บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากใบพลู

ผลการทดลองทำการสกัดสารสกัดจากใบพลูผงด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ การแช่ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) การเขย่า เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง และ 4.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) การสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ เป็นเวลา 10 นาที และ 30 นาที และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ จำนวน 2 ครั้งๆ ละ 15 วินาที และ 1 ครั้ง เป็นเวลา 30 วินาที ดังแสดงใน ตาราง 4.1 ซึ่งพบว่า วิธีการสกัดมีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งแสดงในรูปร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) การสกัดด้วยวิธีการเขย่า เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทินมากที่สุด ซึ่งไม่ต่างจากการสกัดด้วยวิธีการเขย่า เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) การสกัดด้วยวิธีการแช่ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก ไม่ต่างจากการสกัดด้วยวิธีการเขย่า เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง และ 4.5 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) การสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ เป็นเวลา 10 นาที ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทินน้อยที่สุด ซึ่งไม่ต่างจากการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ เป็นเวลา 30 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่สำหรับปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก การสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ เป็นเวลา 30 นาที มีค่าน้อยที่สุด ส่วนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบว่าให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทิน ไม่ต่างจากการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีแนวโน้มที่ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทิน มากกว่าการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันในแต่ละวิธีการสกัด

วิธีการสกัด	ผลผลิตที่ได้ (%)	สารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dw)	สารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g dw)	การยับยั้งอนุมูลอิสระ (%)
แช่ 72 ชั่วโมง	10.48±0.34c*	90.55±5.88b	2.63±0.14c	92.11±0.13
เขย่า 2.5 ชั่วโมง	13.17±0.30d	87.80±1.29b	4.47±0.12d	91.78±0.30
เขย่า 4.5 ชั่วโมง	14.28±0.31d	90.16±4.64b	4.67±0.19d	91.96±0.74
คลื่นอัลตร้าซาวด์ ความถี่ต่ำ 10 นาที	5.35±0.52a	62.63±5.69ab	1.06±0.24a	90.79±0.02
คลื่นอัลตร้าซาวด์ ความถี่ต่ำ 30 นาที	6.37±0.55ab	55.02±9.22a	1.26±0.19ab	90.67±1.43
คลื่นไมโครเวฟ 2 ครั้งๆ ละ 15 วินาที	8.06±1.95bc	62.39±12.96ab	1.28±0.32ab	90.73±0.84
คลื่นไมโครเวฟ 30 วินาที	8.60±1.10bc	75.47±19.59ab	1.96±0.48bc	91.63±0.09

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การเขย่า ถือเป็นวิธีการสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งให้สารสกัดที่มีปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทินมากที่สุด แม้ว่าการสกัดด้วยวิธีการแช่ จะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก ไม่ต่างจากการสกัดด้วยวิธีการเขย่า แต่การสกัดด้วยวิธีการเขย่า จะใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่า คือใช้เวลาในการสกัดเพียง 4.5 ชั่วโมง ส่วนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สกัดด้วยวิธีการแช่ ใช้เวลาในการสกัด 72 ชั่วโมง เนื่องจากการเขย่าช่วยให้อนุภาคของใบพลูผงสัมผัสกับตัวทำละลายได้มากขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า การสกัดด้วยวิธีการเขย่า เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทิน ไม่ต่างจากการสกัดด้วยวิธีการเขย่า เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง อาจเป็นเพราะอัตราส่วนระหว่างใบพลูผงต่อสารละลายเอทานอลที่ใช้ในการสกัด ซึ่งจำนวนสารละลายเอทานอลที่ใช้ในการสกัดสกัดสามารถสกัดสารสำคัญต่างๆ ได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ไม่ว่าจะทำการสกัดด้วยวิธีการเขย่าเป็นเวลามากขึ้น สารสำคัญต่างๆ ก็ไม่ถูกสกัดออกมาเพิ่มขึ้น ผลที่ได้ตรงกันข้ามกับงานวิจัยของ Pitchaon (2008) ที่ได้ศึกษาระยะเวลา ได้แก่ 0.5 1 3 4.5 6 24 และ 48 ชั่วโมง ในการสกัดสารต้านออกซิเดชันประเภทสารประกอบฟีนอลิกจากใบพลู ซึ่งพบว่า สารสกัดที่เวลาการสกัดอยู่ในช่วง 4.5 ถึง 6 ชั่วโมง มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดที่เวลาอื่น

ส่วนการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำและการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะให้สารสกัดที่มีปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และปริมาณสารประกอลฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทินน้อยกว่าการสกัดด้วยวิธีการแช่ และการสกัดด้วยวิธีการเขย่า เนื่องจากการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีความร้อนเกิดขึ้นในระหว่างการสกัด ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นอาจไปทำลายสารสำคัญต่างๆ ได้ เมื่อพิจารณาระหว่างการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบว่า การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ให้สารสกัดที่มีปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในรูปควอเซอทิน มากกว่าการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ แม้ว่าการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟจะเกิดความร้อนขึ้นในระหว่างการสกัดมากกว่าการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ แต่เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟน้อยกว่าการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ สารสกัดจึงได้รับความร้อนในระยะเวลาที่สั้นกว่าการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ แต่ทั้งนี้มีงานวิจัยพบว่า การใช้คลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำและการใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยในการสกัด สามารถช่วยลดระยะเวลาในการสกัด และได้ปริมาณสารที่ต้องการมากขึ้น ดังเช่นงานวิจัยของ Boryana *et al.* (2007) ที่ได้ศึกษาผลของวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ การแช่ การสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำ และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ต่อสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพในพรอพโพลิส ผลที่ได้พบว่า การสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าซาวด์ความถี่ต่ำให้สารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ส่วนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟให้สารสกัดที่มีปริมาณผลผลิตที่ได้มากที่สุดแต่ไม่ใช่สารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดจากใบพลู

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และความสามารถในการต้านออกซิเดชันซึ่งแสดงในรูปร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารสกัดที่สกัดจากใบพลูผง โดยใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 70 และ 100 ในการสกัด ดังแสดงใน ตาราง 4.2 ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารละลายเอทานอลที่ใช้ในการสกัด ให้สารสกัดที่มีปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก และความสามารถในการต้านออกซิเดชันซึ่งแสดงในรูปร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยสารสกัดของใบพลูผงที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 มีปริมาณผลผลิตที่ได้มากที่สุด (ร้อยละ 15.33±0.18) ส่วนสารสกัดของใบพลูผงที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (80.45±0.26 mg GAE/g dw) และความสามารถในการต้านออกซิเดชันซึ่งแสดงในรูปร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ร้อยละ 91.59±0.34) มากที่สุด ซึ่งไม่ต่างจากสารสกัดของใบพลูผงที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของสุทัศน์ และคณะ (2550) ที่พบว่าสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 สามารถสกัดสารต้านออกซิเดชันจากเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้ในปริมาณมากที่สุด แต่ตรงกันข้ามกับผลงานวิจัยของทรงศิริ และคณะ (2551) ซึ่งพบว่า สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 มีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารประกอบแอนโธไซยานินทั้งหมดจากเปลือกและเมล็ดองุ่นสูงที่สุด อีกทั้งสารสกัดที่ได้ยังมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันมากที่สุด

จากผลที่กล่าวมาในข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การที่สารละลายเอทานอลความเข้มข้นแตกต่างกัน มีประสิทธิภาพในการสกัดสารสำคัญต่าง ๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอย์ และสารประกอบแอนโธไซยานิน เป็นต้น แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความมีขั้วหรือความสามารถของการละลายในตัวทำละลายนั้นๆ ของสารสำคัญต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสารสำคัญที่ต้องการ ส่วนใหญ่เป็นสารที่มีความมีขั้วต่ำ ตัวทำละลายที่จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการสกัดสารสำคัญเหล่านั้น ควรจะเป็นตัวทำละลายที่มีความมีขั้วเหมือนกับสารสำคัญที่ต้องการ สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อสภาพขั้วเหมือนกันการละลายจะเกิดได้ดี ทำให้สารสำคัญที่ต้องการถูกสกัดออกมาได้มาก ดังงานวิจัยของ Pitchaon (2008) ที่มีการศึกษาความมีขั้วของสารสกัดจากใบพลูด้วยวิธีการวัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัมประสิทธิ์การแบ่งระหว่างน้ำมัน-น้ำ ด้วยโครมาโตกราฟีเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ซึ่งผลที่ได้พบว่า สารประกอบฟีนอลิกในใบพลูมีความมีขั้วต่ำ ดังนั้นสารละลายเอธิลอะซีเตท จึงเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากใบพลู เนื่องจากสารละลายเอธิลอะซีเตทเป็นตัวทำละลายที่มีความมีขั้วต่ำ แต่บางครั้งสารสำคัญที่ต้องการอาจมีทั้งสารที่มีความมีขั้วมาก และสารที่มีความมีขั้วน้อย ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญต่างๆ เหล่านั้นออกมาจึงอาจมีหลายชนิดผสมกัน ดังเช่นผลที่ได้ ที่พบว่าสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 มีประสิทธิภาพในการสกัดมากกว่าสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยสามารถสกัดสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันได้มากกว่า ทำให้สารสกัดที่ได้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่า สาเหตุอาจมาจากสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 มีน้ำซึ่งเป็นสารที่มีความมีขั้วมากผสมอยู่ร้อยละ 30 จึงทำให้สารที่ออกฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันที่มีความมีขั้วมากถูกสกัดออกมาด้วย นอกเหนือจากสารประกอบฟีนอลิกที่มีความมีขั้วต่ำ ส่งผลให้สารสกัดมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าเมื่อใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 ที่สามารถสกัดได้เพียงสารประกอบฟีนอลิกที่มีความมีขั้วน้อย (ตาราง 4.2)

ตาราง 4.2 ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบพลูผง ที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ผลผลิตที่ได้ (%)	สารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dw)	การยับยั้งอนุมูลอิสระ (%)
1 (สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50)	4.49±0.21a*	71.78±1.41a	86.33±3.61a
2 (สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70)	13.72±0.46b	80.45±0.26b	91.59±0.34b
3 (สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100)	15.33±0.18c	78.98±0.26b	91.47±0.19b

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยวิธี Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS) ของสารสกัดจากใบพลูผงที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยวิธีการเขย่า เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ดังแสดงใน ตาราง 4.3

ตาราง 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากใบพลูผง

Retention time (min)	**ชื่อสาร**	**Area percent**
6.817	Chavicol	0.875
7.966	Alpha cubebene	0.178
8.053	Eugenol	0.208
8.280	Isoeugenol	19.653
8.395	Alpha copaene	0.887
8.541	Germacrene	0.186
9.096	Caryophyllene	1.142
9.235	Beta cubebene	0.228
9.401	Aromadendrene	0.199
9.695	Alpha caryophyllene	0.288
9.971	Alpha amorphene	1.653
10.158	Mesitylenic acid	55.973
10.620	3-Methyl-1,2-Thiazolo(4,5-B)pyridine	7.215
10.734	Acetyleugenol	5.635
12.971	4-Allyl-1,2-diacetoxybenzene	2.476
16.023	Neophytadiene	0.307
19.133	Phytol	1.974
20.095	Neophytadiene	0.925

จากตาราง 4.3 พบว่า สารสกัดจากใบพลูมี Mesitylenic acid และ Isoeugenol เป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากตรวจพบในปริมาณมาก โดยตรวจพบ Mesitylenic acid ในปริมาณมากที่สุด แต่สารชนิดนี้ไม่ใช่สารที่ออกฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน เนื่องจากสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันที่มีอยู่ในพืชสมุนไพรส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิก (ศิวาพร, 2546) ซึ่งโครงสร้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นไฮดรอกซีอย่างน้อยหนึ่งหมู่ โดยสารประกอบฟีนอลิก สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ monocyclic phenol ประกอบด้วย วงแหวนฟีนอล 1 วง dicyclic phenol ประกอบด้วย วงแหวนฟีนอล 2 วง และสุดท้ายคือ polycyclic phenol หรือ polyphenolic ซึ่งถือเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญมากในการต้านอนุมูลอิสระ โดยตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันที่อยู่ในกลุ่ม polyphenolic ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) (โอภา และคณะ, 2550) ดังนั้นสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันที่มีอยู่ในสารสกัดจากใบพลู ประกอบด้วย Chavicol, Eugenol, Isoeugenol, Acetyleugenol และ 4-Allyl-1,2-diacetoxybenzene

4.3 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของสารสกัดจากใบพลู

ผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงตัวของสารสกัดจากใบพลู โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิตู้แช่เย็น (4 ± 1 องศาเซลเซียส) และแสงสว่าง ได้แก่ การเก็บสารสกัดใน vial ที่มีอลูมิเนียมฟอยล์หุ้ม และการเก็บสารสกัดใน vial ที่ไม่มีอลูมิเนียมฟอยล์หุ้ม ดังแสดงใน ตาราง 4.4 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิและแสงสว่าง ไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบพลู ในช่วงการเก็บ 0 7 และ 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในช่วงการเก็บ 21 และ 28 วัน อุณหภูมิ มีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบพลูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ส่วนแสงสว่าง ไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบพลูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัด ในช่วงการเก็บ 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยแสดงในรูป ค่า P

ปัจจัย	ช่วงการเก็บ (วัน)				
	0	**7**	**14**	**21**	**28**
อุณหภูมิ	0.741	0.107	0.086	0.006	0.006
แสงสว่าง	0.500	0.660	0.594	0.858	0.402
อุณหภูมิ x แสงสว่าง	0.928	0.735	0.280	0.613	0.324

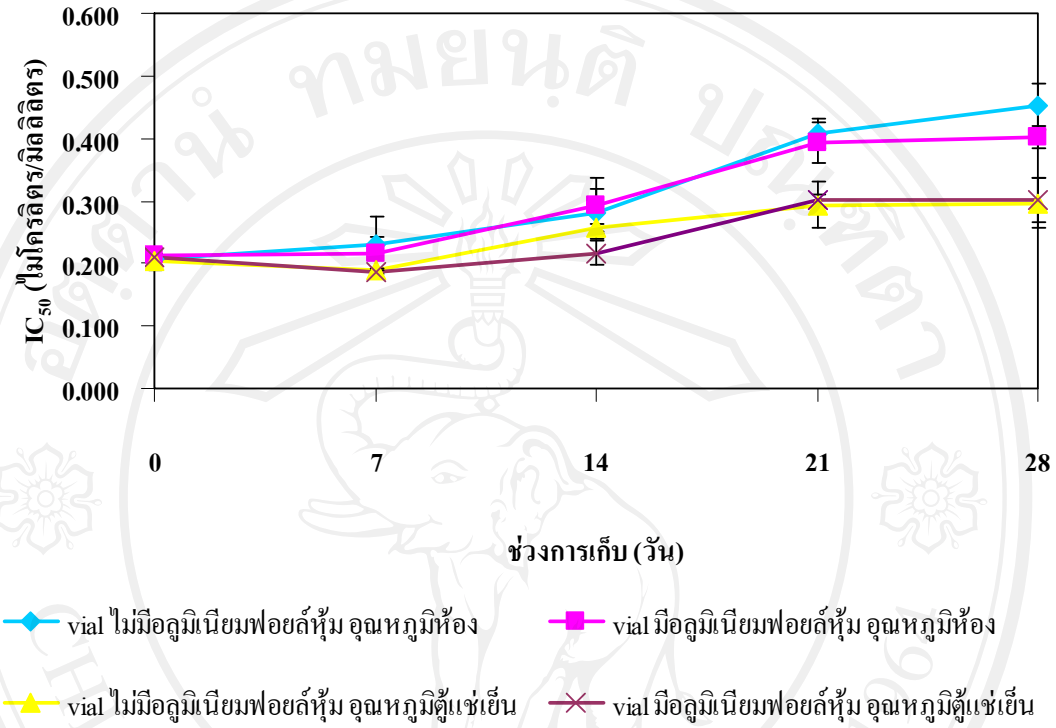
P≤0.05 ปัจจัยมีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัด

จากรูป 4.1 พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ความสามารถในการต้านออกซิเดชันซึ่งแสดงในรูป IC_{50} ของสารสกัดในทุกสภาวะการเก็บลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) คือ มีค่า IC_{50} มากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงการเก็บ พบว่า การเก็บสารสกัดในสภาวะที่แตกต่างกัน ในช่วงการเก็บ 0 7 และ 14 วัน ความสามารถในการต้านออกซิเดชันซึ่งแสดงในรูป IC_{50} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ในช่วงการเก็บ 21 และ 28 วัน ความสามารถในการต้านออกซิเดชันซึ่งแสดงในรูป IC_{50} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยการเก็บสารสกัดใน vial ที่ไม่มีอลูมิเนียมฟอยล์หุ้ม ที่อุณหภูมิตู้แช่เย็น และการเก็บสารสกัดใน vial ที่มีอลูมิเนียมฟอยล์หุ้ม ที่อุณหภูมิตู้แช่เย็น ความสามารถในการต้านออกซิเดชันซึ่งแสดงในรูป IC_{50} มากกว่าการเก็บสารสกัดใน vial ที่ไม่มีอลูมิเนียมฟอยล์หุ้ม ที่อุณหภูมิห้อง และการเก็บสารสกัดใน vial ที่มีอลูมิเนียมฟอยล์หุ้ม ที่อุณหภูมิห้อง ทั้งในช่วงการเก็บ 21 และ 28 วัน

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ควรทำการเก็บสารสกัดจากใบพลูที่อุณหภูมิตู้แช่เย็น (4 ± 1 องศาเซลเซียส) เพื่อช่วยในการรักษาความคงตัวของสารสกัด เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัด โดยการเก็บสารสกัดที่อุณหภูมิต่ำ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันจะมากกว่าการเก็บสารสกัดที่อุณหภูมิสูง เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และการเก็บจะทำการเก็บสารสกัดใน vial ที่มีอลูมิเนียมฟอยล์หุ้ม หรือไม่มีอลูมิเนียมฟอยล์หุ้มก็ได้ เนื่องจากแสงไม่มีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัด ดังเช่นงานวิจัยของ Lakshmi *et al.* (2006) ที่พบว่า สารสกัดจากใบพลูด้วยสารละลายเอทานอลเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(29±1 องศาเซลเซียส) มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันมากกว่า เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที โดยมีค่า IC_{50} น้อยกว่าถึง 4 เท่า



รูป 4.1 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันแสดงในรูป IC_{50} ของสารสกัดที่สภาวะการเก็บต่างๆ ในช่วงการเก็บ 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน

4.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพลูต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันพืช

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก ปริมาณ conjugate dienes ปริมาณ conjugate trienes และปริมาณเฮกซานาล และคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ระบบ L* a* b* และความหนืด ของน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน (อุณหภูมิน้ำมันพืช 25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160 ± 0.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงใน ตาราง 4.5 - 4.13 เมื่อพิจารณาน้ำมันพืชแต่ละชนิด พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน (อุณหภูมิน้ำมันพืช 25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 ± 0.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที มีค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.5) ปริมาณ conjugate dienes (ตาราง 4.7) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.9) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยหลังนำไปให้ความร้อนมีค่ามากขึ้น ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.6) พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm เท่านั้นที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยหลังนำไปให้ความร้อนมีค่ามากขึ้น แต่สำหรับปริมาณ conjugate trienes (ตาราง 4.8) พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อาจเป็นเพราะน้ำมันพืชได้รับความร้อนไม่มากพอที่จะทำให้เกิด conjugate trienes ดังนั้น conjugate trienes จึงเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับก่อนนำน้ำมันพืชไปให้ความร้อน อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันและไขมัน โดยอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิจะเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนของการเกิดอนุมูลอิสระ ส่งผลให้มีอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น (Hamilton, 1994) และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ ยิ่งถ้ามีอนุมูลอิสระมาก การเกิดอนุมูลเปอร์ออกไซด์ก็จะยิ่งมาก (Hamilton, 1994; Jadhav *et al.*, 1996) ดังนั้นจึงส่งผลให้น้ำมันพืชหลังถูกนำไปให้ความร้อนมีค่าเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นอินเทอร์มิเดียตของปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน และปริมาณเฮกซานาลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันเพิ่มขึ้น และการเพิ่มอุณหภูมิยังเร่งการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น (พรทวี, 2548) นอกจากนั้นการเพิ่มอุณหภูมิสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันและไขมัน หรือเร่งการย่อยสลายของน้ำมันและไขมัน ทำให้เกิดกลีเซอรอล โมโนและไดกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระมากขึ้น ส่งผลให้น้ำมันพืชหลังถูกนำไปให้ความร้อนมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากขึ้น การเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน ซึ่งทำให้เกิด conjugate dienes ก็เป็นผลมาจากการเพิ่มอุณหภูมิเช่นเดียวกัน (นิธิยา, 2548) การที่น้ำมันพืชมีค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณ conjugate dienes และปริมาณเฮกซานาลมากขึ้น นั่นแสดงว่าน้ำมันพืชเริ่มเสื่อมคุณภาพลง เนื่องจากค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพของน้ำมันและไขมัน

เมื่อพิจารณาก่อนนำน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปให้ความร้อน (อุณหภูมิน้ำมันพืช 25 องศาเซลเซียส) พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.5) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.6) ปริมาณ conjugate dienes

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ตาราง 4.7) ปริมาณ conjugate trienes (ตาราง 4.8) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.9) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ส่วนหลังนำน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 ± 0.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พบว่าน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.5) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.6) ปริมาณ conjugate dienes (ตาราง 4.7) ปริมาณ conjugate trienes (ตาราง 4.8) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.9) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 2,000 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (2.32±0.22 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.10±0.02) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.198±0.001) ปริมาณ conjugate trienes (ร้อยละ 0.00317±0.00007) และปริมาณเฮกซานาล (0.450±0.006 µg/ml) น้อยที่สุด โดยค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก และปริมาณเฮกซานาล ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm สำหรับปริมาณ conjugate dienes และ ปริมาณ conjugate trienes ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm เท่านั้น ส่วนน้ำมันพืชชุดควบคุม มีค่าเปอร์ออกไซด์ (6.84±0.32 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.18±0.01) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.220±0.001) ปริมาณ conjugate trienes (ร้อยละ 0.00652±0.00073) และปริมาณเฮกซานาล (0.663±0.006 µg/ml) มากที่สุด โดยปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก และ ปริมาณ conjugate trienes ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากใบพลู ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชได้ เนื่องจากสารสกัดจากใบพลูมีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งความสามารถในการต้านออกซิเดชันนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และมีกลไกในการต้านออกซิเดชันเหมือนกับสารกันหืนสังเคราะห์ ที่มีสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ (Lai *et al*., 1991) โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระและโลหะไอออนที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ เกิดสารที่คงตัวไม่ทำปฏิกิริยาต่อไป และเมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างเสถียร ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อไป และยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย (วิวัฒน์, 2545) ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่หยุดชะงักลง (ศิวาพร, 2546) นอกจากนั้นสารประกอบฟีนอลิกยังทำหน้าที่รวมตัวกับอนุมูลเปอร์ออกไซด์ เกิดเป็นสารเชิงซ้อน แล้วสารเชิงซ้อนนี้อาจทำปฏิกิริยากับอนุมูลเปอร์ออกไซด์อื่นๆ ได้อีก และเกิดเป็นสารประกอบสุดท้ายที่ไม่เปลี่ยนแปลงต่อไป (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549) ซึ่งส่งผลให้น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลู มีค่าเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นอินเทอร์มิเดียตของปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน และเฮกซานาล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันน้อยกว่าน้ำมันพืชชุดควบคุม ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณ conjugate dienes และปริมาณ conjugate trienes ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูก็พบว่ามีค่าน้อยกว่าน้ำมันพืชชุดควบคุมเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น และยังทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ในโมเลกุล เกิดเป็นสารที่เสถียรขึ้น ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณ conjugate dienes และปริมาณ conjugate trienes ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูน้อยกว่าน้ำมันพืชชุดควบคุม ดังเช่นงานวิจัยของ Lakshmi *et al.* (2006) ที่ทำการศึกษาศักยภาพการเป็นสารกันหืนธรรมชาติของสารสกัดจากใบพลู ซึ่งพบว่า สารสกัดจากใบพลูช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์มได้เป็นอย่างดี โดยน้ำมันพืชทั้งสองชนิดมีค่าเปอร์ออกไซด์ น้อยกว่าน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่ BHT ในช่วงการเก็บ 2 อาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพลูมากขึ้น ความสามารถในการช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชก็จะดีขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพลูมากขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และโลหะไอออนที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ก็จะมีเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Iqbal and Bhanger (2007) ซึ่งพบว่า สารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยช่วยให้น้ำมันดอกทานตะวันมีความคงตัวมากที่สุด รองลงมาคือ BHT BHA สารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มข้น 500 ppm และสารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มข้น 250 ppm ตามลำดับ ดังนั้น จากผลการทดลองที่กล่าวมาในข้างต้น ความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพลูที่ 500 และ 1,000 ppm จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาตอนต่อไป เนื่องจากความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ไม่มากเกินไป และมีประสิทธิภาพในการช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืช ได้ใกล้เคียงกับสารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 2,000 ppm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEq Peroxide/kg fat)	
	25 องศาเซลเซียส	160 องศาเซลเซียส
ชุดควบคุม	0.79±0.14A*	6.84±0.32B c
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	0.74±0.21A	4.18±1.22B b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.74±0.07A	3.50±0.62B ab
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.76±0.11A	2.67±0.16B ab
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	0.72±0.04A	2.32±0.22B a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-B) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน (a-c) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตาราง 4.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (%)	
	25 องศาเซลเซียส	160 องศาเซลเซียส
ชุดควบคุม	0.10±0.01A*	0.18±0.01B c
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	0.10±0.01A	0.17±0.01B bc
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.10±0.01	0.14±0.01 ab
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.08±0.01	0.13±0.01 a
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	0.08±0.01	0.10±0.02 a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-B) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-c) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.7 ปริมาณ conjugate dienes ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	**ปริมาณ conjugate dienes (%)**	
	25 องศาเซลเซียส	**160 องศาเซลเซียส**
ชุดควบคุม	0.160±0.001A*	0.220±0.001B d
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	0.158±0.001A	0.216±0.001B c
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.158±0.001A	0.208±0.001B b
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.159±0.001A	0.198±0.001B a
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	0.158±0.001A	0.198±0.001B a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-B) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-d) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตาราง 4.8 ปริมาณ conjugate trienes ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	**ปริมาณ conjugate trienes (%)**	
	25 องศาเซลเซียส	**160 องศาเซลเซียส**
ชุดควบคุม	0.00447±0.00141	0.00652±0.00073 c*
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	0.00335±0.00030	0.00516±0.00099 bc
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.00374±0.00018	0.00486±0.00070 bc
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.00293±0.00004	0.00360±0.00006 ab
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	0.00276±0.00030	0.00317±0.00007 a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-c) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.9 ปริมาณเฮกซานาลของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	ปริมาณเฮกซานาล (µg/ml)	
	25 องศาเซลเซียส	160 องศาเซลเซียส
ชุดควบคุม	0.042±0.001A*	0.663±0.006B c
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	0.042±0.001A	0.562±0.015B b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.044±0.001A	0.486±0.042B a
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.043±0.001A	0.448±0.004B a
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	0.044±0.002A	0.450±0.006B a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-B) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-c) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

สำหรับค่าสี L* (ตาราง 4.10) ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่มีแนวโน้มค่าสี L* ลดลงหลังนำไปให้ความร้อน เช่นเดียวกับความหนืด (ตาราง 4.13) ที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่มีแนวโน้มความหนืดเพิ่มขึ้นหลังนำไปให้ความร้อน ส่วนค่าสี a* (ตาราง 4.11) พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เฉพาะน้ำมันพืชชุดควบคุม โดยมีค่าสี a* น้อยลงหลังนำไปให้ความร้อน และสำหรับค่าสี b* (ตาราง 4.12) พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เฉพาะน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm โดยมีค่าสี b* มากขึ้นหลังนำไปให้ความร้อน การที่สี และความหนืดของน้ำมันพืชไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหลังนำไปให้ความร้อน อาจเป็นเพราะน้ำมันพืชเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงเล็กน้อย ซึ่งในความเป็นจริงถ้าน้ำมันพืชได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานานๆ สีของน้ำมันพืชจะมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีสีที่คล้ำขึ้น เช่นเดียวกับความหนืด คือน้ำมันพืชจะมีความหนืดมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานานๆ เนื่องจากน้ำมันพืชเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้เป็นพอลิเมอร์ซึ่งจะทำให้น้ำมันพืชมีความหนืดมากขึ้น โดยสารพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและความร้อน (นิธิยา, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาก่อนนำน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปให้ความร้อน (อุณหภูมิน้ำมันพืช 25 องศาเซลเซียส) พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm มีค่าสี L* a* b* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่สำหรับความหนืดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm หลังนำไปให้ความร้อน โดยน้ำมันพืชชุดควบคุมมีความสว่างมากที่สุด คือมีค่าสี L* มากที่สุด ซึ่งค่าที่ได้ไม่ต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm ส่วนน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm มีความสว่างลดลงตามลำดับ คือมีค่าสี L* น้อยลงตามลำดับ สำหรับค่าสี a* พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุมมีสีเขียวน้อยที่สุด คือมีค่าสี a* มากที่สุด ส่วนน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm มีสีเขียวเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือมีค่าสี a* น้อยลงตามลำดับ และค่าสี b* พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุมมีสีเหลืองน้อยที่สุด คือมีค่าสี b* น้อยที่สุด ส่วนน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm มีสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือมีค่าสี b* มากขึ้นตามลำดับ

การที่ค่าสี L* a* b* ของน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน มีค่าแตกต่างกัน มีสาเหตุมาจากสีของสารสกัดจากใบพลูที่ใส่ลงไป ซึ่งมีสีออกเขียวปนเหลือง โดยถ้ายิ่งใส่ที่ความเข้มข้นมากขึ้น ความสว่างของน้ำมันพืชก็จะยิ่งลดลง (ค่าสี L* น้อยลง) น้ำมันพืชยิ่งมีสีเขียวและสีเหลืองมากขึ้น (ค่าสี a* น้อยลง และค่าสี b* มากขึ้น) โดยเป็นสาเหตุเดียวกันกับที่ทำให้ค่าสี L* a* b* ของน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm แตกต่างกันหลังนำไปให้ความร้อน ซึ่งไม่ได้เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชเมื่อได้รับความร้อน การใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 200 ppm 500 ppm 1,000 ppm และ 2,000 ppm ลงในน้ำมันพืช พบว่าไม่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำมันพืช เนื่องจากมีค่าความหนืดไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชชุดควบคุมทั้งก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.10 ค่าสี L* ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	ค่าสี L*	
	25 องศาเซลเซียส	**160 องศาเซลเซียส**
ชุดควบคุม	29.84±0.17 c*	29.64±0.04 b
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	29.76±0.09 c	29.58±0.04 b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	29.58±0.06B bc	29.29±0.06A ab
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	29.43±0.08 ab	29.10±0.15 ab
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	29.18±0.06 a	28.78±0.44 a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-B) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-c) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตาราง 4.11 ค่าสี a* ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	ค่าสี a*	
	25 องศาเซลเซียส	**160 องศาเซลเซียส**
ชุดควบคุม	-1.23±0.01B e*	-1.36±0.02A d
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	-1.47±0.06 d	-1.54±0.05 cd
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	-1.82±0.02 c	-1.80±0.06 bc
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	-2.18±0.06 b	-2.09±0.10 ab
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	-2.56±0.02 a	-2.36±0.21 a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-B) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-e) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.12 ค่าสี b* ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	ค่าสี b*	
	25 องศาเซลเซียส	**160 องศาเซลเซียส**
ชุดควบคุม	3.80±0.04A a*	4.50±0.01B a
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	4.44±0.05A b	5.24±0.25B ab
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	5.95±0.25 c	6.46±0.47 ab
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	7.48±0.22 d	7.75±0.75 bc
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	9.43±0.24 e	9.35±1.98 c

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-B) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-e) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตาราง 4.13 ความหนืดของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปให้ความร้อน (25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน (160 องศาเซลเซียส)

น้ำมันพืช	ความหนืด (cP)	
	25 องศาเซลเซียส	**160 องศาเซลเซียส**
ชุดควบคุม	58.8±0.4	58.9±0.1
สารสกัดจากใบพลู 200 ppm	58.6±0.4	58.8±0.4
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	58.2±0.4	58.6±0.2
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	58.0±0.4	58.6±0.4
สารสกัดจากใบพลู 2,000 ppm	57.6±0.5	58.2±0.4

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 ศึกษาผลของสารสกัดจากใบพลูต่อความคงตัวของน้ำมันพืชเมื่อได้รับความร้อนซ้ำ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก ปริมาณ conjugate dienes ปริมาณ conjugate trienes และปริมาณเฮกซานาล และคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ระบบ L* a* b* และความหนืด ของน้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน (อุณหภูมิน้ำมันพืช 25 องศาเซลเซียส) และหลังนำไปให้ความร้อน 1 ครั้ง 2 ครั้ง 3 ครั้ง และ 4 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 160±0.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในตาราง 4.14-4.22 เมื่อพิจารณาน้ำมันพืชแต่ละชนิด พบว่า เมื่อจำนวนครั้งที่ให้ความร้อนมากขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.14) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.15) ปริมาณ conjugate dienes (ตาราง 4.16) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.18) ของน้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) สำหรับปริมาณ conjugate trienes (ตาราง 4.17) พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ส่วนน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อจำนวนครั้งที่ให้ความร้อนมากขึ้น การที่น้ำมันพืชได้รับความร้อนเป็นจำนวนครั้งที่มากขึ้น ส่งผลให้น้ำมันพืชเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากขึ้น เนื่องจากได้รับความร้อนมากขึ้นและเป็นเวลานานขึ้น ดังนั้นจึงทำให้น้ำมันพืชที่ได้รับความร้อนเป็นจำนวนครั้งที่มากขึ้น มีค่าเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นอินเทอร์-มิเดียตของปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน และปริมาณเฮกซานาลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาออโต-ออกซิเดชันเพิ่มขึ้นมากขึ้น นอกจากนั้นการที่น้ำมันพืชได้รับความร้อนเป็นจำนวนครั้งที่มากขึ้น ยังส่งผลให้น้ำมันพืชเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันและไขมัน หรือเกิดการย่อยสลายของน้ำมันและไขมันมากขึ้น ทำให้เกิดกลีเซอรอล โมโนและไดกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้น้ำมันพืชที่ได้รับความร้อนเป็นจำนวนครั้งที่มากขึ้น มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับ ปริมาณ conjugate dienes และปริมาณ conjugate trienes ที่มีเพิ่มมากขึ้นเมื่อน้ำมันพืชได้รับความร้อนเป็นจำนวนครั้งที่มากขึ้น เนื่องจากความร้อนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน (นิธิยา, 2548) การที่น้ำมันพืชมีค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณ conjugate dienes ปริมาณ conjugate trienes และปริมาณเฮกซานาลเพิ่มมากขึ้น นั่นแสดงว่าน้ำมันพืชเริ่มเสื่อมคุณภาพลงมากขึ้น เนื่องจากค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพของน้ำมันและไขมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาแต่ละจำนวนครั้งของการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 ± 0.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พบว่า เมื่อยังไม่มีการให้ความร้อน (0 ครั้ง) น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.14) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.15) ปริมาณ conjugate dienes (ตาราง 4.16) ปริมาณ conjugate trienes (ตาราง 4.17) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.18) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อมีการให้ความร้อน 1 ครั้ง พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.14) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.15) ปริมาณ conjugate dienes (ตาราง 4.16) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.18) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) แต่สำหรับ ปริมาณ conjugate trienes มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (3.44±0.00 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.09±0.03) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.172±0.02) และปริมาณเฮกซานาล (0.200 μg/ml) น้อยที่สุด ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ส่วนน้ำมันพืชชุดควบคุม มีค่าเปอร์ออกไซด์ (6.71±0.11 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.20±0.02) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.222±0.001) และปริมาณเฮกซานาล (0.576±0.005) มากที่สุด ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์ ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm และปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลู 500 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm

เมื่อมีการให้ความร้อน 2 ครั้ง พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.14) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.15) ปริมาณ conjugate dienes (ตาราง 4.16) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.18) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) แต่สำหรับ ปริมาณ conjugate trienes มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (9.30±0.05 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.12±0.02) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.226±0.002) และปริมาณเฮกซานาล (0.480±0.006 μg/ml) น้อยที่สุด ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก และปริมาณเฮกซานาล ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ส่วนน้ำมันพืชชุดควบคุม มีค่าเปอร์ออกไซด์ (15.10±0.07 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.28±0.04) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.277±0.003) และปริมาณเฮกซานาล (0.982±0.049 µg/ml) มากที่สุด ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก และปริมาณเฮกซานาล ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm

เมื่อมีการให้ความร้อน 3 ครั้ง พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.14) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.15) ปริมาณ conjugate dienes (ตาราง 4.16) ปริมาณ conjugate trienes (ตาราง 4.17) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.18) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (13.62±0.23 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.22±0.02) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.256±0.001) และ ปริมาณ conjugate trienes (ร้อยละ 0.00539±0.00064) น้อยที่สุด ซึ่ง ปริมาณ conjugate trienes และปริมาณเฮกซานาล ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm สำหรับปริมาณเฮกซานาล พบว่า น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าน้อยที่สุด (0.908±0.009 µg/ml) ซึ่งไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm ส่วนน้ำมันพืชชุดควบคุม มีค่าเปอร์ออกไซด์ (18.66±0.28 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.48±0.03) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.304±0.001) ปริมาณ conjugate trienes (ร้อยละ 0.01320±0.00145) และปริมาณเฮกซานาล (1.360±0.037) มากที่สุด ซึ่ง ปริมาณ conjugate trienes ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm

และเมื่อมีการให้ความร้อน 4 ครั้ง พบว่า น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.14) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.15) ปริมาณ conjugate dienes (ตาราง 4.16) ปริมาณ conjugate trienes (ตาราง 4.17) และปริมาณเฮกซานาล (ตาราง 4.18) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (16.85±0.03 mEq Peroxide/ kg fat) ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.34±0.05) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.281±0.000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณ conjugate trienes (ร้อยละ 0.00555±0.00040) และปริมาณเฮกซานาล (1.096±0.043 µg/ml) น้อยที่สุด ซึ่งปริมาณเฮกซานาล ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ส่วนน้ำมันพืชชุดควบคุม มีปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ร้อยละ 0.66±0.04) ปริมาณ conjugate dienes (ร้อยละ 0.326±0.000) ปริมาณ conjugate trienes (ร้อยละ 0.01760±0.00023) และปริมาณเฮกซานาล (1.620±0.077 µg/ml) มากที่สุด ซึ่ง ปริมาณ conjugate trienes และปริมาณเฮกซานาล ที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm สำหรับค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่า น้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่ามากที่สุด (20.92±0.19 mEq Peroxide/ kg fat) ซึ่งไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้สารสกัดจากใบพลูช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชเมื่อได้รับความร้อนเป็นจำนวนครั้งที่มากขึ้นได้ เนื่องจากสารสกัดจากใบพลูมีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งความสามารถในการต้านออกซิเดชันนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และมีกลไกในการต้านออกซิเดชันเหมือนกับสารกันหืนสังเคราะห์ ที่มีสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ (Lai *et al*., 1991) โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่รวมตัวกับอนุมูลเปอร์ออกไซด์ เกิดเป็นสารเชิงซ้อน แล้วสารเชิงซ้อนนี้อาจทำปฏิกิริยากับอนุมูลเปอร์ออกไซด์อื่นๆ ได้อีก และเกิดเป็นสารประกอบสุดท้ายที่ไม่เปลี่ยนแปลงต่อไป (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549) นอกจากนั้นสารประกอบฟีนอลิกยังทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ และโลหะไอออนที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ เกิดสารที่คงตัวไม่ทำปฏิกิริยาต่อไป และเมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างเสถียร ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป และยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย (วิวัฒน์, 2545) ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่หยุดชะงักลง (ศิวาพร, 2546) ซึ่งส่งผลให้น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลู มีค่าเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นอินเทอร์มิเดียตของปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน และเฮกซานาล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันน้อยกว่าน้ำมันพืชชุดควบคุมเมื่อจำนวนครั้งที่ให้ความร้อนมากขึ้น ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณ conjugate dienes และปริมาณ conjugate trienes ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูก็พบว่ามีค่าน้อยกว่าน้ำมันพืชชุดควบคุมเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น และยังทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของพันธะคู่ในโมเลกุล เกิดเป็นสารที่เสถียรขึ้น ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณ conjugate dienes และปริมาณ conjugate trienes ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูน้อยกว่าน้ำมันพืชชุดควบคุม เมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จำนวนครั้งที่ให้ความร้อนมากขึ้น การที่ BHT มีประสิทธิภาพในการช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้อยกว่าสารสกัดจากใบพลู อาจมีสาเหตุมาจาก BHT เกิดการสลายตัวโดยการระเหยหรือการกลั่นในระหว่างกรรมวิธีการแปรรูปบางวิธี ตัวอย่างเช่น การทอด (ศิวาพร, 2546) จากผลการทดลองที่กล่าวมาในข้างต้น ความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพลูที่ 500 ppm จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาตอนต่อไป เนื่องจากมีความเข้มข้นต่ำ และมีประสิทธิภาพในการช่วยให้น้ำมันพืชมีความคงตัวต่อความร้อนเมื่อได้รับความร้อนซ้ำใกล้เคียงกับสารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.14 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEq Peroxide/kg fat)				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	0.69±0.00A*	6.71±0.11B c	15.10±0.07C d	18.66±0.28D d	20.82±0.06E b
บีเอชที 200 ppm	0.76±0.04A	6.40±0.26B c	12.64±0.59C c	17.22±0.13D b	20.92±0.19E b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.74±0.07A	5.71±0.14B b	11.62±0.06C b	17.94±0.05D c	19.98±0.78E b
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.69±0.00A	3.44±0.00B a	9.30±0.05C a	13.62±0.23D a	16.85±0.03E a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-E) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-d) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตาราง 4.15 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (%)				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	0.09±0.03A*	0.20±0.02B b	0.28±0.04B c	0.48±0.03C d	0.66±0.04D c
บีเอชที 200 ppm	0.09±0.03A	0.16±0.03AB ab	0.22±0.04B bc	0.39±0.03C c	0.55±0.03D b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.09±0.03A	0.12±0.02AB ab	0.16±0.03B ab	0.28±0.02C b	0.47±0.01D b
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.08±0.01A	0.09±0.03A a	0.12±0.02A a	0.22±0.02B a	0.34±0.05C a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-D) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-d) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.16 ปริมาณ conjugate dienes ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ปริมาณ conjugate dienes (%)				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	0.157±0.003A*	0.222±0.001B d	0.277±0.003C d	0.304±0.001D d	0.326±0.000E d
บีเอชที 200 ppm	0.156±0.001A	0.210±0.000B c	0.258±0.001C c	0.292±0.001D c	0.321±0.001E c
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.154±0.002A	0.185±0.000B b	0.236±0.001C b	0.283±0.000D b	0.296±0.001E b
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.154±0.004A	0.172±0.002B a	0.226±0.002C a	0.256±0.001D a	0.281±0.000E a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-E) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-d) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตาราง 4.17 ปริมาณ conjugate trienes ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ปริมาณ conjugate trienes (%)				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	0.00327±0.00000A*	0.00620±0.00060B	0.00707±0.00169B	0.01320±0.00145C b	0.01760±0.00023D c
บีเอชที 200 ppm	0.00291±0.00029A	0.00364±0.00052A	0.00749±0.00040B	0.01080±0.00047C b	0.01660±0.00140D c
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.00260±0.00064A	0.00375±0.00004AB	0.00436±0.00056B	0.00725±0.00088C a	0.01080±0.00070D b
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.00286±0.00029	0.00293±0.00168	0.00341±0.00223	0.00539±0.00064 a	0.00555±0.00040 a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-D) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-c) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

80

ตาราง 4.18 ปริมาณเฮกซานาลของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ปริมาณเฮกซานาล (µg/ml)				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	0.038±0.001A*	0.576±0.005B d	0.982±0.049C b	1.360±0.037D c	1.620±0.077E b
บีเอชที 200 ppm	0.032±0.003A	0.470±0.008B c	0.949±0.011C b	1.206±0.002D b	1.546±0.021E b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.038±0.004A	0.330±0.006B b	0.498±0.041C a	0.908±0.009D a	1.195±0.001E a
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	0.028±0.001A	0.200±0.013B a	0.480±0.006C a	0.918±0.066D a	1.096±0.043E a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-E) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-d) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับค่าสี L* (ตาราง 4.19) และ a* (ตาราง 4.20) ของน้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าลดลงเมื่อจำนวนครั้งที่ให้ความร้อนมากขึ้น ส่วนค่าสี b* (ตาราง 4.21) และความหนืด (ตาราง 4.22) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งที่ให้ความร้อนมากขึ้น การที่น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าสี L* และค่าสี a* ลดลง และมีค่าสี b* และความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งที่ให้ความร้อนเพิ่มขึ้น มีสาเหตุมาจากเมื่อจำนวนครั้งที่ให้ความร้อนมากขึ้น นั่นหมายความว่าน้ำมันพืชได้รับความร้อนเป็นเวลานานขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้มากขึ้น โดยทำให้น้ำมันพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ คือน้ำมันพืชจะมีสีที่คล้ำขึ้น (ค่าสี L* ลดลง ค่าสี a* ลดลง และค่าสี b* เพิ่มขึ้น) และมีความหนืดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากเมื่อน้ำมันพืชได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานานๆ น้ำมันพืชจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ได้เป็นพอลิเมอร์ซึ่งจะทำให้น้ำมันพืชมีความหนืดมากขึ้น โดยสารพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและความร้อน (นิธิยา, 2548)

เมื่อพิจารณาแต่ละจำนวนครั้งของการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 ± 0.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พบว่า เมื่อยังไม่มีการให้ความร้อน (0 ครั้ง) น้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชที่ใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีค่าสี L* a* b* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่สำหรับความหนืดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับเมื่อมีการให้ความร้อน 1 ครั้ง 2 ครั้ง 3 ครั้ง และ 4 ครั้ง โดยน้ำมันพืชชุดควบคุม มีความสว่างมากที่สุด คือมีค่าสี L* มากที่สุด ส่วนน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีความสว่างน้อยที่สุด คือมีค่าสี L* น้อยที่สุด สำหรับค่าสี a* พบว่า น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีสีเขียวมากที่สุด คือมีค่าสี a* น้อยที่สุด ส่วนน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีสีเขียวน้อยที่สุด คือมีค่าสี a* มากที่สุด และค่าสี b* พบว่า น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีสีเหลืองมากที่สุด คือมีค่าสี b* มากที่สุด ส่วนน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm มีสีเหลืองน้อยที่สุด คือมีค่าสี b* น้อยที่สุด

การที่ค่าสี L* a* b* ของน้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm เมื่อยังไม่มีการให้ความร้อน (0 ครั้ง) มีค่าแตกต่างกัน มีสาเหตุมาจากสีของสารสกัดจากใบพลูที่ใส่ลงไป ซึ่งมีสีออกเขียวปนเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยถ้ายิ่งใส่ที่ความเข้มข้นมากขึ้น ความสว่างของน้ำมันพืชก็จะยิ่งลดลง (ค่าสี L* น้อยลง) น้ำมันพืชยิ่งมีสีเขียว และ สีเหลืองมากขึ้น (ค่าสี a* น้อยลง และค่าสี b* มากขึ้น) โดยเป็นสาเหตุเดียวกันกับที่ทำให้ค่าสี L* a* b* ของน้ำมันพืชชุดควบคุม น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1000 ppm และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm แตกต่างกันเมื่อมีการให้ความร้อน 1 ครั้ง 2 ครั้ง 3 ครั้ง และ 4 ครั้ง ซึ่งไม่ได้เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชเมื่อได้รับความร้อน การใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm และ 1,000 ppm ลงในน้ำมันพืช พบว่าไม่ส่งผลต่อความหนืดของน้ำมันพืช เนื่องจากมีค่าความหนืดไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ทั้งเมื่อยังไม่มีการให้ความร้อน (0 ครั้ง) และเมื่อมีการให้ความร้อน 1 ครั้ง 2 ครั้ง 3 ครั้ง และ 4 ครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.19 ค่าสี L* ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ค่าสี L*				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	32.44±0.00C d*	32.28±0.01B d	32.24±0.02A d	32.23±0.01A d	32.22±0.00A d
บีเอชที 200 ppm	29.43±0.00E b	29.30±0.01D b	29.27±0.00C b	29.22±0.01B b	29.21±0.00A b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	29.66±0.01D c	29.61±0.01C c	29.51±0.01B c	29.37±0.03A c	29.40±0.01A c
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	28.82±0.01E a	28.72±0.01D a	28.56±0.01C a	28.50±0.01B a	28.32±0.04A a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-E) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-d) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตาราง 4.20 ค่าสี a* ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ค่าสี a*				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	-1.62±0.01AB c*	-1.55±0.06B c	-1.56±0.02B c	-1.62±0.04AB b	-1.70±0.04A a
บีเอชที 200 ppm	-1.52±0.01AB d	-1.46±0.05B d	-1.52±0.04AB c	-1.52±0.00AB c	-1.59±0.04A b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	-2.06±0.01A b	-1.88±0.00B b	-1.74±0.02C b	-1.67±0.01D b	-1.75±0.01C a
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	-2.36±0.01A a	-2.14±0.01B a	-1.98±0.01C a	-1.78±0.02D a	-1.74±0.02D a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-D) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-d) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

84

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.21 ค่าสี b* ของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ค่าสี b*				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	5.10±0.01A b*	5.57±0.18B b	5.92±0.16C b	6.31±0.11D b	6.59±0.04D b
บีเอชที 200 ppm	4.68±0.05A a	5.16±0.11B a	5.51±0.11C a	5.92±0.10D a	6.22±0.15E a
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	6.64±0.12A c	6.78±0.01AB c	6.98±0.16B c	7.30±0.01C c	7.48±0.09C c
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	8.34±0.13A d	8.50±0.02A d	8.88±0.01B d	8.74±0.01B d	9.16±0.16C d

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-E) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-d) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตาราง 4.22 ความหนืดของน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ และน้ำมันพืชใส่บีเอชที 200 ppm ก่อนนำไปให้ความร้อน และหลังนำไปให้ความร้อนแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ความหนืด (cP)				
	0 ครั้ง	1 ครั้ง	2 ครั้ง	3 ครั้ง	4 ครั้ง
ชุดควบคุม	58.2±0.4A*	58.4±0.1A	58.8±0.4A	59.2±0.2A	60.9±0.6B
บีเอชที 200 ppm	58.2±0.4A	58.6±0.2AB	58.9±0.1AB	59.2±0.4B	60.2±0.5C
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	57.8±0.0A	58.2±0.2AB	59.0±0.4B	59.2±0.2B	60.3±0.7C
สารสกัดจากใบพลู 1,000 ppm	57.6±0.2A	58.0±0.4A	59.0±0.0B	59.2±0.5BC	59.9±0.1C

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-C) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

85

4.6 การประยุกต์ใช้น้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูกับผลิตภัณฑ์อาหาร

จากการทอดมันฝรั่งแท่งแช่แข็ง ในน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ที่อุณหภูมิ 160 ± 0.4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที และทำการทอดมันฝรั่งแท่งแช่แข็งครั้งใหม่ในน้ำมันพืชเดิมที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว ทดลองเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลูทอดมันฝรั่งแท่งแช่แข็ง (ชุดควบคุม) ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันพืช และมันฝรั่งแท่งทอดหลังการทอดแต่ละครั้ง มีดังนี้

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก ของน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm หลังการทอดมันฝรั่งแท่งแช่แข็งแต่ละครั้ง ดังแสดงใน ตาราง 4.23-4.24 เมื่อพิจารณาน้ำมันพืชแต่ละชนิดที่ใช้ทอดมันฝรั่งแท่งแช่แข็ง พบว่า เมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ (ตาราง 4.23) และปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (ตาราง 4.24) ของน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำมันพืชทั้งสองชนิดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นในระหว่างการทอด ส่งผลให้คุณภาพของน้ำมันพืชลดลง ยิ่งถ้าจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น คุณภาพของน้ำมันพืชก็จะยิ่งลดลงมาก โดยสังเกตได้จากค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณกรดไขมันอิสระซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำมันพืชมีค่ามากขึ้น เมื่อพิจารณาการทอดแต่ละครั้ง พบว่า เมื่อทอดครั้งแรก น้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ (4.94±0.11 mEq Peroxide/ kg fat) น้อยกว่าน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) แต่สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนเมื่อทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง พบว่า ทั้งน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าเปอร์ออกไซด์ และปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก น้อยกว่าน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) คือมีค่าเปอร์ออกไซด์ เมื่อมีการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง ดังนี้ 7.49±0.00 9.14±0.28 และ 12.38±0.18 mEq

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Peroxide/ kg fat ตามลำดับ และมีปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก เมื่อมีการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง ดังนี้ ร้อยละ0.120±0.02 ร้อยละ 0.190±0.01 และร้อยละ0.360±0.04 ตามลำดับ จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไขมันและน้ำมัน กำหนดให้น้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธีมีค่าเปอร์ออกไซด์ได้สูงสุดเท่ากับ 10 mEq Peroxide/ kg fat แต่ถ้าน้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธีมีค่าเปอร์ออกไซด์เกินกว่าค่าที่กำหนดถือว่าน้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธีนั้นเกิดการหืนแล้ว

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากใบพลูช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันพืชขณะทอดได้ โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) ในทุกครั้งของการทอด และมีปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติกน้อยกว่าเมื่อมีการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง แต่ในการทอดครั้งแรก มีปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติกไม่แตกต่างจากน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติกที่เกิดขึ้นมีน้อย ทำให้เห็นประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบพลูไม่ชัดเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.23 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm หลังผ่านการทอดในแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ค่าเปอร์ออกไซด์ (mEq Peroxide/kg fat)			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	5.62±0.18A b*	8.86±0.12B b	11.26±0.07C b	15.20±0.22D b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	4.94±0.11A a	7.49±0.00B a	9.14±0.28C a	12.38±0.18D a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-D) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-b) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

88

ตาราง 4.24 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm หลังผ่านการทอดในแต่ละครั้ง

น้ำมันพืช	ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปกรดปาล์มิติก (%)			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	0.20±0.02A*	0.26±0.02A b	0.39±0.03B b	0.58±0.04C b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.09±0.03A	0.12±0.02AB a	0.19±0.01B a	0.36±0.04C a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-C) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-b) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีระบบ L* a* b* และคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่า TBARS ซึ่งแสดงในรูปปริมาณมาโลนไดอัลดีไฮด์ ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm หลังการทอดแต่ละครั้ง ดังแสดงใน ตาราง 4.25-4.28 เมื่อพิจารณามันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชแต่ละชนิด พบว่า เมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น ค่าสี L* (ตาราง 4.25) a* (ตาราง 4.26) และ b* (ตาราง 4.27) ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) อาจมีสาเหตุมาจากมันฝรั่งแท่งที่ทอดดูดซับน้ำมันพืชที่มีสีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเข้าไป ซึ่งการที่น้ำมันพืชมีสีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ทอด และจำนวนครั้งที่ใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำน้อยเกินไป จึงส่งผลให้มันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดครั้งแรก และการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง มีสีไม่แตกต่างกัน ซึ่งผลที่ได้ตรงกันข้ามกับงานวิจัยของ ศรายุทธ์ (2551) ที่พบว่า เมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น สีของข้าวเกรียบกุ้งทอดแตกต่างกัน โดยความสว่างของข้าวเกรียบกุ้งทอดลดลงเมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น

เมื่อพิจารณาการทอดแต่ละครั้ง พบว่า เมื่อทอดครั้งแรก และเมื่อทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง มันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าสี L* และ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนค่าสี a* มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อมีการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 2 ครั้ง แต่การทอดครั้งแรก และการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง และ 3 ครั้ง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.25 ค่าสี L* ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ในการทอดแต่ละครั้ง

มันฝรั่งแท่ง	ค่าสี L*			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	54.34±0.83	57.21±1.77	53.59±2.28	55.26±0.57
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	60.10±2.18	58.21±4.44	54.60±0.67	58.84±1.22

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง

ตาราง 4.26 ค่าสี a* ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ในการทอดแต่ละครั้ง

มันฝรั่งแท่ง	ค่าสี a*			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	1.97±0.35	1.48±0.36	1.36±0.32 a*	2.07±0.83
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	2.49±0.61	2.78±0.64	3.12±0.39 b	3.44±1.63

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-b) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.27 ค่าสี b* ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ในการทอดแต่ละครั้ง

มันฝรั่งแท่ง	ค่าสี b*			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	20.82±0.44	18.90±0.33	17.96±0.37	21.53±1.84
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	19.74±0.74	21.24±1.80	18.14±0.32	20.66±0.33

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง

ตาราง 4.28 ปริมาณมาโลนไดอัลดีไฮด์ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ในการทอดแต่ละครั้ง

มันฝรั่งแท่ง	ปริมาณมาโลนไดอัลดีไฮด์ (µg/g)			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	0.225±0.001A b*	0.254±0.002B b	0.298±0.001C b	0.342±0.008D b
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	0.209±0.004 a	0.230±0.001 a	0.233±0.014 a	0.253±0.018 a

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(A-D) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-b) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับค่า TBARS ซึ่งแสดงในรูปปริมาณมาโลนไดอัลดีไฮด์ (ตาราง 4.28) ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น แต่สำหรับมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่า TBARS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น การที่ค่า TBARS ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น มีสาเหตุมาจากมันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดในแต่ละครั้งดูดซับน้ำมันพืชที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น ส่งผลให้มันฝรั่งแท่งทอดเกิดการหืนมากขึ้น คือมีค่า TBARS มากขึ้นเมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น แต่สำหรับมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่า TBARS ไม่แตกต่างกันเมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น เป็นเพราะว่าน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยกว่าน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู เนื่องจากสารสกัดจากใบพลู มีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน จึงช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ทำให้น้ำมันพืชที่ถูกดูดซับเข้าไป ไม่ส่งผลต่อการเกิดการหืนในมันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดในแต่ละครั้ง เมื่อพิจารณาการทอดแต่ละครั้ง พบว่า เมื่อทอดครั้งแรก และเมื่อทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง มันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่า TBARS น้อยกว่ามันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) คือมีค่า TBARS เมื่อทอดครั้งแรก และเมื่อทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง ดังนี้ 0.209±0.004 0.230±0.001 0.233±0.014 และ 0.253±0.018 μg/g ตามลำดับ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากใบพลูช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืชได้ ซึ่งส่งผลให้มันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลู มีคุณภาพที่ดีกว่ามันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) ในทุกครั้งของการทอด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm หลังการทอดแต่ละครั้ง ดังแสดงใน ตาราง 4.29-4.32 เมื่อพิจารณามันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชแต่ละชนิด พบว่า เมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น คะแนนด้านความชอบโดยรวม (ตาราง 4.29) ความชอบด้านสี (ตาราง 4.30) ความชอบด้านกลิ่น (ตาราง 4.31) และความชอบด้านรสชาติ (ตาราง 4.32) ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(P>0.05) เมื่อพิจารณาการทอดแต่ละครั้ง พบว่า เมื่อทอดครั้งแรก มันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีคะแนนด้านความชอบโดยรวม และความชอบด้านรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่สำหรับคะแนนความชอบด้านสี และความชอบด้านกลิ่น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) มีคะแนนความชอบด้านสี และความชอบด้านกลิ่นมากกว่า ส่วนการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง พบว่า มันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีคะแนนด้านความชอบโดยรวม และความชอบด้านสี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) มีคะแนนด้านความชอบโดยรวม และความชอบด้านสีมากกว่า แต่สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่น และความชอบด้านรสชาติ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) การทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 2 ครั้ง พบว่า มันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm มีคะแนนด้านความชอบโดยรวม ความชอบด้านสี ความชอบด้านกลิ่น และความชอบด้านรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 3 ครั้ง

การที่คะแนนด้านความชอบโดยรวม ความชอบด้านสี ความชอบด้านกลิ่น และความชอบด้านรสชาติ ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm หลังการทอดครั้งแรก และหลังการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 1 ครั้ง 2 ครั้ง และ 3 ครั้ง ไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะผู้บริโภคไม่สามารถรับรู้ถึงความแตกต่างของคุณภาพมันฝรั่งแท่ง ที่ผ่านการทอดในแต่ละครั้งได้ แม้ว่าจากการวิเคราะห์ค่า TBARS ของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) มีมากขึ้นเมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น แต่ค่าที่ได้นี้อาจน้อยเกินกว่าที่ผู้บริโภคจะรับรู้ได้ ซึ่งในความเป็นจริงคะแนนด้านต่างๆ ของมันฝรั่งแท่งทอดน่าจะลดลงเมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น เนื่องจากคุณภาพของน้ำมันพืชทั้งสองชนิดเริ่มเสื่อมลงเรื่อยๆ และยิ่งการทอดในน้ำมันพืชที่ผ่านการทอดมาแล้ว 3 ครั้ง มันฝรั่งแท่งทอดน่าจะมีคะแนนด้านต่างๆ ต่ำที่สุด เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้ทอดมีคุณภาพต่ำที่สุด นอกจากนั้นยังพบว่าสารสกัดจากใบพลูที่ใส่ในน้ำมันพืช มีผลต่อมันฝรั่งแท่งทอด โดยเฉพาะสีและกลิ่นของสารสกัด แต่เมื่อจำนวนการใช้น้ำมันพืชทอดซ้ำมากขึ้น สารสกัดจากใบพลูที่ใส่ในน้ำมันพืช เริ่มไม่มีผลต่อมันฝรั่งแท่งที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทอด เนื่องจากสีของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชใส่สารสกัด เริ่มใกล้เคียงกับมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชไม่ใส่สารสกัดจากใบพลู (ชุดควบคุม) และกลิ่นของสารสกัดจากใบพลูเริ่มน้อยลง เนื่องจากอาจมีการระเหยไปในระหว่างการทอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.29 คะแนนความชอบโดยรวมของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ในการทอดแต่ละครั้ง

มันฝรั่งแท่ง	คะแนนความชอบโดยรวม			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	6.20±1.30	6.27±1.08 b*	5.93±1.55	6.27±1.55
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	5.87±1.36	5.63±1.13 a	6.10±1.18	5.70±1.44

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-b) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตาราง 4.30 คะแนนความชอบด้านสีของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ในการทอดแต่ละครั้ง

มันฝรั่งแท่ง	คะแนนความชอบด้านสี			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	6.97±1.19 b*	7.00±1.08 b	6.73±1.34	6.73±1.48
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	6.10±1.27 a	6.33±1.09 a	6.37±1.13	6.20±1.32

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-b) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

95

ตาราง 4.31 คะแนนความชอบด้านกลิ่นของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ในการทอดแต่ละครั้ง

มันฝรั่งแท่ง	คะแนนความชอบด้านกลิ่น			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	6.50±1.22 b*	6.30±1.37	6.00±1.44	6.03±1.43
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	5.37±1.50 a	5.83±1.18	6.13±1.28	5.77±1.68

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน(a-b) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

96

ตาราง 4.32 คะแนนความชอบด้านรสชาติของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันพืชชุดควบคุม และน้ำมันพืชใส่สารสกัดจากใบพลูที่ความเข้มข้น 500 ppm ในการทอดแต่ละครั้ง

มันฝรั่งแท่ง	คะแนนความชอบด้านรสชาติ			
	ทอดครั้งแรก	ทอดซ้ำ 1 ครั้ง	ทอดซ้ำ 2 ครั้ง	ทอดซ้ำ 3 ครั้ง
ชุดควบคุม	6.37±1.33	5.93±1.28	5.87±1.50	5.83±1.53
สารสกัดจากใบพลู 500 ppm	5.73±1.20	5.73±1.17	5.73±1.36	5.77±1.74

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วัดค่า 3 ซ้ำการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved