บทที่ 4

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาสายพันธุ์มันเทศที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกมันเทศ

จากการศึกษาผลของสายพันธุ์เปลือกมันเทศต่อผลผลิตร้อยละ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนไทไซยานิน ปริมาณฟลาโวนอยด์ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS โดยใช้เปลือกมันเทศ 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ พจ. 65-3 และพันธุ์ T101 ที่สกัดด้วยตัวละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 30 นาที พบว่าสายพันธุ์ของเปลือกมันเทศทั้ง 2 ชนิดมีผลต่อค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนไทไซยานิน กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ($p<0.05$) โดยเปลือกมันเทศสายพันธุ์ พจ. 65-3 ให้ค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนไทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด โดยมีค่า 1,578.46±19.83 mg GAE/100ml extract, 1,152.42±11.07mg/100ml extract และร้อยละ 51.45±1.52 ตามลำดับ และพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ซึ่งรายงานค่าในรูป IC_{50} (Inhibition concentration , ความเข้มข้นของสารที่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ ร้อยละ 50) โดยค่าตัวเลขต่ำแสดงว่ามีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูง จากการศึกษาพบว่าเปลือกมันเทศ สายพันธุ์ พจ. 65-3 มีค่า IC_{50} ต่ำกว่าเปลือกมันเทศสายพันธุ์ T101 โดยมีค่า 3.15±0.52 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ($p<0.05$) ในขณะที่เปลือกมันเทศทั้งสองชนิดมีผลผลิตร้อยละและปริมาณฟลาโวนอยด์ไม่ต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าผลผลิตร้อยละเท่ากับ 6.57±0.41 และ 6.32±0.78 และปริมาณฟลาโวนอยด์ 4,252.50±236.88 และ 4,020.00±190.91 mg/100ml extract ในพันธุ์ พจ. 65-3 และ T101 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 3

การสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืชจะมีปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมในการปลูกเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของมันเทศ (Howard, Clark and Brownmiller, 2003; Islam, et al., 2003) ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ Choong, et al. (2007) ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิก และแคโรทีนของมันเทศหลายสายพันธุ์ที่มีสีเนื้อต่างกัน พบว่า มันเทศสายพันธุ์ที่มีสีม่วงพบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิก และแคโรทีนสูงที่สุด รองลงมา พันธุ์สีส้ม พันธุ์สีเหลือง และพันธุ์สีขาว ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกเปลือกมันเทศสายพันธุ์ พจ. 65-3 ทำการทดลองต่อในตอนที่ 2

ตาราง 3 การวิเคราะห์สมบัติบางประการของเปลือกมันเทศสายพันธุ์พจ. 65-3 และ T101

	สายพันธุ์เปลือกมันเทศ	
	พจ. 65-3	T101
ผลผลิตร้อยละ	6.57±0.40^{ns}	6.32±0.78^{ns}
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100ml extract)	1,578.46±19.83^{a}	1,207.46±8.16^{b}
ปริมาณแอนไทไซยานิน (mg/100ml extract)	1,152.42±11.07^{a}	884.81±9.01^{b}
ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg/100ml extract)	4,252.50±236.88^{ns}	4,020.00±190.91^{ns}
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)	51.45±1.52^{a}	39.47±0.75^{b}
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (IC_{50},มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	3.15±0.52^{b}	4.27±0.35^{a}

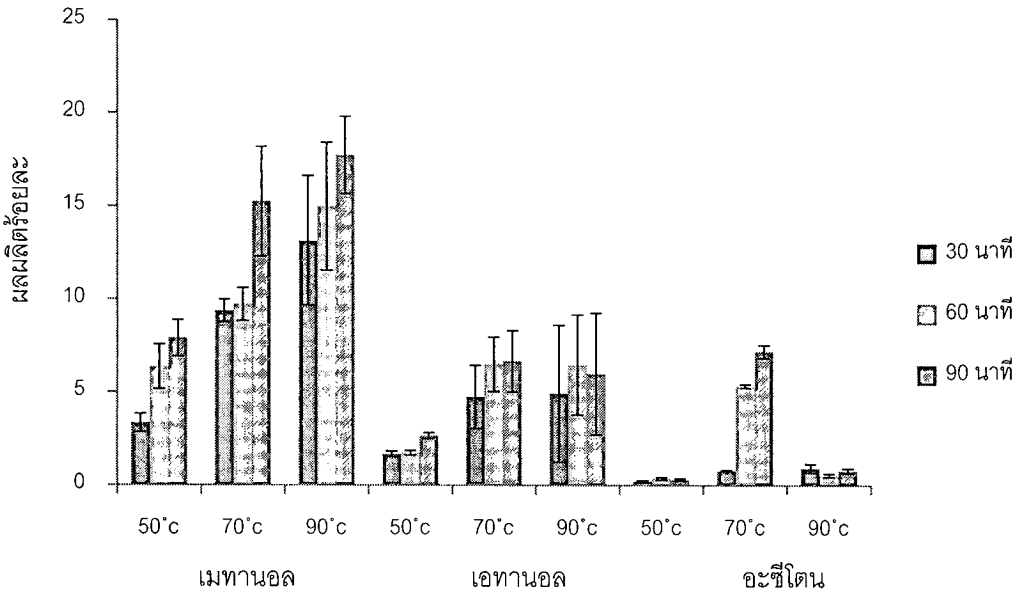
หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตอนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกมันเทศ

1. ผลผลิตร้อยละของสารสกัดจากเปลือกมันเทศ

การศึกษาผลผลิตร้อยละของสารสกัดจากเปลือกมันเทศสายพันธุ์ พจ.65-3 โดยใช้ตัวทำละลายคือ เอทานอลร้อยละ 95 เมทานอลร้อยละ 95 และอะซีโตน อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดคือ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัดคือ 30 60 และ 90 นาที พบว่า ชนิดของตัวละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ผลผลิตร้อยละมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ผลผลิตร้อยละสูงที่สุด รองลงมาคือเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และ อะซีโตน ตามลำดับ โดยการสกัดเปลือกมันเทศที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัดนาน 90 นาที ให้ผลผลิตร้อยละเท่ากับ 17.72±2.07 สูงที่สุด ดังแสดงในภาพ 14 ผลผลิตร้อยละของสารสกัดมีความสัมพันธ์กับสภาพขั้วของตัวทำละลาย คือ เมทานอลมีความมีขั้วสูงที่สุด รองลงมาคือเอทานอล และอะซีโตน ตามลำดับ ดังนั้นการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลร้อยละ 95 จึงให้ผลผลิตร้อยละมากที่สุด ดังเช่นการทดลองของ Zia-ur, Farzana and Shah (2004) ที่พบว่า การสกัดหาผลผลิตร้อยละจากเปลือก มันฝรั่งด้วยตัวทำละลายที่ต่างกันได้แก่ เอทานอล เมทานอล อะซีโตน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และอีเทอร์ พบว่า ปิโตรเลียมอีเทอร์สามารถสกัดได้มากที่สุด รองลงมา คือเมทานอล เอทานอล และอะซีโตน ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ ศิวาพร ศิวเวช และณัฏฐินี ใจสะอาด (2546) ศึกษาการสกัดเปลือกมันฝรั่งด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณการสกัดด้วยเมทานอลให้ปริมาณผลผลิตร้อยละสูงที่สุด รองลงมาคือ เอทานอล อะซีโตน และน้ำ ตามลำดับ

สำหรับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด มีผลทำให้ผลผลิตร้อยละของสารสกัดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลผลิตร้อยละเพิ่มสูงขึ้น โดยการสกัดด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสให้ผลผลิตร้อยละสูงที่สุด รองลงมาคืออุณหภูมิ 70 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที พบว่าให้ผลผลิตร้อยละที่สกัดได้มีปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือระยะเวลาการสกัด 60 และ 30 นาที ตามลำดับ ($p<0.05$) โดยค่าผลผลิตร้อยละของสารสกัดมีค่ามากที่สุดในการสกัดด้วยตัวทำลายเมทานอลร้อยละ 95 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที เท่ากับร้อยละ 17.72±2.07 และค่าผลผลิตร้อยละของสารสกัดมีค่าน้อยที่สุดในการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.31±0.05 ดังแสดงในภาพ 14



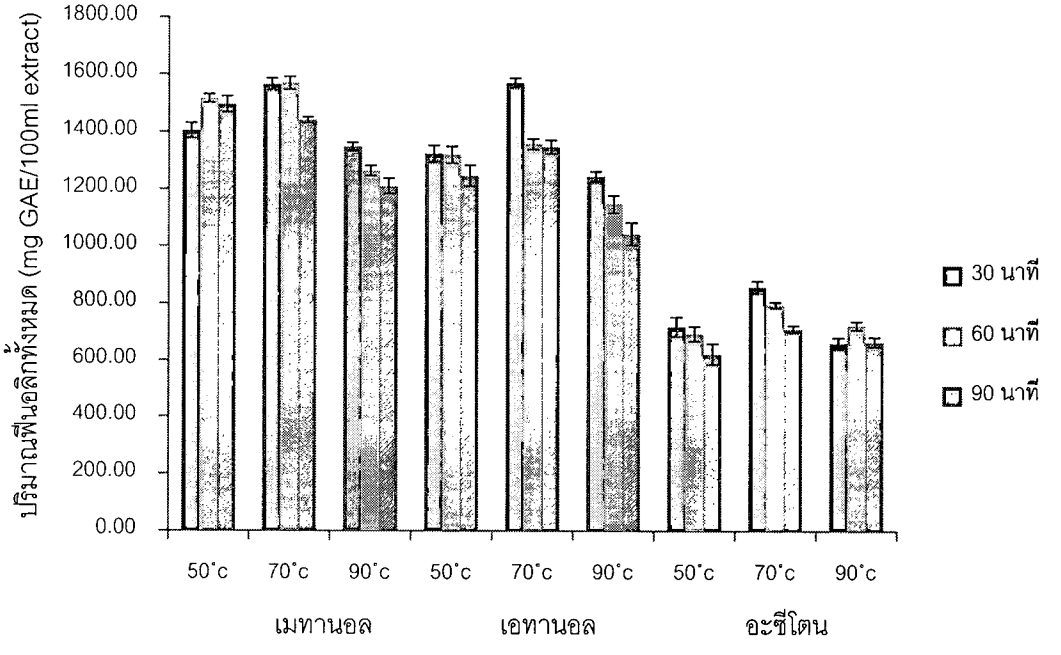
ภาพ 14 ผลผลิตร้อยละของสารสกัดจากเปลือกมันเทศสายพันธุ์ พจ. 65-3 ที่สภาวะการสกัดแตกต่างกัน

2. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากการศึกษาปริมาณฟินอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกมันเทศโดยใช้ตัวทำละลายคือเอทานอล เมทานอล และอะซีโตน อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดคือ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัดคือ 30 60 และ 90 นาที พบว่าชนิดของตัวละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 และเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าสูงที่สุดในการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 1,570±16.10 และการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลร้อยละ 95 มีค่าเท่ากับ 1,569.20±22.31 mg GAE/100ml extract ตามลำดับ ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตนให้ค่าปริมาณฟีนอลิกน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 621.35±37.38 mg GAE/100ml extract ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ต่ออยู่กับหมู่แอริล (R) ซึ่งสามารถถูกสกัดได้ด้วย ตัวทำละลายอินทรีย์ในสภาพที่มีขั้วที่ใกล้เคียงกัน โดยส่วนใหญ่สารประกอบฟีนอลิกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขั้วสูง ซึ่งสัมพันธ์กับสภาพขั้วของตัวทำละลาย ดังนั้นจึงทำให้การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 และเมทานอลร้อยละ 95 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตน ดังเช่นการ

ทดลองของ Jung, et al. (2006) พบว่า เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพที่สุด ในการสกัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากใบของโสมป่า

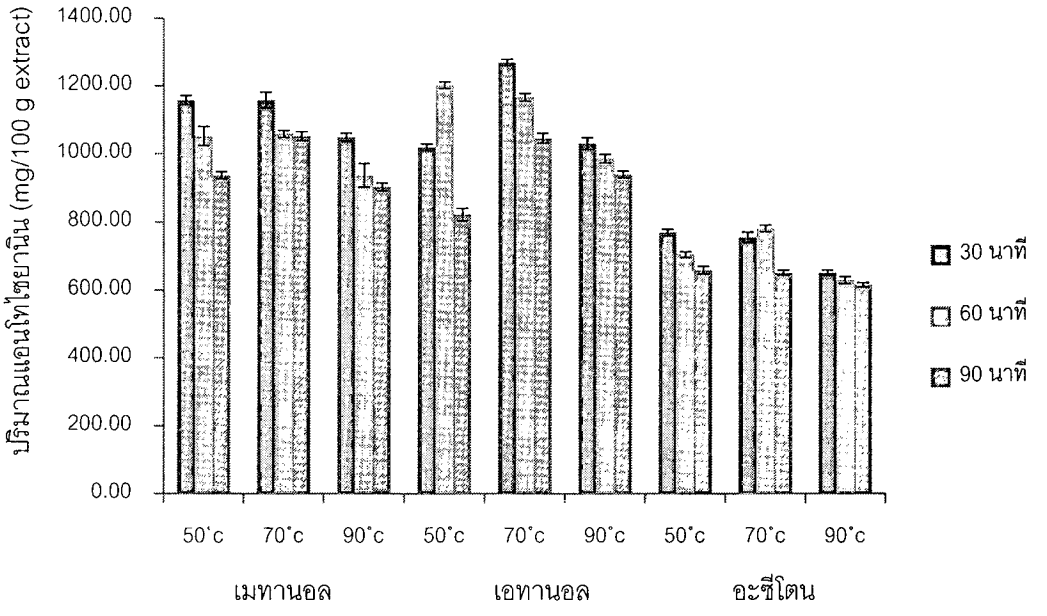
อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการสกัดที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน มีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิก ลดลง เนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิหรือระยะเวลาในการสกัดที่เพียงพอมีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกสูงขึ้น แต่การให้ความร้อนหรือระยะเวลาในการสกัดที่มากเกินมีผลอาจทำให้สารประกอบฟีนอลิกบางส่วนถูกออกซิไดซ์ด้วยแสง (Rajalakshmi and Narasimhan, 1998) จึงทำให้เมื่อสกัดเป็นเวลานานกลับทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang and Prior (1996) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในส้มเริ่มลดลงเมื่อทำการสกัดนานขึ้น ดังนั้นสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่ให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำลายเอทานอลร้อยละ 95 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 30 นาที และสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่ให้ค่าร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างน้อยที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที ดังแสดงในภาพ 15



ภาพ 15 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากเปลือกมันเทศสายพันธุ์พจ. 65-3 ที่สภาวะการสกัดแตกต่างกัน

3. ปริมาณแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water-soluble pigments) จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นสารให้สีตามธรรมชาติโดยสีของ แอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (อรุษา เชาวนลิขิต, 2554) จากการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินพบว่าชนิดของตัวละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 และเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่การสกัดตัวทำละลายอะซีโตนให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุด ($p<0.05$) โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุด รองลงมาคือ เมทานอลร้อยละ 95 และอะซีโตนน้อยที่สุด โดยการสกัดที่อุณหภูมิ 70 ระยะเวลาในการสกัดนาน 30 นาที พบว่าการสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 เมทานอลร้อยละ 95 และอะซีโตน มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 1,268.41±9.31, 1,158.27±19.74 และ 752.35±13.96 mg/100ml extract ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินจัดเป็นสารประกอบไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์ (cyanidine-3-glucoside) และ พีโอนิดิน 3 กลูโคไซด์ (peonidin-3-glucoside) ที่สามารถละลายได้ได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว ความมีขั้วดังกล่าวได้ส่งผลต่อการสกัดและการแยกแอนไซยานินในตัวอย่าง โดยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วสามารถสกัดแอนโทไซยานินได้ดีกว่าตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (Finocchiaro, Ferrari, and Gianinetti, 2010) ในส่วนของอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการสกัดโดยใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง ซึ่งผลงานวิจัยได้สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าการสกัดในช่วยอุณหภูมิสูงจะเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด แต่ถ้าสูงเกินไปจะทำให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวได้ ซึ่งเมื่อการสกัดโดยอุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาในการสกัดนานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง (ดวงกมล ลีมจันทร์ มวิษฐิดา จันทราพรชัย และวิชัย หฤทัยธนาสันดิ์, 2551) โดยสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่ให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำลายเอทานอลร้อยละ 95 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 30 นาที มีค่าเท่ากับ 1,268.41±9.31 mg/100ml extract และสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่ให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินน้อยที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตน อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที มีค่าเท่ากับ 613.36±5.87 mg/100ml extract ดังแสดงในภาพ 16



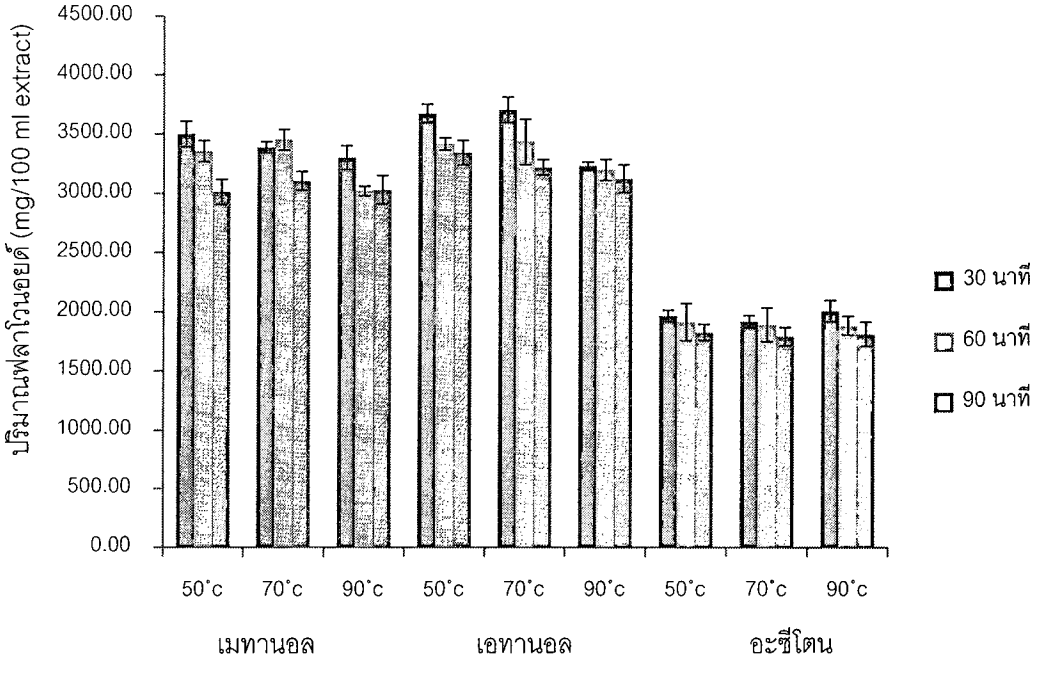
ภาพ 16 ปริมาณแอนโทไซยานินของสารสกัดจากเปลือกมันเทศสายพันธุ์พจ. 65-3 ที่สภาวะการสกัดแตกต่างกัน

4. ปริมาณฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบในกลุ่มของฟีนอลิก ซึ่งมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันที่ดี เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของฟลาโวนอยด์สามารถให้อิเล็กตรอน หรือไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ จึงทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีความคงตัวมากขึ้น จึงมีความสามารถในการยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ (Cook and Samman, 1996) จากการศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดจากเปลือกมันเทศพบว่าชนิดของตัวละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ค่าปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด รองลงมาคือ เมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 และอะซีโตนให้ปริมาณฟลาโวนอยด์น้อยที่สุด ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Pinelo, et al. (2004) ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ คือ quercetin โดยใช้ตัวทำละลายต่างกันได้แก่ เอทานอล เมทานอล และน้ำ พบว่า quercetin ในตัวทำลายเอทานอลมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือ เมทานอล และน้ำ ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนจะทำให้ความสามารถในการให้อะตอมไฮโดรเจนของสารประกอบฟีนอลิกเปลี่ยนแปลงไป และนอกจากนี้การศึกษาของ Pedrielli, Pedulli and Skibsted (2001) พบว่า สมบัติในการต้านออกซิเดชันของ quercetin

ในตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติไม่เป็นพันธะไฮโดรเจน (non-hydrogen bonding) มีค่าการต้านออกซิเดชันมากกว่าในตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (water-like)

อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดปริมาณฟลาโวนอยด์พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการสกัดโดยใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ลดลง โดยสภาวะให้ปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำลายเอทานอลร้อยละ 95 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 30 นาที มีค่าเท่ากับ 3,701.63±46.67 mg/100ml extract และสภาวะที่ให้ปริมาณฟลาโวนอยด์น้อยที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตน อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที มีค่าเท่ากับ 1,781.69±78.40 mg/100ml extract ดังแสดงในภาพ 17

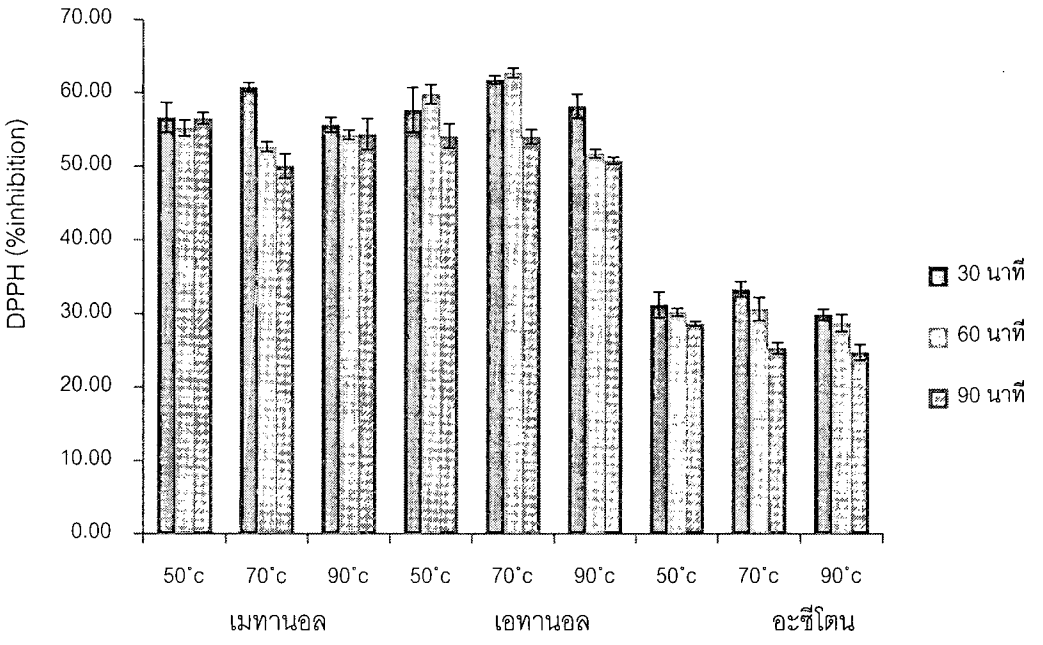


ภาพ 17 ปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดจากเปลือกมันเทศสายพันธุ์พจ. 65-3 ที่สภาวะการสกัดแตกต่างกัน

5. **กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ** DPPH

การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเปลือกมันเทศ พบว่า ชนิดของตัวละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที ให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 61.72±0.55 เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลพบว่ามีค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 60.79±0.59 และการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยที่สุดคือ อะซีโตน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลานาน 90 นาที มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ร้อยละ 24.68±1.02 ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการสกัดสารที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในใบมะกอกโอลีฟ (นันทิชา สายสุทธิ์ และศศิธร ตรงจิตภักดี, 2554)

อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการสกัดโดยใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานมีผลทำให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลง เมื่อพิจารณาจากปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดกับค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าสารสกัดที่มีปริมาณฟีนอลิกมากก็จะมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากตามไปด้วย โดยสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่ให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำลายเอทานอลร้อยละ 95 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที และสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่ให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตน อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที ดังแสดงในภาพ 18



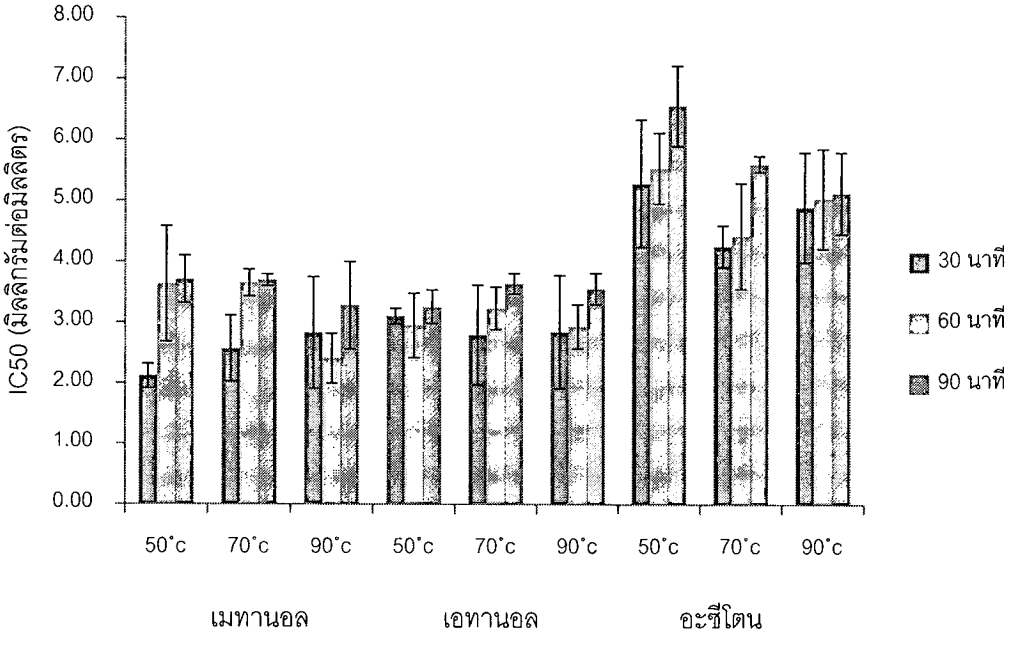
ภาพ 18 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเปลือกมันเทศสายพันธุ์ พจ. 65-3 ที่สภาวะการสกัดแตกต่างกัน

6. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS

การศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของสารสกัดจากเปลือกมันเทศ โดยรายงานค่าในรูป IC_{50} (Inhibition concentration, ความเข้มข้นของสารที่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50) โดยค่าตัวเลขต่ำแสดงถึงว่ามีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS สูง จากผลการทดลอง พบว่าชนิดของตัวละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS โดยรายงานค่าในรูป IC_{50} มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลร้อยละ 95 ให้ค่า IC_{50} น้อยที่สุด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที เท่ากับ 2.12±0.20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเทียบกับตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที มีค่าเท่ากับ 2.79±0.82 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ตัวทำละลายอะซีโตน ให้ค่า IC_{50} สูงที่สุด เท่ากับ 6.55±0.66 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ($p<0.05$)

อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลทำให้ค่า IC_{50} มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการสกัดโดยใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานมีผลทำให้ค่า IC_{50} สูงมากขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS พบว่ามีความสอดคล้องกัน โดยสารสกัดที่มีปริมาณฟี

นอลิกมากจะมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากตามไปด้วย เช่นกัน ดังแสดงในรูป 19 โดยสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่ให้ค่า IC_{50} น้อยที่สุดคือ การสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลร้อยละ 95 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 30 นาที และสภาวะที่ใช้ในการสกัดที่ให้ค่า IC_{50} สูงที่สุด คือการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที ดังแสดงในภาพ 19



ภาพ 19 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ABTS โดยรายงานค่าในรูป IC_{50} ของสารสกัดจากเปลือกมันเทศสายพันธุ์พจ. 65-3 ที่สภาวะการสกัดแตกต่างกัน

จากผลการทดลองก่อนหน้านี้ในตอน 2.1 – 2.6 ในการศึกษาผลผลิตร้อยละ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณฟลาโวนอยด์ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากเปลือกมันเทศสายพันธุ์ พจ. 65-3 คือการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัดนาน 30 นาที ดังนั้นจึงเลือกสภาวะนี้ในการศึกษาต่อในตอนที่ 3

ตอนที่ 3 การประยุกต์ใช้สารสกัดจากเปลือกมันเทศในน้ำมันถั่วเหลือง

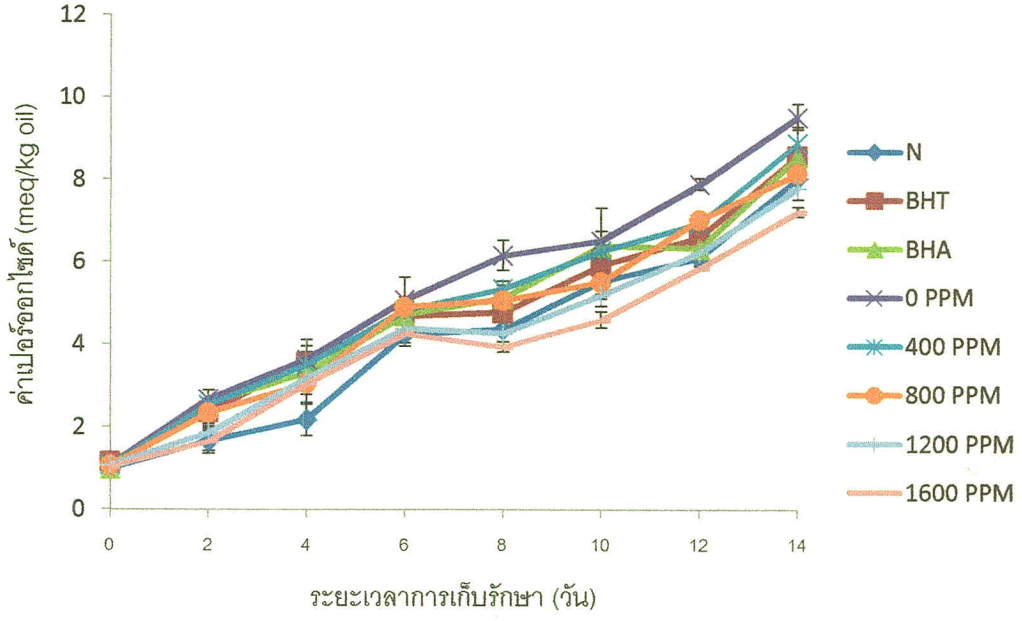
นำสารสกัดจากเปลือกมันเทศโดยเลือกสภาวะการสกัดที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด คือการสกัดด้วยตัวละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 30 นาที มาทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นวัตถุกันหืนโดยเปรียบเทียบกับวัตถุกันหืนสังเคราะห์ BHA BHT และก๊าซไนโตรเจน โดยเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน นำมาทำการตรวจวัดประสิทธิภาพการเป็นวัตถุกันหืนทุกๆ 2 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

1. **ค่าเปอร์ออกไซด์** (Peroxide value)

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัดดัชนีบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน โดยการหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมันหรือไขมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมันที่ถูกเก็บไว้สัมผัสกับอากาศ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2529) ถ้าค่าเปอร์ออกไซด์สูง แสดงว่าไขมัน หรือน้ำมันเกิด ปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันมาก มีกลิ่นหืนมาก

จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติม ก๊าซไนโตรเจน วัตถุกันหืนสังเคราะห์ BHA และ BHT และสารสกัดจากเปลือกมันเทศความเข้มข้น 0 400 800 1,200 และ 1,600 ppm พบว่า ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุหืนมีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างนานขึ้นมีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นทุกๆ ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลือง ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบว่า ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองทั้งหมดให้ค่าเปอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่า 0.99±0.03 ถึง 1.15±0.06 meq/kg oil โดยค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มสูงขึ้นทุกๆ วันของการเก็บรักษา จนถึงวันที่ 14 พบว่า น้ำมันถั่วเหลืองที่ให้ค่าเปอร์ไซด์ต่ำที่สุดคือ น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,600 ppm รองลงมาได้แก่ สารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,200 ppm ก๊าซไนโตรเจน สารสกัดจากเปลือกมันเทศ 800 pmm สารสกัดจากเปลือกมันเทศ 400 ppm BHA BHT และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 0 ppm ตามลำดับ สารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,600 ppm ให้ค่าเปอร์ไซด์ต่ำกว่าวัตถุกันหืนสังเคราะห์ BHT BHA และก๊าซไนโตรเจน ซึ่งหมายความว่ามีประสิทธิภาพในการเป็นวัตถุกันหืนดีที่สุด ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.22±0.12 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (meq/kg oil) ในตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,600 ppm และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.53±0.31meq/kg oil ในตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 0 ppm ดังแสดงในภาพ 20 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของ ณัฏฐินี ใจสะอาด (2546) ที่พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสาร

สกัดแห้งจากเปลือกมันฝรั่ง มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้เพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นมีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นในทุกๆ ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลือง สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในไขมันหรือน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่าเกิด oxidative rancidity เป็นการเกิดออโตออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากจะเกิด oxidative rancidity ได้ง่าย จึงทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ที่วิเคราะห์สูงมากขึ้น (ไพจิตร จันทรวงศ์, 2530)



ภาพ 20 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนแตกต่างกัน

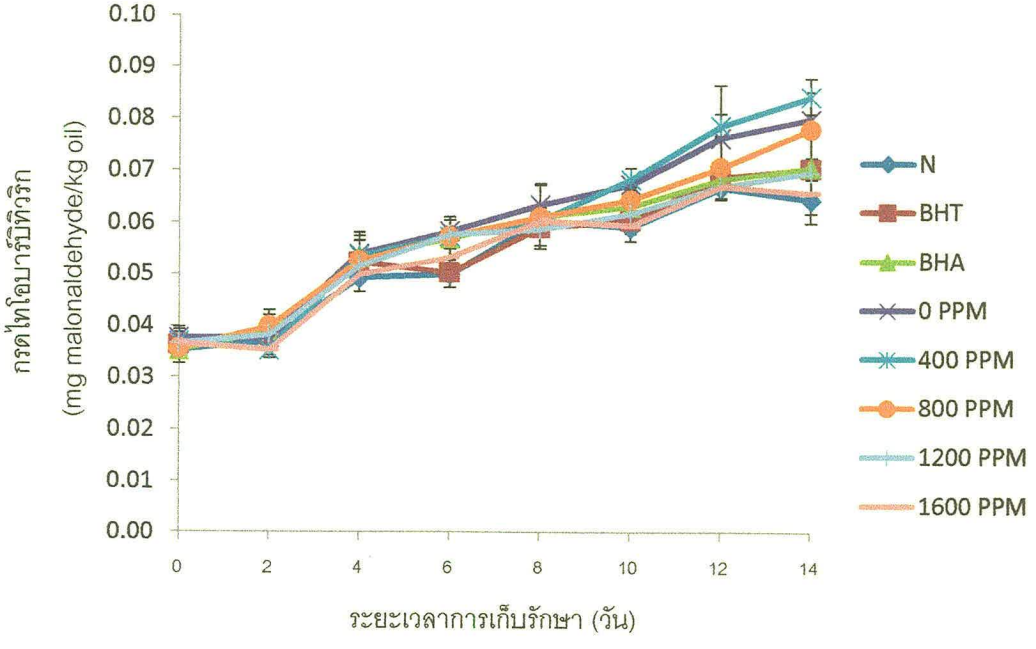
2. **ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก** (Thiobarbituric acid value)

ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกเป็นการวัดผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถสลายตัวและระเหยได้ (Volatile decomposition product) จากการทำปฏิกิริยาแล้วเกิดสารประกอบที่เรียกว่า มาโลนาลดีไฮด์ (malonaldehyde) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขึ้น (Jayasingh, et al., 2003)

จากการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืน พบว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุหืนมีผลทำให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยพบว่า ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นในทุกๆตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลือง โดยวันที่ 0 ถึง 4 ของการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองทั้งหมดให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) วันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกเริ่มแตกต่างกัน โดยตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมก๊าซไนโตรเจน มีค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกต่ำสุดเท่ากับ 0.05±0.00 mg malonaldehyde/kg oil ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศความเข้มข้น 1,600 ppm ($P>0.05$) และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 0 ppm ให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกสูงที่สุดเท่ากับ 0.06±0.00 mg malonaldehyde/kg oil ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติม BHA และสารสกัดจากเปลือกมันเทศความเข้มข้น 400 ppm 800 ppm 1,200 ppm ($P>0.05$) วันที่ 10 ถึง 12 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติม ก๊าซไนโตรเจน และสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,600 ppm ให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกต่ำสุด และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 0 และ 400 ppm ให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกสูงที่สุด และวันที่ 14 ของการเก็บรักษา พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมก๊าซไนโตรเจน BHT BHA สารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,200 และ 1,600 ppm ให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกต่ำที่สุดซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมไนโตรเจนให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.06±0.01 mg malonaldehyde/kg oil และ น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 0 400 และ 600 ppm ให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกสูงที่สุดโดยตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 400 ppm ให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.08±0.00 malondialdehyde /kg oil ดังแสดงในภาพ 21

การเกิดกลิ่นหืนนั้นอาจเป็นผลมาจากความร้อน หรือการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและแสง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มของปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงส่งผลให้วัดค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกสูงขึ้นได้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกเป็นดัชนีแสดงให้เห็นถึงระดับการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์โดยตรงที่มีสาเหตุมาจากสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำมัน (Kilcast and Subramaniam, 2000) ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Mansour and Khalil (2000) ที่ทดลองใช้สารสกัดจากเปลือกมันฝรั่งเติมลงในผลิตภัณฑ์เนื้อวัวบดอัดก้อน พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้โดยประสิทธิภาพจะดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้เพิ่มมากขึ้นและการศึกษาของ Shahid, et al. (2008) ที่ทำการทดลองเติมสารสกัดจากเปลือกทับทิมในน้ำมันดอกทานตะวันพบว่า ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกเริ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น และในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา พบว่าน้ำมันดอกทานตะวันที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกทับทิม 1,000 ppm มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับตัวอย่างน้ำมันดอกทานตะวันที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืน BHT

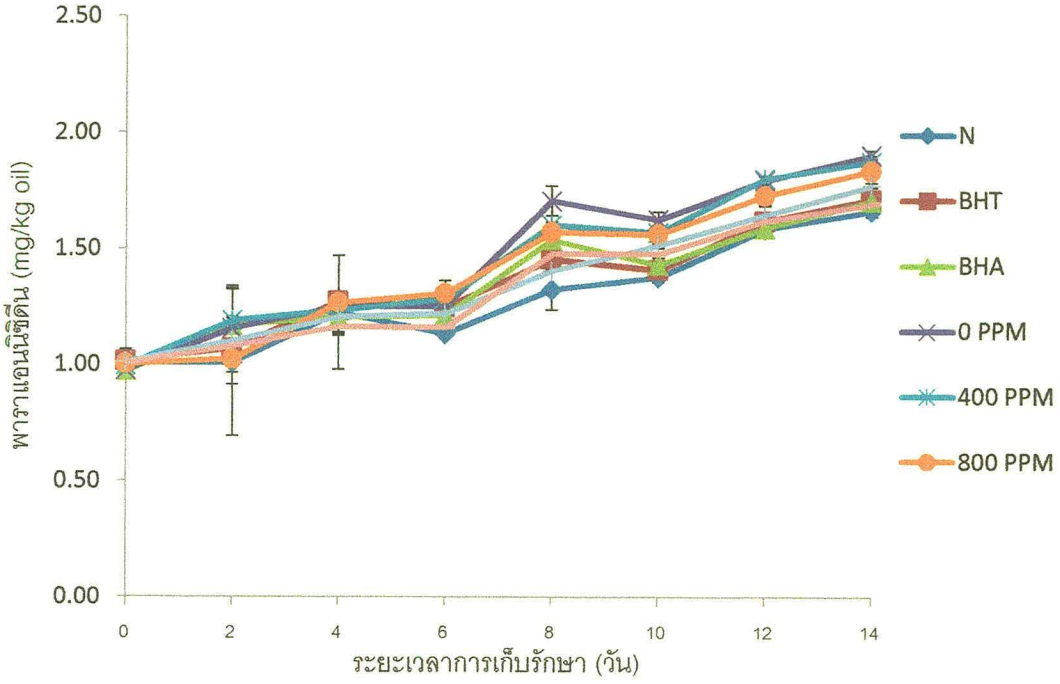


ภาพ 21 ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนแตกต่างกัน

3. **ค่าพาราแอนนิซิดีน** (*p* - Anisidine value)

ค่าพาราแอนนิซิดีนเป็นค่าที่วัดผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากไขมันไม่อิ่มตัว ส่วนใหญ่เป็น conjugated dienals และ 2-alkenals แอลดีไฮด์ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์เป็นผลให้กลิ่นรสในน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไป แอลดีไฮล์บางตัว (2-alkenal และ 2,4-dienals) ทำปฏิกิริยากับพาราแอนนิซิดีนให้สารที่มีสีเหลือง และความเข้มของสีเหลืองขึ้นอยู่กับปริมาณแอลดีไฮด์ (Werner, 1996)

จากการวิเคราะห์ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนชนิดต่างๆ พบว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุหืนมีผลทำให้ค่าพาราแอนนิซิดีนแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างนานขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าพาราแอนนิซีดีนสูงขึ้นในทุกๆตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลือง โดยวันที่ 0 ถึง 4 ของการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนทั้งหมดให้ค่าพาราแอนนิซิดีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) วันที่ 8 ของการเก็บรักษา พบว่าค่าพาราแอนนิซิดีนเริ่มแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมก๊าซไนโตรเจน ให้ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริกต่ำสุดเท่ากับ 1.32±0.09 mg/kg oil และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 0 ppm ให้ค่าพาราแอนนิซีดีนสูงที่สุด เท่ากับ 1.70±0.06 mg/kg oil ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมก๊าซไนโตรเจน ให้ค่าพาราแอนนิซีดีนต่ำสุดเท่ากับ 1.66±0.03 mg/kg oil ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำมันที่เติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,600 ppm ($P>0.05$) และน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนให้ค่าพาราแอนนิซีดีนสูงที่สุดเท่ากับ 1.90±0.02 mg/kg oil ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 400 ppm ดังแสดงในภาพ 22 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการเป็นวัตถุกันหืนมากขึ้นด้วย ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฏฐินี ใจสะอาด (2546) ที่ทดลองใช้สารสกัดจากเปลือกมันฝรั่งเติมลงในน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้โดยประสิทธิภาพจะดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้เพิ่มมากขึ้น



ภาพ 22 ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนแตกต่างกัน

4. ค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

การวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันพืช ไขมันและน้ำมันทอดซ้ำ รวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระ เป็นต้นเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียอาหาร คือการเกิดกลิ่นผิดปกติที่เรียกว่า กลิ่นหืน (rancidity) และทำให้ค่าความเป็นกรด (acid value, AV) ของน้ำมันสูงขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2524)

จากการวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนชนิดต่างๆ พบว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุหืนมีผลทำให้ค่ากรดไขมันอิสระแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ในวันที่ 0 ถึง 10 ของการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าตัวอย่างน้ำมัน ถั่วเหลืองทั้งหมดให้ค่ากรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 0.05 ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 0 และ 400 ppm ให้ค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เท่ากับ ร้อยละ 0.11 และในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองทั้งหมดให้ค่ากรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 0.11 ดังแสดงในตาราง 4 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากการได้รับความชื้น หรือ แสง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้

จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอากาศ ซึ่งเกิดจากออกซิเจนในอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (เบญจมาภรณ์ พิมพา, ดวงแข กาญจนโสภา และ โสภณ บุญล้ำ, 2552) ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนชนิดต่างๆ ไม่ถูกรบกวนด้วยความชื้น หรือ แสง ที่เป็นปัจจัยในการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงทำให้ค่ากรดไขมันอิสระที่พบไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ตาราง 4 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนแตกต่างกัน

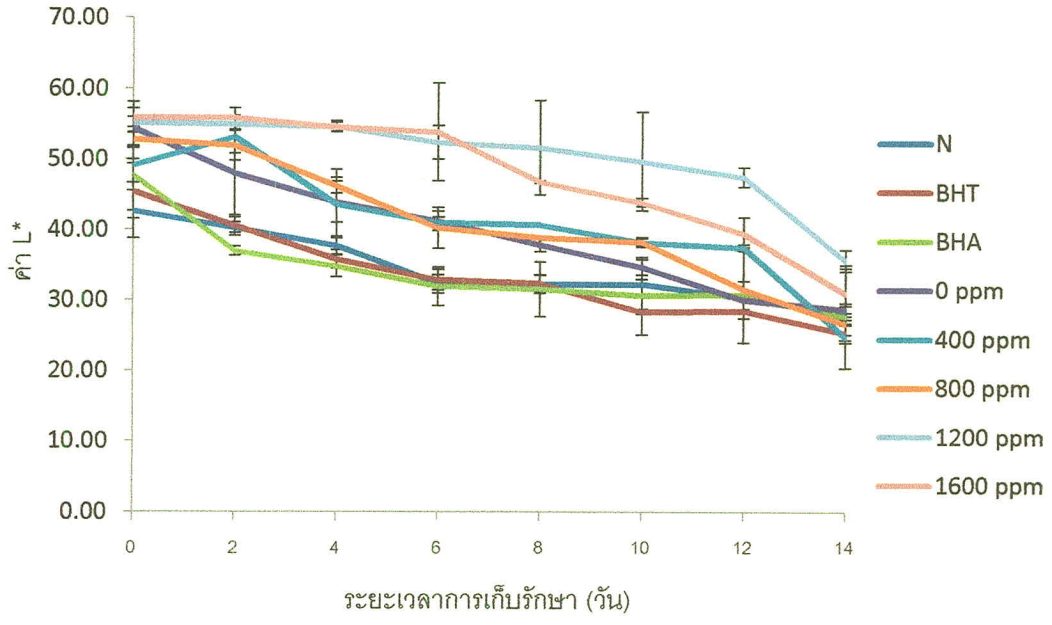
วัตถุกันหืน	กรดไขมันอิสระ(% Oleic acid)							
	ระยะเวลาการเก็บรักษา(วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
N	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.112a,B
BHT	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.112a,B
BHA	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.112a,B
0 PPM	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.112b,B	0.112a,B
400 PPM	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.112b,B	0.112a,B
800 PPM	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.112a,B
1200 PPM	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.112a,B
1600 PPM	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.056a,A	0.112a,B

หมายเหตุ: ตัวอักษร a b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

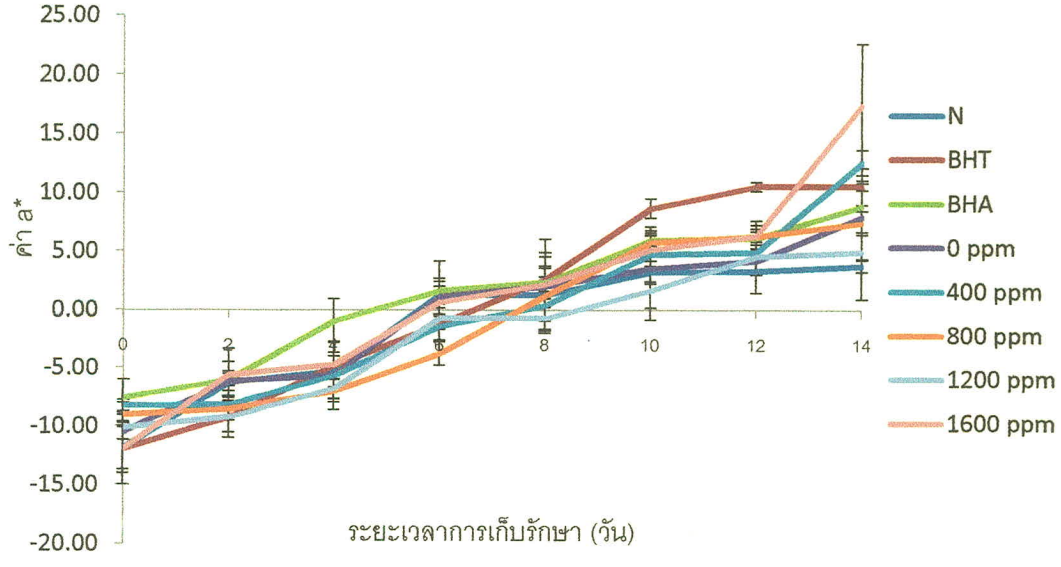
ตัวอักษร A B ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. **ค่าสี** (Color)

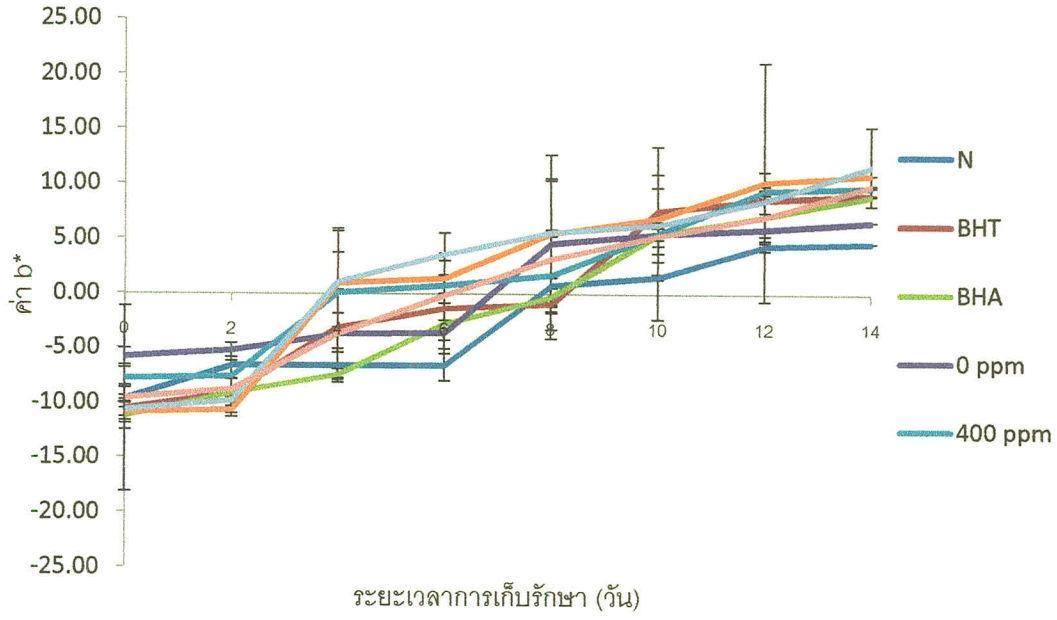
ค่า L* คือค่าความสว่าง ค่า a* คือค่าสีแดง ซึ่งค่า (+) แทนสีแดง (-) แทนค่าสีเขียว และค่า b* แทนค่าสีเหลือง ซึ่ง(+) แทนค่าสีเหลือง (-) แทนค่าสีน้ำเงิน (Simona et al ., 2014) จากการวิเคราะห์ค่า L* a * และ b* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนชนิดต่างๆ พบว่าตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุหืนมีผลทำให้ค่า L* a * และ b* ของน้ำมันถั่วเหลืองแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้ค่า L* ลดลงในทุกๆตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลือง ($P<0.05$) โดยในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา พบว่าค่า L* มีค่ามากสุดเท่ากับ 35.70 ในตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,200 ppm และมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 24.80 ในตัวอย่างอย่างมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 400 ppm ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมวัตถุกันหืนสังเคราะห์ BHT ดังแสดงในภาพที่ 23 ในขณะที่ค่า a* และ b* มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกๆตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลือง ($P<0.05$) โดยในวันที่14 ของการเก็บรักษา พบว่าค่า a* มากสุดเท่ากับ 17.33 ในตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,600 ppm และค่า a* น้อยสุดเท่ากับ 3.73 ในตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมก๊าซไนโตรเจน และค่า b* มีค่ามากสุดเท่ากับ 11.60 ในตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 1,200 ppm ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศ 800 ppmและค่า b* มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 4.60 ในตัวอย่างน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงในภาพที่ 24 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมัน ถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมสารสกัดจากเปลือกมันเทศในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลต่อค่าสีของน้ำมันถั่วเหลืองทำให้น้ำมันถั่วเหลืองมีสีเข้มขึ้น หรือเนื่องจากระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้น้ำมันถั่วเหลืองเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ส่งผลต่อค่าสีของน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งสอดคล้องกับกับงานวิจัยของ Simona, et al. (2014) พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำมันดอกทานตะวันนานขึ้นมีผลทำให้ค่าสีของน้ำมันเพิ่มมากขึ้น



ภาพ 23 ค่า L* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนแตกต่างกัน



ภาพ 24 ค่า a* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนแตกต่างกัน



ภาพ 23 ค่า b* ของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการเติมวัตถุกันหืนแตกต่างกัน