0.003^{b,D}$ |
| 1.5 | $1.802 \pm0.003^{d,A}$ | $1.769 \pm0.007^{d,B}$ | $1.695 \pm0.012^{b,C}$ | $1.583 \pm0.004^{c,D}$ |
| 3.0 | $1.874 \pm0.008^{b,A}$ | $1.785 \pm0.001^{c,B}$ | $1.600 \pm0.008^{c,B}$ | $1.555 \pm0.002^{d,D}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

$^{ABC}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของระดับความเข้มข้นของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBARS และ คอนจูเกตเต็ดไดอีน (conjugated dienes) หลังจากเก็บเป็นเวลา 15 วัน ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่เติมสารสกัดเปลือกถั่วเหลืองที่ระดับ 0.5-3.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด ผลิตภัณฑ์มีค่า TBARS เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาแต่เพิ่มขึ้นช้ากว่าตัวอย่างควบคุม และการฟอร์มตัวของ คอนจูเกตเต็ดไดอีน (conjugated dienes) ลดลงระหว่างการเก็บและลดลงกว่าตัวอย่างควบคุม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดเปลือกถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพ

ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Bastida และคณะ (2009) กล่าวว่าสารสกัดจาก carob fruit มีสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ธรรมชาติซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดลิพิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อหมูปรุงสุกที่เก็บระหว่างการแช่เย็นและแช่แข็งได้

กรณีของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว พบว่าให้ผลในทิศทางเดียวกับผลของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.14 ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่เติมสารสกัดเปลือกถั่วเขียวที่ระดับ 0.5-3.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด การเพิ่มขึ้นของค่า TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าตัวอย่างควบคุม และการฟอร์มตัวของ คอนจูเกตเต็ดไดอีน (conjugated dienes) ลดลงระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าสารสกัดเปลือกถั่วเขียวมีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่เติมสารสกัดเปลือกถั่วเขียวที่ระดับ 3.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด จะสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยมีค่า TBARS หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน เท่ากับ 2.974 มิลลิกรัม malondialdehyde/กิโลกรัมตัวอย่าง และการฟอร์มตัวของ คอนจูเกตเต็ดไดอีน (conjugated dienes) หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน เท่ากับ 1.474 ไมโครโมล/กรัมตัวอย่าง

**ตารางที่ 4.13** ค่า TBARS (มิลลิกรัมmalondialdehyde/กิโลกรัมตัวอย่าง) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่เติมสารสกัดเปลือกถั่วเขียวที่ระดับต่างๆ

| ความเข้มข้น | ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) | | | |
|---|---|---|---|---|
| (%) | 0 | 5 | 10 | 15 |
| 0 | $1.945\pm0.017^{a,D}$ | $2.857\pm0.070^{a,C}$ | $3.306\pm0.013^{b,B}$ | $4.487\pm0.022^{a,A}$ |
| 0.5 | $1.653\pm0.032^{c,D}$ | $2.556\pm0.011^{b,C}$ | $3.611\pm0.021^{a,B}$ | $3.773\pm0.032^{b,A}$ |
| 1.5 | $1.740\pm0.025^{b,D}$ | $1.829\pm0.017^{c,C}$ | $2.471\pm0032^{c,B}$ | $3.281\pm0.105^{c,A}$ |
| 3.0 | $1.065\pm0.021^{d,D}$ | $1.667\pm0.029^{d,C}$ | $1.750\pm0.017^{d,B}$ | $2.974\pm0.036^{d,A}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

$^{ABC}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

**ตารางที่ 4.14** ค่า Conjugated dienes (μmole/กรัมตัวอย่าง) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่เติมสารสกัดเปลือกถั่วเขียวที่ระดับต่างๆ

| ความเข้มข้น | ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) | | | |
|---|---|---|---|---|
| (%) | 0 | 5 | 10 | 15 |
| 0 | $1.885\pm0.016^{a,A}$ | $1.841 \pm 0.007^{c,C}$ | $1.843 \pm0.006^{a,B}$ | $1.824 \pm0.002^{a,D}$ |
| 0.5 | $1.881 \pm0.003^{b,A}$ | $1.864 \pm0.003^{a,B}$ | $1.596 \pm0.001^{b,C}$ | $1.587 \pm0.001^{b,D}$ |
| 1.5 | $1.871 \pm0.001^{d,A}$ | $1.843 \pm0.002^{b,B}$ | $1.530 \pm0.002^{c,C}$ | $1.511 \pm0.005^{c,D}$ |
| 3.0 | $1.880 \pm0.002^{c,A}$ | $1.826 \pm0.013^{d,B}$ | $1.527 \pm0.01^{d,C}$ | $1.474 \pm0.006^{d,D}$ |

$^{abc}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

$^{ABC}$ ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองการวิเคราะห์ค่า TBARS และค่าคอนจูเกตเต็ดไดอีน (conjugated dienes) ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดที่เติมสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดีกว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (ตารางที่ 4.7 - 4.10) พบว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียวแสดงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองในค่าที่สูงกว่ามาก อาจเป็นไปได้ว่าการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบในหลอดทดลองสารสกัดจากเปลือกถั่วทั้งสองชนิดสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้โดยไม่มีสารประกอบอื่นขัดขวาง เช่น โปรตีน ไขมัน เป็นต้น และสภาวะในการวิเคราะห์อาจเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาของสารสกัดจึงให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับการนำสารสกัดเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวเติมเพื่อเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด

สารประกอบโพลีฟีนอลสามารถแบ่งได้เป็นหลายกลุ่ม ในการทดลองข้างต้นเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ซึ่งไม่ได้บ่งชี้ว่าเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลในกลุ่มใด สารประกอบโพลีฟีนอลแต่ละกลุ่มจะแสดงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้แตกต่างกันเนื่องจากโครงสร้างต่างกัน (Balasundram *et al.,* 2006) จากการทดลองแบบในหลอดทดลองแม้สารประกอบโพลีฟีนอลของสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว จะแสดงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลือง แต่ก็ไม่ได้หมายรวมถึงว่าเมื่อนำสารสกัดจากเปลือกถั่วเขียว เติมในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดแล้วสารประกอบโพลีฟีนอลจะต้องแสดงความสามารถในการต้าน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีเหมือนการทดลองแบบในหลอดทดลอง ซึ่งอาจเนื่องจากสภาวะการทดลองที่เปลี่ยนไปและอาจมีองค์ประกอบของสารอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องจึงส่งผลต่อการแสดงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว และอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อนำสารสกัดจากเปลือกถั่วทั้งสองชนิดเติมในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด ซึ่งในระหว่างกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด ความร้อนจากกระบวนการแปรรูปอาจทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารสกัดจากเปลือกถั่วถูกทำลายจึงส่งผลต่อการแสดงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่นเดียวกับการรายงานของ Xu และคณะ (2007) กล่าวว่า การให้ความร้อนในกระบวนการแปรรูป ความร้อนสามารถทำลายพันธะเอสเทอร์ (ester) และไกลโคไซด์ (glycoside) ที่เชื่อมต่อระหว่างกรดฟีนอกลิกกับสารอื่นๆได้ ดังนั้นกระบวนการแปรรูปอาจมีผลต่อความไม่เสถียรของสารประกอบโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียว