

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 สมบัติเบื้องต้นทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบ

จากการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการสกัดแบบบีบอัดมีค่าไอโอดีน ค่าสaponification และค่าเปอร์ออกไซด์ เป็น 51.64 191.27 และ 7.94 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการสกัดแบบใช้ไอน้ำมีค่าไอโอดีน ค่าสaponification และค่าเปอร์ออกไซด์ เป็น 52.42 202.88 และ 9.42 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้ค่าไอโอดีน ค่าสaponification และค่าเปอร์ออกไซด์ มีค่าเป็น 45-60 190-209 และ 10 ตามลำดับ แต่ค่าของกรดของน้ำมันปาล์มดิบทั้งแบบบีบอัดและแบบใช้ไอน้ำมีค่า 8.49 และ 7.74 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 4 มิลลิกรัมไปตีสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กรัม (ตารางที่ 7) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากผลของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเปลี่ยนกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระกับกลีเซอรอลโดยค่ากรดจะเพิ่มขึ้นเมื่อตัดทะลายปาล์มออกจากต้น โดยเฉพาะบริเวณส่วนเปลือกของผลปาล์มประมาณ 1-5 % ภายในระยะเวลาประมาณ 20 นาทีหลังจากตัดผลปาล์ม (ศักดิ์ศิลป์ โชติสกุล และคณะ, 2541)

ตารางที่ 7 สมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบจากการสกัดแบบเปียกและใช้น้ำ
Chemical properties of crude palm oil from dry and wet extraction process.

Chemical properties	Crude palm oil*		อ้างอิง มอก. 2521**
	Dry	Wet	
Iodine value, Wijs	51.64 ± 0.126	52.42 ± 0.118	45 – 60
Saponification value (mg KOH / 1 g oil)	191.27 ± 0.022	202.88 ± 0.014	190 – 209
Acid value (mg KOH / 1 g oil)	8.49 ± 0.003	7.74 ± 0.01	4
Peroxide value (mg equivalence /1 kg oil)	7.94 ± 0.05	9.42 ± 0.037	10

*All values are the means ± standard deviation of 3 determinations.

** Source : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม (2521)

ตอนที่ 2 ผลการแยกแคะโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยกระบวนการสaponนิฟิเคชัน

2.1 ความเข้มข้นและปริมาณของ Et.KOH รวมทั้งระยะเวลาที่เหมาะสมในการสaponนิไฟด์น้ำมันปาล์มดิบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการสaponนิไฟด์ที่สภาวะต่างๆ พบว่า การใช้ค่า Et.KOH ที่ 10 15 20 และ 25% ที่อัตราส่วนน้ำมันปาล์มดิบต่อค่าเป็น 1:1 1:2 และ 1:3 ใช้เวลาในการรีฟลักซ์ 1 2 และ 3 ชั่วโมง สามารถสaponนิไฟด์น้ำมันได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากไม่มีไตรกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์เหลืออยู่ แสดงว่าที่ทุกสภาวะการสaponนิฟิเคชันที่ศึกษาสามารถสaponนิไฟด์น้ำมันปาล์มดิบได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่ใช้ปริมาณ และความเข้มข้นของค่า Et.KOH น้อยที่สุดที่ศึกษามาใช้ในการสaponนิไฟด์น้ำมันปาล์มดิบเพื่อศึกษาใน

ขั้นตอนต่อไป นั่นคือ ใช้ค่า $\text{Et.KOH } 10\%$ อัตราส่วนค่า Et.KOH ต่อน้ำมันปาล์มดิบเป็น 1:1 ใช้เวลาในการรีฟลักซ์ 1 ชั่วโมง

2.2 ชนิดและอัตราส่วนตัวทำละลายที่เหมาะสมในขั้นตอนการแยกแคโรทีนอยด์หลังจากสaponification

ผลการศึกษาชนิดและอัตราส่วนตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด คือ เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และไดเอทิลอีเทอร์ ที่อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อตัวทำละลายต่างๆกัน (1:2 1:3 1:4 1:5 และ 1:6) ในการแยกแคโรทีนอยด์ภายหลังการสaponification น้ำมันปาล์มดิบตามข้อ 2.1 แสดงดังตารางที่ 8 พบว่า จากการเปรียบเทียบตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวนี้ ไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถแยกชั้นของสารสกัดแคโรทีนอยด์ได้ที่ทุกอัตราส่วนที่ศึกษา ในขณะที่การใช้เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ไม่ทำให้เกิดการแยกชั้นของสารสกัดแคโรทีนอยด์ในทุกอัตราส่วนที่ศึกษา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารส่วนที่ไม่ถูกสaponification ของน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ และสเตอรอล (Ritter and Purcell, 1981) โดยสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่แยกได้เป็นแคโรทีนอยด์รวมที่ไม่ได้ทำบริสุทธิ์แยกออกมาเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดใดชนิดหนึ่ง แคโรทีนอยด์ที่ได้จึงอาจประกอบด้วยแคโรทีนที่ไม่มีหัว และแซนโทฟิลล์ที่มีหัว ดังนั้นการใช้เฮกเซน และปิโตรเลียมอีเทอร์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีหัวในการแยกชั้นของสารสกัดส่วนที่ไม่ถูกสaponification จึงอาจไม่เหมาะสม อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการแทรกซึมผ่านมวลของชั้นน้ำ (hydrophilic) เพื่อแยกเอาแคโรทีนอยด์ออกมา ในขณะที่ไดเอทิลอีเทอร์ซึ่งมีความเป็นขั้วเล็กน้อยสามารถแยกชั้นของสารสกัดได้ Ritter และ Purcell (1981) กล่าวว่า ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนด์ เช่น เฮกเซน เฮปเทน (heptane) หรือไอโซออกเทน (isooctane) เป็นตัวทำละลายที่ไม่มีประสิทธิภาพสำหรับการสกัดแคโรทีนอยด์ ในขณะที่ Hendry และ Houghton (1996) กล่าวว่า ไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์ และนิยมใช้ไดเอทิลอีเทอร์กับสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด เพราะมีสมบัติไม่ค่อยทำปฏิกิริยาเคมี จึงเป็นตัวทำละลายนิยมใช้ในปฏิกิริยาเคมีมากมาย (เกษตรพะลัง, 2539) Manuel และ Isabel (1999) กล่าวว่า ไดเอทิลอีเทอร์เป็นตัวทำ

ละลายที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากแหล่งธรรมชาติมากที่สุดเมื่อสกัดด้วยวิธีสปอนนิฟิเคชัน

ตารางที่ 8 การแยกสารสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่างชนิดที่อัตราส่วนต่างๆกัน

Carotenoids separation with different kinds and ratio of organic solvents.

Solvents	Ratio of crude palm oil : solvents				
	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6
Hexane	-	-	-	-	-
Petroleum ether	-	-	-	-	-
Diethyl ether	+	+	+	+	+

“+” = separated ; “-” = not separated

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของตัวทำละลายในการแยกชั้นสารสกัดโดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจ คือ มีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณผลผลิตที่ได้สูงที่สุด จากตารางที่ 9 และ 10 พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำมันปาล์มดิบต่อไดเอทิลอีเทอร์เป็น 1:2 และ 1:3 ได้ค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าเมื่อใช้อัตราส่วน 1:4 1:5 และ 1:6 ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:3 มีปริมาณไดเอทิลอีเทอร์น้อยเกินไปจนไม่สามารถแยกชั้นของแคโรทีนอยด์ออกมาได้หมดจึงมีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำกว่า ในขณะที่อัตราส่วน 1:4 1:5 และ 1:6 มีค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อไดเอทิลอีเทอร์ที่ 1:4 ในการแยกสารสกัดแคโรทีนอยด์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

ตารางที่ 9 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเมื่อแยกด้วยไดเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กันที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

Absorption (OD₄₅₀) of extract at various ratio of diethyl ether.

Crude palm oil	Ratio of crude palm oil : solvents				
	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6
Dry process oil	0.354 ^c	0.426 ^b	0.558 ^a	0.557 ^a	0.554 ^a
Wet process oil	0.660 ^c	0.675 ^b	0.936 ^a	0.933 ^a	0.935 ^a

The different superscripts (a, b, c) in the same row denote the significant differences ($p < 0.05$).

All values obtain from dissolved pure sample in petroleum ether.

ตารางที่ 10 ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%) ของสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่แยกด้วยไดเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน

Yields (%) of carotenoids at various ratio of diethyl ether.

Crude palm oil	Ratio of crude palm oil : solvents				
	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6
Dry process oil	26.952 ^c	34.227 ^b	50.889 ^a	50.887 ^a	50.887 ^a
Wet process oil	24.330 ^c	30.110 ^b	50.248 ^a	50.245 ^a	50.244 ^a

The different superscripts (a, b, c) in the same row denote the significant differences ($p < 0.05$).

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาสมบัติบางประการ และความคงตัวของแคโรทีนอยด์

3.1 สมบัติบางประการ

3.1.1 การดูดกลืนแสงของแคโรทีนอยด์

เมื่อนำสารสกัดแคโรทีนอยด์จากตอนที่ 2 ละลายในตัวทำละลาย 6 ชนิด คือ เฮกเซน ปีโตรเลียมอีเทอร์ ไดเอทิลอีเทอร์ เอทานอล อะซิโตน และคลอโรฟอร์ม แล้วตรวจสอบค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ได้ผล

แสดงดังตารางที่ 11 พบว่า เมื่อละลายสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบทั้งสองชนิดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์จะได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 443 นาโนเมตรที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าเมื่อละลายในตัวทำละลายอื่นๆ โดยเมื่อละลายในไคเอทิลอีเทอร์ได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 444 นาโนเมตร ในเฮกเซนได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 443 นาโนเมตร ในเอทธานอลได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 445 นาโนเมตร ในคลอโรฟอร์มได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 456 นาโนเมตร และในอะซิโตน ได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 447 และ 448 นาโนเมตร จากตัวอย่างสารสกัดจากน้ำมันเบบิบอัดและแบบใช้ไอน้ำตามลำดับ ทั้งนี้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารสกัดแคโรทีนอยด์ในทุกตัวทำละลายที่ได้อยู่ในช่วงการดูดกลืนแสงของแคโรทีนอยด์ คือ 400-700 นาโนเมตร (Ritter and Purcell, 1981) และลักษณะการดูดกลืนแสงของสารสกัดมีค่าสูงสุด 3 ค่า เช่นเดียวกับลักษณะการดูดกลืนแสงของแคโรทีนอยด์ ซึ่งค่าความยาวคลื่นสูงสุดขึ้นกับชนิดของตัวทำละลาย โดยเมื่อละลายในอะซิโตนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเมื่อละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์ และเฮกเซน ประมาณ 4-5 นาโนเมตร และเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 10-13 นาโนเมตร เมื่อละลายในคลอโรฟอร์ม สอดคล้องกับรายงานของ (Hendry and Houghton, 1996) ที่กล่าวว่า ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของแคโรทีนอยด์ในอะซิโตนต่างจากในปิโตรเลียมอีเทอร์ และเฮกเซน 4 นาโนเมตร และในคลอโรฟอร์มจะต่างจากในปิโตรเลียมอีเทอร์ และเฮกเซน 10-12 นาโนเมตร

ตารางที่ 11 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารสกัดแคโรทีนอยด์ในตัวทำละลายต่างชนิด

Absorbance maxima of carotenoids extract in various solvents.

Carotenoids	Solvents	Wave length			Absorbance		
		(nm)					
from dry process oil	petroleum ether	416	443	469	0.122	0.174	0.161
	diethyl ether	420	444	468	0.105	0.151	0.131
	chloroform	429	456	482	0.117	0.145	0.094
	hexane	418	443	467	0.116	0.143	0.113
	acetone	421	447	472	0.089	0.116	0.099
	ethanol	417	445	471	0.086	0.114	0.097
from wet process oil	petroleum ether	417	443	467	0.135	0.183	0.152
	diethyl ether	417	444	469	0.104	0.166	0.135
	chloroform	429	456	481	0.117	0.149	0.102
	hexane	421	443	468	0.110	0.146	0.135
	acetone	421	448	472	0.127	0.158	0.138
	ethanol	420	445	468	0.119	0.155	0.136

3.1.2 ค่าสี

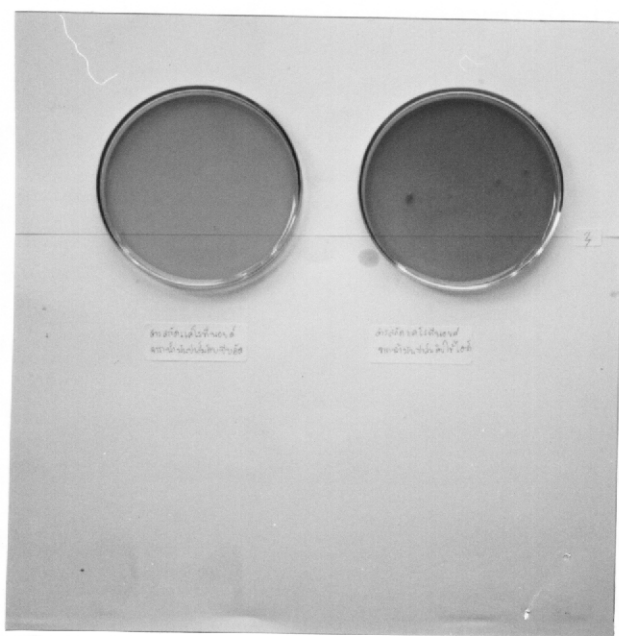
สีของสารสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 2 ชนิด มีสีส้มแดง (รูปที่ 9)

โดยเมื่อตรวจวัดค่าสีด้วย Hunter Lab แสดงผลดังตารางที่ 12 พบว่า สารสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัดมีค่าสีเหลือง (b) และค่าความสว่าง (L) สูงกว่าสารสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้ไอน้ำ ในขณะที่สารสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้ไอน้ำ มีค่าสีแดง (a) สูงกว่า

ตารางที่ 12 ค่าสีของสารสกัดแคโรทีนอยด์

Color value of carotenoids extract.

Carotenoids	Hunter		
	L	a	b
from dry process oil	38.75	40.11	25.81
from wet process oil	32.17	45.15	21.42



รูปที่ 9 แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้

Carotenoids extract.

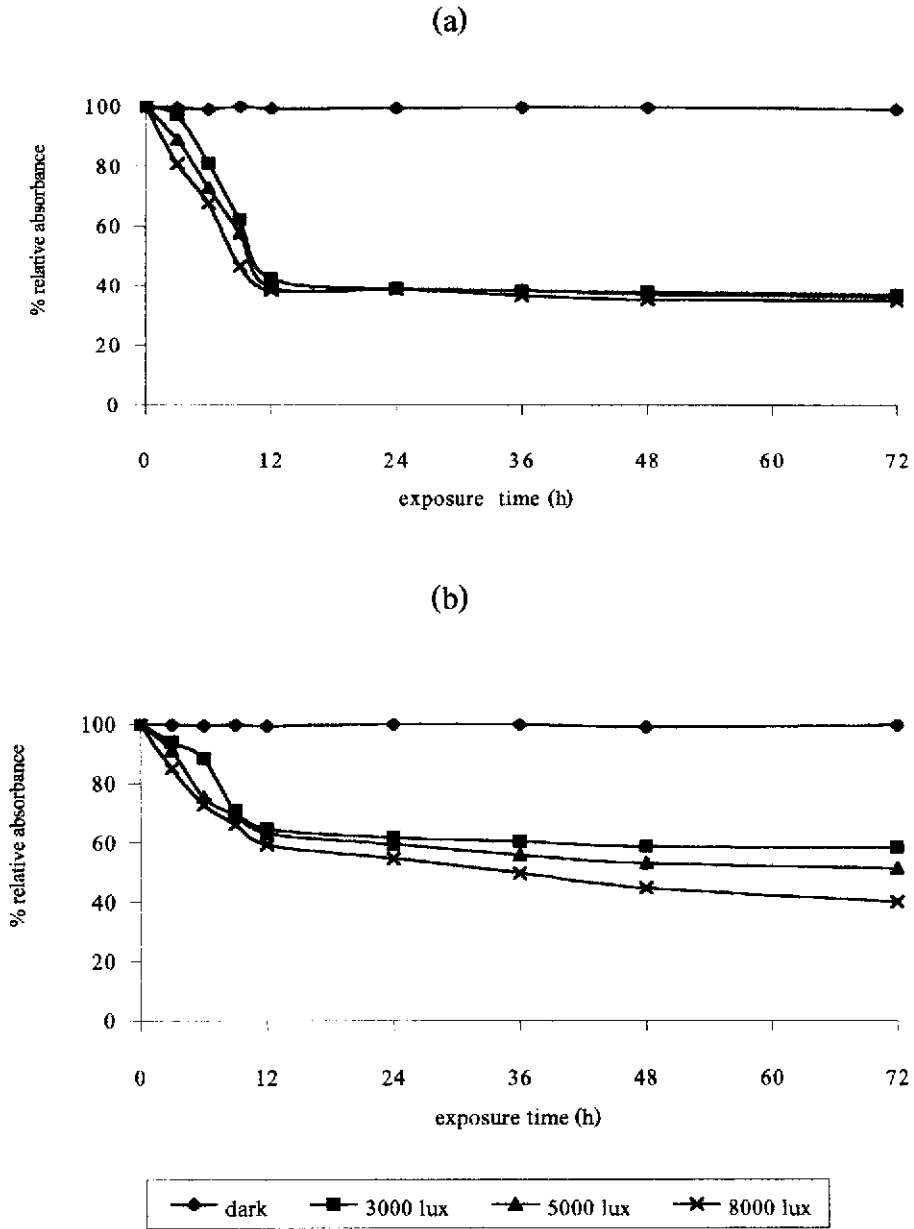
3.2 ความคงตัวของแคโรทีนอยด์

3.2.1 ความคงตัวต่อแสง

สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากตอนที่

2 มีความคงตัวแตกต่างกันภายใต้สภาวะของแสงที่ระดับต่างๆ 4 ระดับ (ที่มีด ที่แสง 3000 ลักซ์ 5000 ลักซ์ และ 8000 ลักซ์) ที่ระยะเวลาต่างๆกัน (0 3 6 9 12 24 36 48 และ 72 ชั่วโมง) โดยพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดรายงานในรูปเปอร์เซ็นต์การลดลง (รูปที่ 10) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะไร้แสง แต่ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเมื่อเก็บสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้แสง การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้ความเข้มแสง 3000 5000 และ 8000 ลักซ์ มีแนวโน้มการลดลงที่เหมือนกัน โดยที่ 8000 ลักซ์ มีอัตราการลดลงที่เร็วกว่า 5000 และ 3000 ลักซ์ ตามลำดับ ($p < 0.05$) โดยในช่วง 12 ชั่วโมงแรกจะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างรวดเร็วโดยสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัดมีค่าลดลงประมาณ 60% ของสารสกัดเริ่มต้น ในขณะที่สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้ไอน้ำมีค่าลดลงประมาณ 40% ของสารสกัดเริ่มต้น และหลังจากชั่วโมงที่ 12 การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทั้งนี้พบว่า ความเข้มแสงมีผลให้อุณหภูมิของสารสกัดแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่เกิดขึ้นอาจจะมีผลของความร้อนร่วมกับความเข้มแสงในการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Galvez และคณะ (1999) รายงานว่า ปัจจัยของแสงและความร้อนมีผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของแคโรทีนอยด์ เนื่องจากเกิดการออกซิไดซ์ของแคโรทีนอยด์มีผลให้สมบัติต่างๆเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ Schwartz และ Von (1996) รายงานว่า แคโรทีนอยด์เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยความร้อน กรด และแสง จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากไอโซเมอร์แบบทรานส์เป็นไอโซเมอร์แบบซิสส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงและค่าสีเปลี่ยนแปลงไป โดยค่าสีของสารสกัดแคโรทีนอยด์ (ตารางที่ 13) ในสภาวะไร้แสงจะมีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าเมื่อเก็บภายใต้แสง ซึ่งมีค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดง (a) ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยสารสกัดที่ 8000 ลักซ์ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้นเร็วกว่าที่ 5000 และ 3000 ลักซ์ ตามลำดับ แสดงว่าแสง

มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของแคโรทีนอยด์ การลดลงของค่าสีแดง (a) และการเพิ่มขึ้นของค่าเหลือง (b) ของสารสกัดภายใต้แสงอาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของไอโซเมอร์แบบทรานส์และเกิดเป็นไอโซเมอร์แบบซิสทำให้สีเปลี่ยนแปลงไป (Chen *et al.*, 1995) การเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เกิดขึ้นเมื่ออยู่ในรูป ΔE จะทำให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดภายใต้แสงได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ดังรูปที่ 11 ซึ่งเห็นได้ว่าสารสกัดภายใต้แสงมีการเปลี่ยนแปลงของสีมากกว่าในที่มืดมาก ผลของ ΔE นี้ช่วยยืนยันผลค่าสีข้างต้นได้ว่าแสงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของแคโรทีนอยด์ Chen และ Tang (1998) พบว่า ค่าสีของผงแคโรทีนอยด์จากแครอท เมื่อเก็บรักษาภายใต้แสงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยค่า ΔE มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเมื่อเก็บในที่มืด โดยมีสีซีดจางลง



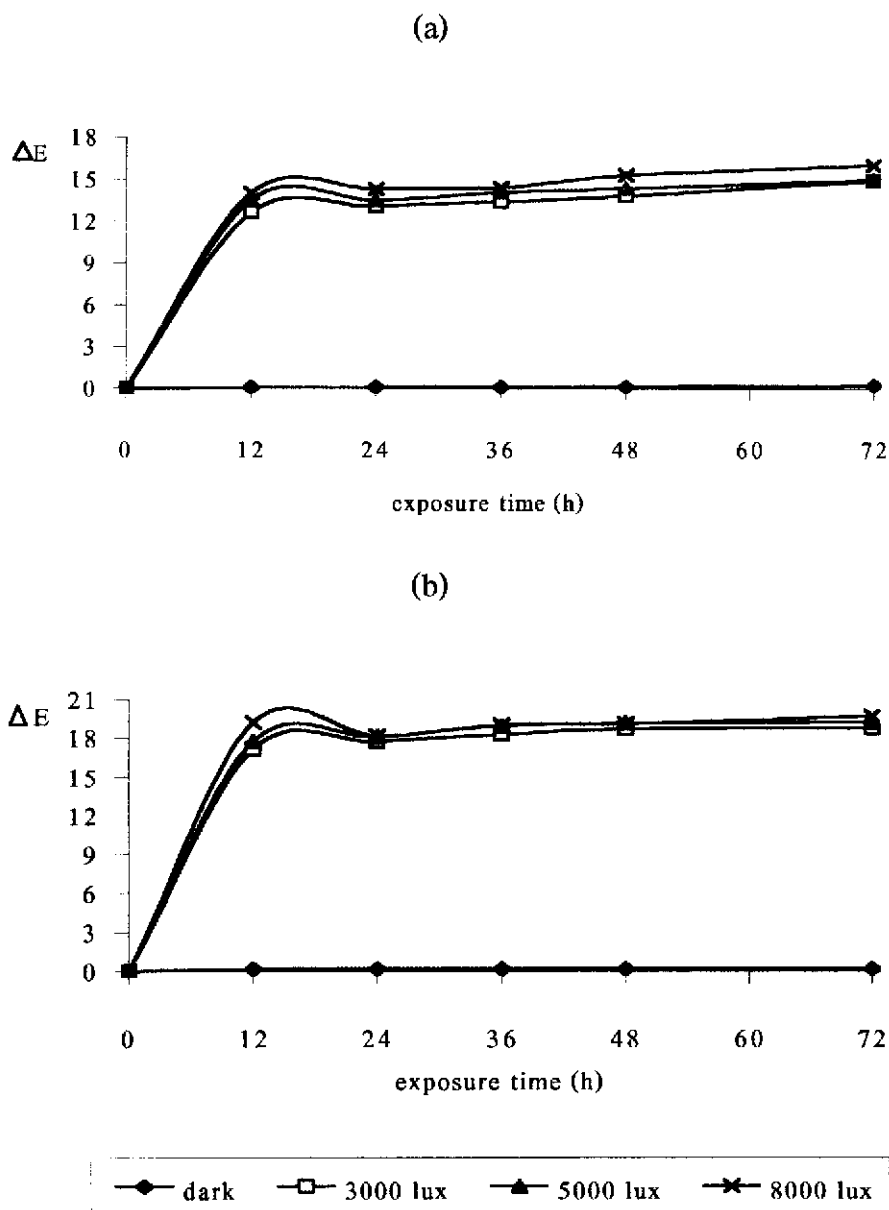
รูปที่ 10

การดูดกลืนแสง (%) ของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด (a) และแบบใช้ไอน้ำ (b) ภายใต้ความเข้มแสงต่างระดับ
 Relative absorbance (%) of carotenoids extract at different light intensity, (a) carotenoids from dry process oil ; (b) carotenoids from wet process oil.

ตารางที่ 13 ค่าสีของสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้ความเข้มแสงต่างระดับ ในรูปค่า L a และ b
Color of carotenoids at different light intensity in L, a and b value.

Exposure time (h)	Color value in various light intensity (lux)							
	Carotenoids from dry process oil				Carotenoids from wet process oil			
	Dark	3000	5000	8000	Dark	3000	5000	8000
Hunter L								
0	38.75 ^d	38.75 ⁱ	38.75 ^c	38.75 ⁱ	32.17 ^c	32.17 ^h	32.17 ^j	32.17 ^h
3	38.75 ^{AD}	39.28 ^{hC}	41.57 ^{hB}	43.22 ^{hA}	32.19 ^{bcD}	34.47 ^{bcC}	35.81 ^{hB}	39.24 ^{hA}
6	38.74 ^{dD}	42.11 ^{bcC}	44.60 ^{hB}	45.93 ^{hA}	32.17 ^{cdD}	39.19 ^{bcC}	40.53 ^{hB}	42.17 ^{hA}
9	38.77 ^{dD}	45.24 ^{bcC}	45.77 ^{hB}	46.07 ^{hA}	32.19 ^{bcD}	42.94 ^{bcC}	42.66 ^{hB}	43.02 ^{hA}
12	38.82 ^{cdD}	46.10 ^{bcC}	46.59 ^{hB}	46.87 ^{hA}	32.19 ^{bcD}	44.22 ^{bcC}	44.57 ^{hB}	44.75 ^{hA}
24	38.76 ^{dD}	46.36 ^{bcC}	46.47 ^{hB}	47.24 ^{hA}	32.22 ^{cdD}	44.46 ^{bcC}	44.75 ^{hB}	44.81 ^{hA}
36	38.85 ^{cdD}	46.75 ^{bcC}	47.01 ^{hB}	47.48 ^{hA}	32.20 ^{bcD}	44.50 ^{bcC}	44.99 ^{hA}	44.98 ^{hB}
48	38.89 ^{bdD}	47.02 ^{bcC}	47.34 ^{hB}	47.66 ^{hA}	32.17 ^{cdD}	44.87 ^{bcC}	45.07 ^{hB}	45.12 ^{hA}
72	39.00 ^{cdD}	47.36 ^{bcC}	48.10 ^{hA}	48.02 ^{hB}	32.20 ^{bcD}	45.10 ^{bcC}	45.24 ^{hB}	45.53 ^{hA}
Hunter a								
0	40.11 ^{ab}	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	45.15 ^b	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a
3	40.09 ^{bcdA}	38.54 ^{hB}	38.10 ^{hC}	36.22 ^{hD}	45.15 ^{hA}	42.97 ^{hB}	41.62 ^{hC}	39.75 ^{hD}
6	40.11 ^{abA}	35.28 ^{bcB}	34.76 ^{bcC}	33.07 ^{cdD}	45.18 ^{hA}	40.06 ^{bcB}	38.47 ^{bcC}	37.61 ^{cdD}
9	40.08 ^{bcdA}	33.36 ^{cdB}	32.54 ^{cdC}	31.14 ^{cdD}	45.07 ^{hA}	37.82 ^{cdB}	36.74 ^{cdC}	35.77 ^{cdD}
12	40.07 ^{cdA}	31.00 ^{cdB}	30.33 ^{cdC}	29.96 ^{cdD}	45.16 ^{hA}	35.87 ^{cdB}	35.45 ^{cdC}	35.05 ^{cdD}
24	40.04 ^{hA}	30.72 ^{hB}	30.21 ^{hC}	29.88 ^{hD}	45.12 ^{hA}	35.32 ^{hB}	35.19 ^{hC}	34.62 ^{hD}
36	40.13 ^{hA}	30.57 ^{hB}	29.98 ^{hC}	29.74 ^{hD}	45.05 ^{hA}	34.60 ^{hB}	34.21 ^{hC}	34.06 ^{hD}
48	40.10 ^{hbcA}	30.23 ^{hB}	29.85 ^{hC}	28.98 ^{hD}	45.04 ^{hA}	34.34 ^{hB}	34.07 ^{hC}	33.90 ^{hD}
72	40.06 ^{deA}	29.11 ^{icC}	29.74 ^{idD}	28.32 ^{idD}	45.05 ^{hA}	34.60 ^{hB}	34.12 ^{hC}	33.72 ^{hD}
Hunter b								
0	25.81 ^o	25.81 ^h	25.81 ⁱ	25.81 ⁱ	21.42 ^c	21.42 ^j	21.42 ^h	21.42 ⁱ
3	25.81 ^{hD}	27.66 ^{hC}	28.21 ^{hB}	28.47 ^{hA}	21.44 ^{cdD}	23.71 ^{hC}	24.15 ^{hB}	25.46 ^{hA}
6	25.85 ^{hD}	28.42 ^{hC}	29.85 ^{hB}	29.90 ^{hA}	21.44 ^{cdD}	26.39 ^{hC}	26.98 ^{hB}	27.63 ^{hA}
9	25.84 ^{hD}	29.28 ^{hC}	30.00 ^{hB}	30.61 ^{hA}	21.47 ^{cdD}	27.87 ^{hC}	28.26 ^{hB}	29.00 ^{hA}
12	25.87 ^{hD}	30.65 ^{hC}	30.96 ^{hB}	31.12 ^{hA}	21.51 ^{bcD}	29.42 ^{hC}	29.68 ^{hB}	29.78 ^{hA}
24	25.92 ^{hC}	30.87 ^{hB}	30.87 ^{hB}	31.22 ^{hA}	21.53 ^{bcD}	29.60 ^{hC}	29.81 ^{hB}	29.84 ^{hA}
36	25.90 ^{hC}	30.91 ^{hB}	31.09 ^{hA}	30.87 ^{hB}	21.50 ^{bcC}	29.87 ^{hB}	30.13 ^{hA}	30.12 ^{hA}
48	25.85 ^{hD}	31.04 ^{hC}	31.22 ^{hB}	31.57 ^{hA}	21.55 ^{cdD}	30.00 ^{hB}	30.34 ^{hA}	29.96 ^{hC}
72	25.88 ^{hD}	31.23 ^{hC}	31.43 ^{hB}	31.71 ^{hA}	21.50 ^{cdD}	30.15 ^{hC}	30.30 ^{hB}	30.47 ^{hA}

The different superscripts (a, b, c, d, e, f, g, h, i) in the same column under the same Hunter parameter and different superscripts (A, B, C, D) in the same row denote the significant differences ($p < 0.05$).



รูปที่ 11

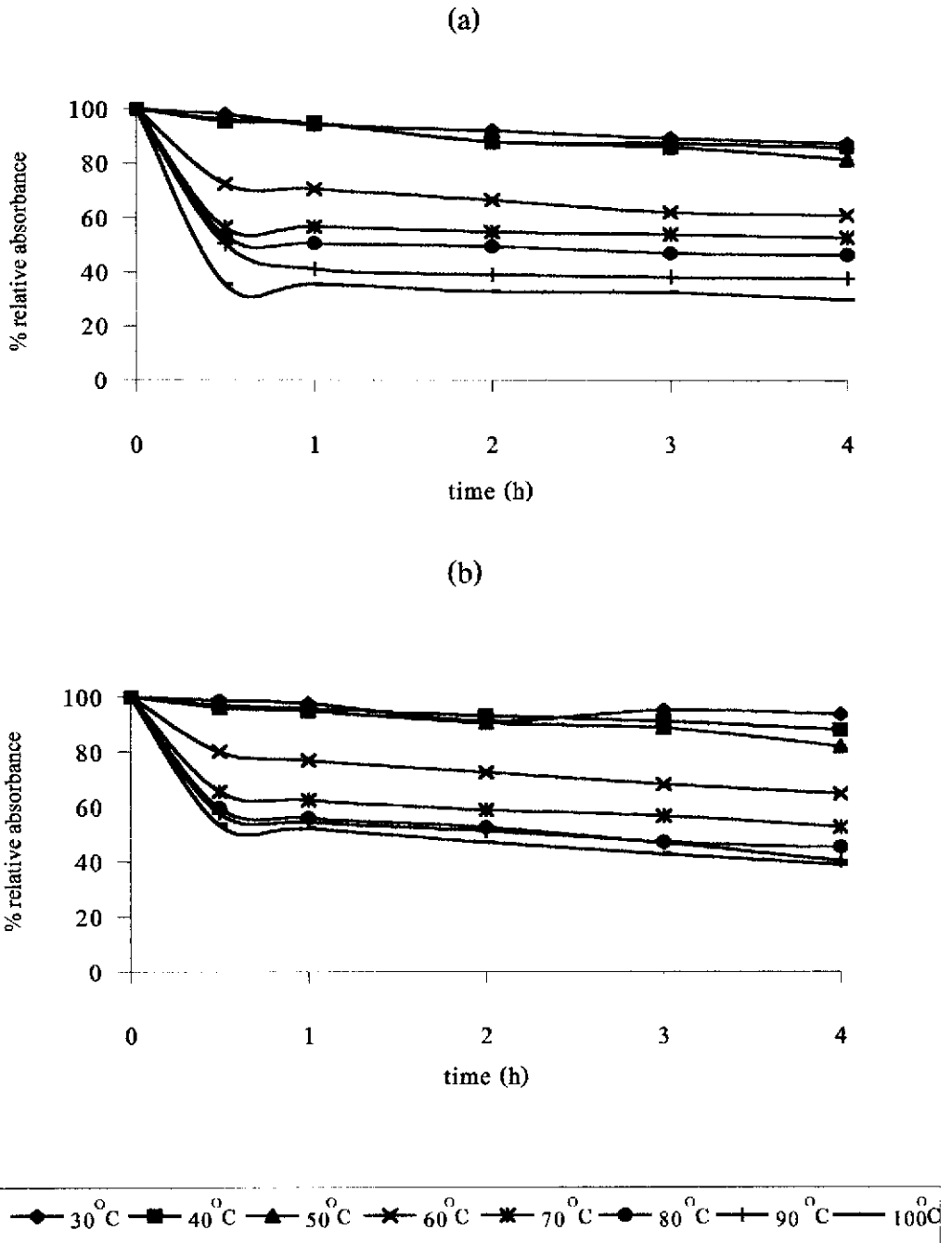
การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมในรูป ΔE ของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด (a) และแบบใช้ไอน้ำ (b) ภายใต้ความเข้มแสงต่างระดับ

Change of carotenoids color in ΔE value at different light intensity, (a) carotenoids from dry process oil ; (b) carotenoids from wet process oil.

3.2.2 ความคงตัวต่อความร้อน

ผลการศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 2 ชนิด พบว่า การดูดกลืนแสงของสารสกัดซึ่งรายงานในรูปแบบเปอร์เซ็นต์การลดลง (รูปที่ 12) มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยแบ่งความแตกต่างออกได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50°C ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นน้อยกว่า กลุ่มที่ 2 คือ สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 และ 100°C ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของสารสกัดแคโรทีนอยด์ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะที่เวลาครึ่งชั่วโมงแรกของการให้ความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงของสารสกัดแคโรทีนอยด์สูงกว่าที่เริ่มต้นมาก ($p < 0.05$)

ค่าสีของสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้อุณหภูมิต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดง (a) มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยที่ 30 40 และ 50°C มีอัตราการลดลงน้อยกว่าที่ 60 70 80 90 และ 100°C ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 14 และเมื่อดูการเปลี่ยนแปลงโดยรวมด้วยค่า ΔE ดังรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีของสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ 30 40 และ 50°C แตกต่างจากที่ 60 70 80 90 และ 100°C อย่างชัดเจน สอดคล้องกับผลที่ได้ข้างต้น จึงอาจสรุปได้ว่า สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้สามารถทนความร้อนได้ถึง 50°C ทั้งนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Kearsley และ Rodriguez (1981) ซึ่งกล่าวว่าแคโรทีนอยด์มีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำจนถึง 50°C เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวนี้จะชะลอการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ได้



รูปที่ 12 การลดลงแสง (%) ของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด (a) และแบบใช้ไอน้ำ (b) ที่อุณหภูมิต่างๆกัน

Relative absorbance (%) of carotenoids extract at different temperature, (a) carotenoids from dry process oil ; (b) carotenoids from wet process oil.

ตารางที่ 14 ค่าสีของสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้อุณหภูมิต่างระดับ ในรูปของค่า L a และ b

Color of carotenoids with different temperature in L, a and b value.

Time (h)	Color at various temperature (°C)							
	Carotenoids from dry process oil							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Hunter L								
0	38.75 ^f	38.75 ^f	38.75 ^f	38.75 ^f	38.75 ^f	38.75 ^f	38.75 ^e	38.75 ^f
0.5	40.26 ^{c,H}	40.71 ^{e,G}	41.12 ^{e,F}	47.06 ^{e,E}	47.18 ^{e,D}	49.02 ^{e,C}	51.52 ^{d,B}	54.59 ^{c,A}
1	40.31 ^{d,H}	40.94 ^{d,G}	41.38 ^{d,F}	47.46 ^{d,E}	48.46 ^{d,D}	49.61 ^{d,C}	51.98 ^{a,B}	56.84 ^{b,A}
2	40.63 ^{c,H}	41.1 ^{c,G}	41.74 ^{c,F}	47.99 ^{c,E}	48.68 ^{c,D}	49.74 ^{c,C}	51.54 ^{d,B}	56.21 ^{d,A}
3	40.97 ^{b,H}	41.45 ^{b,G}	42.06 ^{b,F}	48.60 ^{b,E}	49.34 ^{b,D}	50.38 ^{b,C}	51.83 ^{e,B}	56.40 ^{c,A}
4	41.35 ^{a,H}	41.77 ^{a,G}	42.22 ^{a,F}	49.71 ^{a,E}	49.9 ^{a,D}	51.85 ^{a,C}	51.93 ^{b,B}	57.57 ^{a,A}
Hunter a								
0	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a
0.5	33.71 ^{b,A}	33.42 ^{b,B}	32.80 ^{b,C}	28.33 ^{e,E}	28.81 ^{b,D}	26.41 ^{f,F}	25.71 ^{c,G}	24.29 ^{b,H}
1	33.32 ^{d,A}	32.87 ^{c,B}	32.45 ^{e,C}	28.17 ^{f,E}	28.21 ^{d,D}	27.06 ^{e,F}	24.10 ^{e,G}	23.85 ^{e,H}
2	33.37 ^{c,A}	32.40 ^{d,B}	32.17 ^{d,C}	29.16 ^{c,D}	28.17 ^{e,F}	28.41 ^{b,E}	23.54 ^{f,G}	23.39 ^{f,H}
3	32.79 ^{e,A}	32.14 ^{e,B}	31.90 ^{e,C}	28.74 ^{d,D}	27.54 ^{f,E}	27.21 ^{c,F}	26.37 ^{b,G}	23.53 ^{e,H}
4	32.38 ^{f,A}	31.83 ^{f,B}	31.57 ^{f,C}	29.88 ^{b,D}	28.42 ^{c,E}	27.09 ^{d,F}	25.24 ^{d,G}	23.71 ^{d,H}
Hunter b								
0	25.81 ^f	25.81 ^f	25.81 ^f	25.81 ^e	25.81 ^f	25.81 ^f	25.81 ^f	25.81 ^f
0.5	27.87 ^{d,H}	27.98 ^{e,G}	28.57 ^{e,F}	31.45 ^{d,E}	32.07 ^{e,D}	32.61 ^{b,C}	34.26 ^{d,B}	37.43 ^{c,A}
1	27.11 ^{e,H}	28.21 ^{d,G}	28.83 ^{d,F}	32.81 ^{a,C}	32.39 ^{a,D}	32.32 ^{e,E}	34.54 ^{a,B}	38.81 ^{c,A}
2	28.91 ^{a,H}	29.29 ^{c,G}	29.58 ^{e,F}	31.96 ^{b,E}	32.24 ^{b,D}	32.43 ^{d,C}	33.59 ^{e,B}	38.02 ^{d,A}
3	28.57 ^{b,H}	29.73 ^{b,G}	30.17 ^{b,F}	31.71 ^{c,E}	32.16 ^{d,D}	32.82 ^{a,C}	34.44 ^{c,B}	39.19 ^{b,A}
4	28.05 ^{c,G}	30.61 ^{a,F}	30.74 ^{a,F}	31.96 ^{b,E}	32.21 ^{c,D}	32.48 ^{c,C}	34.51 ^{b,B}	39.63 ^{a,A}

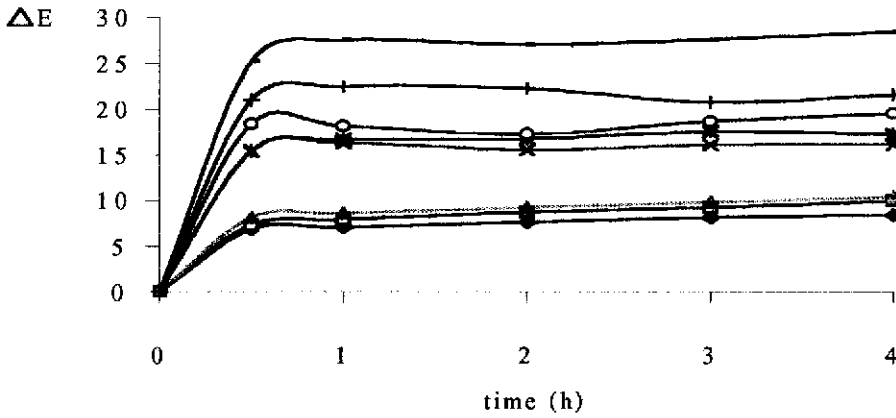
The different superscripts (a, b, c, d, e, f) in the same column under the same Hunter parameter and different superscripts (A, B, C, D, E, F, G, H) in the same row denote the significant differences ($p < 0.05$).

ตารางที่ 14 ค่าสีของสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้อุณหภูมิต่างระดับ ในรูปของค่า L a และ b
Color of carotenoids with different temperature in L, a and b value.

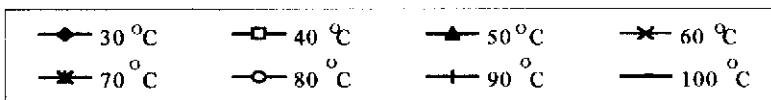
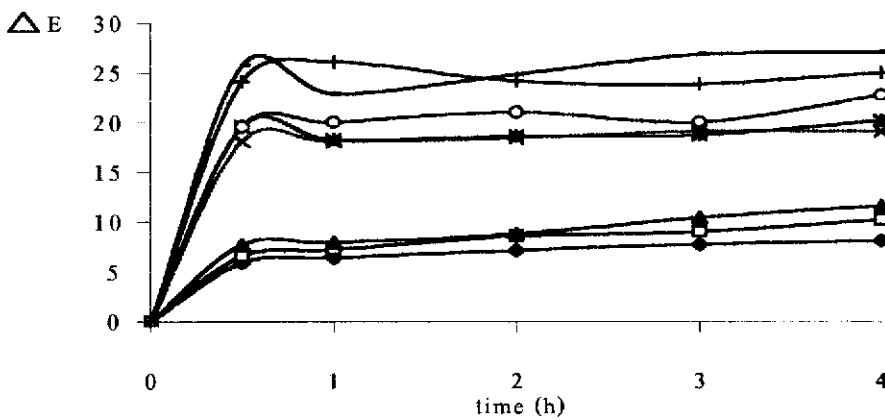
Time (h)	Color at various temperature (°C)							
	Carotenoids from wet process oil							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Hunter L								
0	32.17 ^c	32.17 ^f	32.17 ^f	32.17 ^f	32.17 ^e	32.17 ^f	32.17 ^f	32.17 ^f
0.5	35.62 ^{d,H}	36.24 ^{e,G}	36.87 ^{e,F}	44.18 ^{c,E}	44.41 ^{d,D}	45.06 ^{d,C}	46.55 ^{e,B}	49.02 ^{c,A}
1	35.75 ^{c,H}	36.82 ^{d,G}	37.06 ^{d,F}	44.50 ^{d,E}	44.86 ^{e,D}	45.62 ^{c,C}	46.97 ^{d,B}	49.25 ^{d,A}
2	36.70 ^{a,H}	37.79 ^{b,G}	37.82 ^{c,F}	44.79 ^{c,E}	44.89 ^{c,D}	45.00 ^{c,C}	48.21 ^{c,B}	50.37 ^{b,A}
3	36.52 ^{b,H}	37.51 ^{e,G}	38.26 ^{b,F}	44.92 ^{b,E}	45.48 ^{b,D}	45.82 ^{b,C}	48.97 ^{b,B}	50.26 ^{c,A}
4	36.71 ^{a,H}	38.82 ^{a,G}	39.29 ^{a,F}	45.20 ^{a,E}	45.74 ^{a,D}	46.63 ^{a,C}	50.34 ^{a,B}	51.7 ^{a,A}
Hunter a								
0	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a
0.5	41.17 ^{b,A}	41.05 ^{b,B}	40.89 ^{b,C}	34.43 ^{d,D}	32.47 ^{f,F}	32.72 ^{e,E}	29.31 ^{e,G}	29.23 ^{c,H}
1	41.01 ^{c,A}	40.81 ^{e,B}	40.50 ^{c,C}	34.92 ^{b,D}	34.91 ^{e,D}	32.68 ^{d,F}	27.28 ^{f,G}	33.05 ^{b,E}
2	41.00 ^{c,A}	40.31 ^{d,B}	39.85 ^{d,C}	34.61 ^{c,D}	34.56 ^{d,E}	30.38 ^{c,H}	30.58 ^{d,G}	31.53 ^{e,F}
3	40.65 ^{d,A}	40.08 ^{e,B}	39.04 ^{e,C}	33.88 ^{e,E}	35.19 ^{b,D}	33.10 ^{b,F}	31.38 ^{b,G}	28.18 ^{f,H}
4	40.17 ^{e,A}	39.63 ^{f,B}	38.48 ^{f,C}	34.42 ^{d,D}	33.90 ^{e,E}	29.94 ^{f,H}	30.97 ^{c,F}	30.69 ^{d,G}
Hunter b								
0	21.42 ^f	21.42 ^f	21.42 ^f	21.42 ^e	21.42 ^e	21.42 ^f	21.42 ^e	21.42 ^f
0.5	24.12 ^{c,H}	24.58 ^{e,G}	25.84 ^{d,F}	29.72 ^{d,D}	30.00 ^{c,C}	29.35 ^{d,E}	32.59 ^{b,B}	32.62 ^{b,A}
1	24.76 ^{d,H}	24.88 ^{d,G}	25.64 ^{e,F}	29.79 ^{e,C}	29.72 ^{d,D}	29.52 ^{c,E}	33.47 ^{a,A}	30.8 ^{e,B}
2	25.11 ^{c,H}	25.72 ^{c,G}	26.43 ^{e,F}	29.77 ^{c,D}	29.96 ^{c,C}	29.20 ^{e,E}	32.09 ^{c,A}	31.54 ^{d,B}
3	25.97 ^{b,G}	26.62 ^{b,F}	27.25 ^{b,E}	30.13 ^{b,C}	30.11 ^{b,C}	29.83 ^{b,D}	31.28 ^{d,B}	31.75 ^{c,A}
4	26.07 ^{a,F}	26.84 ^{a,E}	27.65 ^{a,D}	30.37 ^{a,C}	31.27 ^{a,B}	30.35 ^{a,C}	31.25 ^{d,B}	33.44 ^{a,A}

The different superscripts (a, b, c, d, e, f) in the same column under the same Hunter parameter and different superscripts (A, B, C, D, E, F, G, H) in the same row denote the significant differences ($p < 0.05$).

(a)



(b)



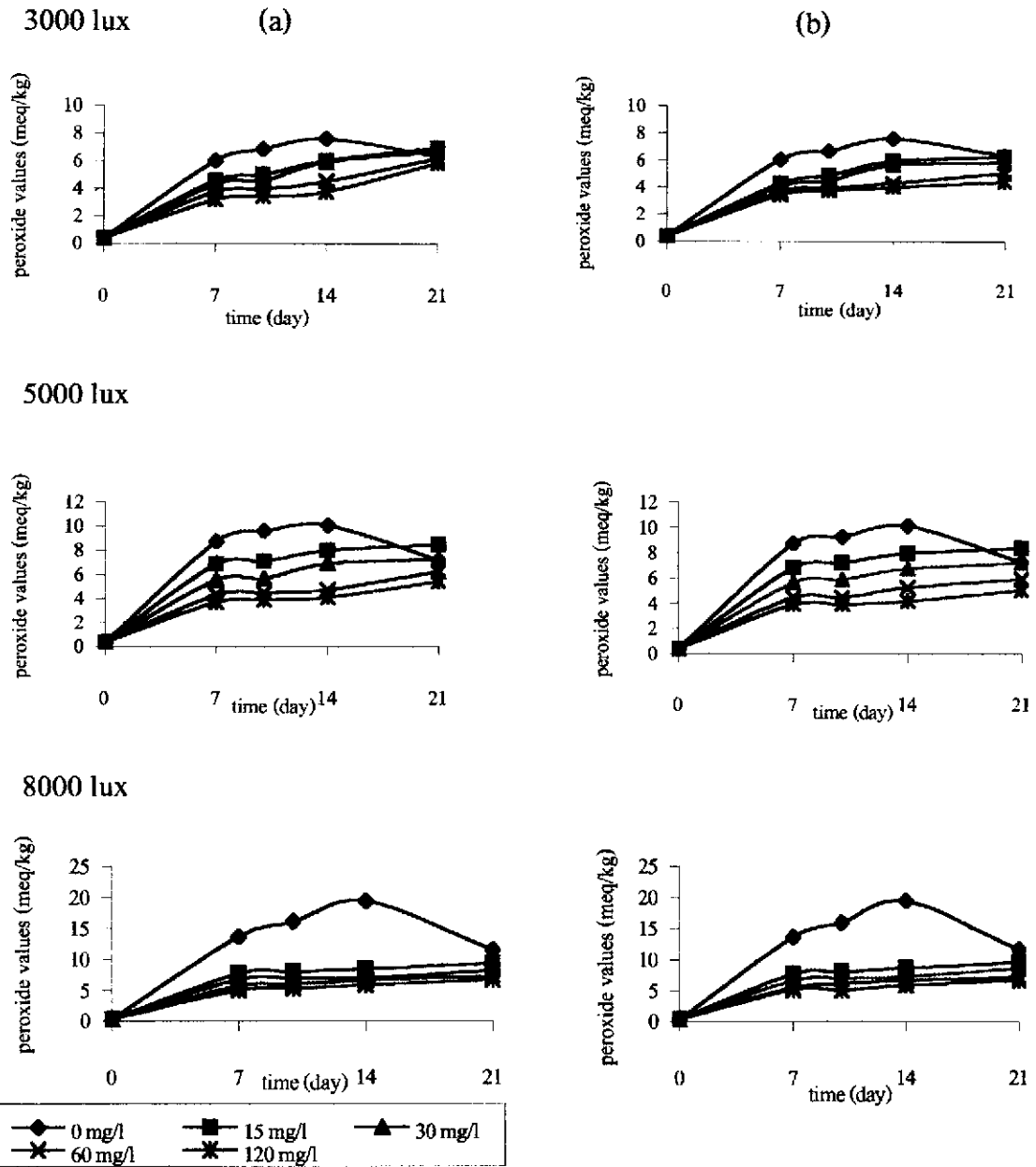
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมในรูป ΔE ของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด (a) และแบบใช้ไอน้ำ (b) ภายใต้อุณหภูมิต่างระดับ

Change of carotenoids color in ΔE value with different temperature.

(a) carotenoids from dry process oil ; (b) carotenoids from wet process oil.

ตอนที่ 4 ผลของการศึกษาความสามารถของแคโรทีนอยด์ที่แยกได้ในการต้านการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

เมื่อเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ลงในน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน (0 15 30 60 และ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร) ภายใต้ปัจจัยที่ศึกษาต่างๆกัน (แสงและความร้อน) พบว่า การเก็บภายใต้ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ 8000 ลักซ์ เกิดเปอร์ออกไซด์มากกว่าที่ 5000 และ 3000 ลักซ์ ตามลำดับ ทั้งนี้การเก็บภายใต้แสง พบว่ามีความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้นการเกิดเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจึงอาจมีผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นร่วมด้วย น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ความเข้มข้น 120 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นช้ากว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดที่ความเข้มข้นต่ำกว่า คือ 60 30 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 14) ส่วนน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ไม่เติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ (0 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์สูงที่สุดในช่วง 14 วันแรก หลังจากนั้นอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์ลดลง ซึ่งการลดลงของเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้ไม่พบในตัวอย่างน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา 21 วัน ทั้งนี้ Goulson และ Warthesen (1999) กล่าวว่า อัตราการลดลงของเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันบริสุทธิ์ที่เก็บภายใต้แสงเป็นการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะเกิดจนมีอัตราเท่ากับ หรือมากกว่าอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์ โดยแคโรทีนอยด์ช่วยจำกัดอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์ในน้ำมัน Fakourelis และคณะ (1997) กล่าวว่า การเติมแคโรทีนอยด์สามารถลดการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันบริสุทธิ์ได้ เนื่องจากสมบัติการเป็นแอนติออกซิแดนท์ แต่ผลจากปัจจัยของแสงไม่ได้เกิดจากเหตุผลนี้ เพราะในน้ำมันบริสุทธิ์ไม่มีตัวกระตุ้น เช่น คลอโรฟิลล์ ที่จะก่อให้เกิด singlet oxygen แต่เกิดจากการที่แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 400-500 นาโนเมตร จึงทำให้พลังงานของแสงที่ตกกระทบตัวอย่างลดลงถึง 21% ของพลังงานทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดแสง การเกิดออกซิเดชันของน้ำมันที่เติมสารสกัดแคโรทีนอยด์จึงมีค่าน้อยกว่าน้ำมันที่ไม่เติมสารสกัดแคโรทีนอยด์



รูปที่ 14 การเกิดเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เมื่อเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ ที่ความเข้มข้นต่างๆภายใต้ความเข้มแสงต่างระดับ (a) คือ เติมน้ำมันสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด (b) คือ เติมน้ำมันสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้ไอน้ำ

Peroxide of refined palm with various concentration of carotenoids extract in different light intensity. (a) added crotenoids extract from dry process oil. (b) added crotenoids extract from wet process oil.

ผลการศึกษายาไ้ความร้อนที่ระดับต่างๆ (30 40 50 60 70 80 90 และ 100 °C) ดังตารางที่ 15 พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ไม่เติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ มีอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์สูงกว่าตัวอย่างที่เติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ ซึ่งการเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ความเข้มข้นสูง (120 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีอัตราการเกิดเปอร์ออกไซด์ช้ากว่าที่ความเข้มข้นต่ำกว่า นั่นคือ 60 30 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับในระหว่างเวลาที่ศึกษา 5 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากที่ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณสารสกัดแคโรทีนอยด์มากกว่าที่ความเข้มข้นต่ำจึงสามารถป้องกันน้ำมันที่ไม่อิมตัวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและยุดิโซของปฏิกิริยาได้ ทั้งนี้เนื่องจากแคโรทีนอยด์มีสมบัติในการเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน โดยสามารถจับกับ singlet oxygen ซึ่งเป็นออกซิเจนที่มีพลังงานสูง จึงช่วยยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระในน้ำมันที่ไม่อิมตัวได้ (Goulson and Warthesen, 1999) ในขณะที่น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เติมสารสกัดที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูงกว่า เพราะการสูญเสียแคโรทีนอยด์ในระหว่างการศึกษาไ้ความร้อนทำให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงไปตามสัดส่วนจนมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะป้องกันการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันได้ (Goulson and Warthesen, 1999) ทั้งนี้การเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ทุกความเข้มข้นที่ศึกษาไม่ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไ้ได้สภาวะของแสง และความร้อนมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ คือ 10 มิลลิกรัมสมมูล ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม ดังนั้นการเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็เพียงพอในการต้านการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

ตารางที่ 15 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมื่อเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ความเข้มข้น
ต่างๆภายใต้อุณหภูมิต่างระดับ

Peroxide value of purified palm oil with various carotenoids extract
concentration under different temperature.

Temp. (°C)	Time (h)	Peroxide value (meq/kg oil)								
		Purified oil	Carotenoids from dry process oil (mg/l)				Carotenoids from wet process oil (mg/l)			
			15	30	60	120	15	30	60	120
30	0	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a
	0.5	3.682	3.536	3.511	3.452	2.694	3.553	3.481	3.364	2.59
	1	3.696	3.641	3.592	3.617	2.993	3.676	3.500	3.480	2.764
	2	3.702	3.808	3.631	3.558	3.197	3.693	3.572	3.581	2.977
	3	4.715	4.473	3.949	3.622	3.331	3.886	3.707	3.663	3.115
	4	5.153	5.071	4.111	3.789	3.637	4.018	3.954	3.801	3.412
40	0	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a
	0.5	3.715	3.951	3.817	3.665	2.949	3.907	3.399	3.460	2.994
	1	4.475	4.407	5.692	5.076	5.473	4.139	4.183	3.752	3.563
	2	4.841	4.688	6.132	5.654	4.113	4.702	4.758	4.617	4.272
	3	5.252	5.395	6.319	5.221	4.331	5.300	5.343	5.500	4.917
	4	6.453	6.277	6.089	6.053	5.145	5.482	5.209	5.396	5.035
50	0	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a
	0.5	4.286	4.012	4.012	3.911	3.518	3.977	3.882	3.609	3.412
	1	4.478	4.219	4.127	4.062	3.961	4.210	4.107	3.924	3.711
	2	5.043	4.786	4.770	4.501	4.442	4.593	4.361	4.342	4.101
	3	5.475	5.211	4.963	4.903	4.732	5.061	5.013	4.877	4.624
	4	5.952	5.272	5.600	5.437	5.119	5.324	5.227	5.211	4.814

The same superscripts in the same row and column denote the non significant differences ($p > 0.05$).

ตารางที่ 15 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมื่อเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ความเข้มข้น
ต่างๆภายใต้อุณหภูมิต่างระดับ

Peroxide value of purified palm oil with various carotenoids extract
concentration under different temperature.

Temp. (°C)	Time (h)	Peroxide value (meq/kg oil)								
		Purified oil	Carotenoids from dry oil (mg/l)				Carotenoids from wet oil (mg/l)			
			15	30	60	120	15	30	60	120
60	0	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a
	0.5	5.057	4.776	4.221	3.92	4.265	4.243	4.764	3.599	3.214
	1	6.381	5.295	5.889	5.66	4.733	6.358	5.877	5.126	4.720
	2	7.342	8.728	7.617	7.854	6.075	6.684	6.435	5.84	5.434
	3	7.321	6.722	6.430	6.583	6.309	7.078	6.67	6.022	5.238
	4	7.903	6.664	6.665	5.796	5.710	7.299	6.294	6.060	5.786
70	0	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a
	0.5	6.062	5.872	5.661	5.472	4.994	5.622	5.302	5.111	4.876
	1	6.591	5.510	5.527	5.50	5.212	5.913	5.671	5.200	4.912
	2	7.032	5.900	5.710	5.695	5.486	5.877	5.624	5.390	5.124
	3	7.211	6.196	5.983	5.873	5.700	7.037	5.843	5.867	5.410
	4	6.959	6.286	6.082	5.987	6.030	7.423	6.186	5.799	5.507
80	0	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a
	0.5	7.225	6.946	6.709	6.101	6.041	6.150	6.163	5.038	6.132
	1	7.570	6.892	7.341	6.803	5.297	6.963	5.786	6.169	6.299
	2	8.393	7.379	7.843	7.243	5.537	7.127	6.273	6.346	6.003
	3	7.868	7.3547.	7.428	7.056	6.044	7.443	6.805	6.978	6.149
	4	7.953	227	7.743	7.837	7.551	8.28	7.449	6.571	6.265

The same superscripts in the same row and column denote the non significant differences ($p > 0.05$).

ตารางที่ 15 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเมื่อเติมสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ความเข้มข้น
ต่างๆภายใต้อุณหภูมิต่างระดับ

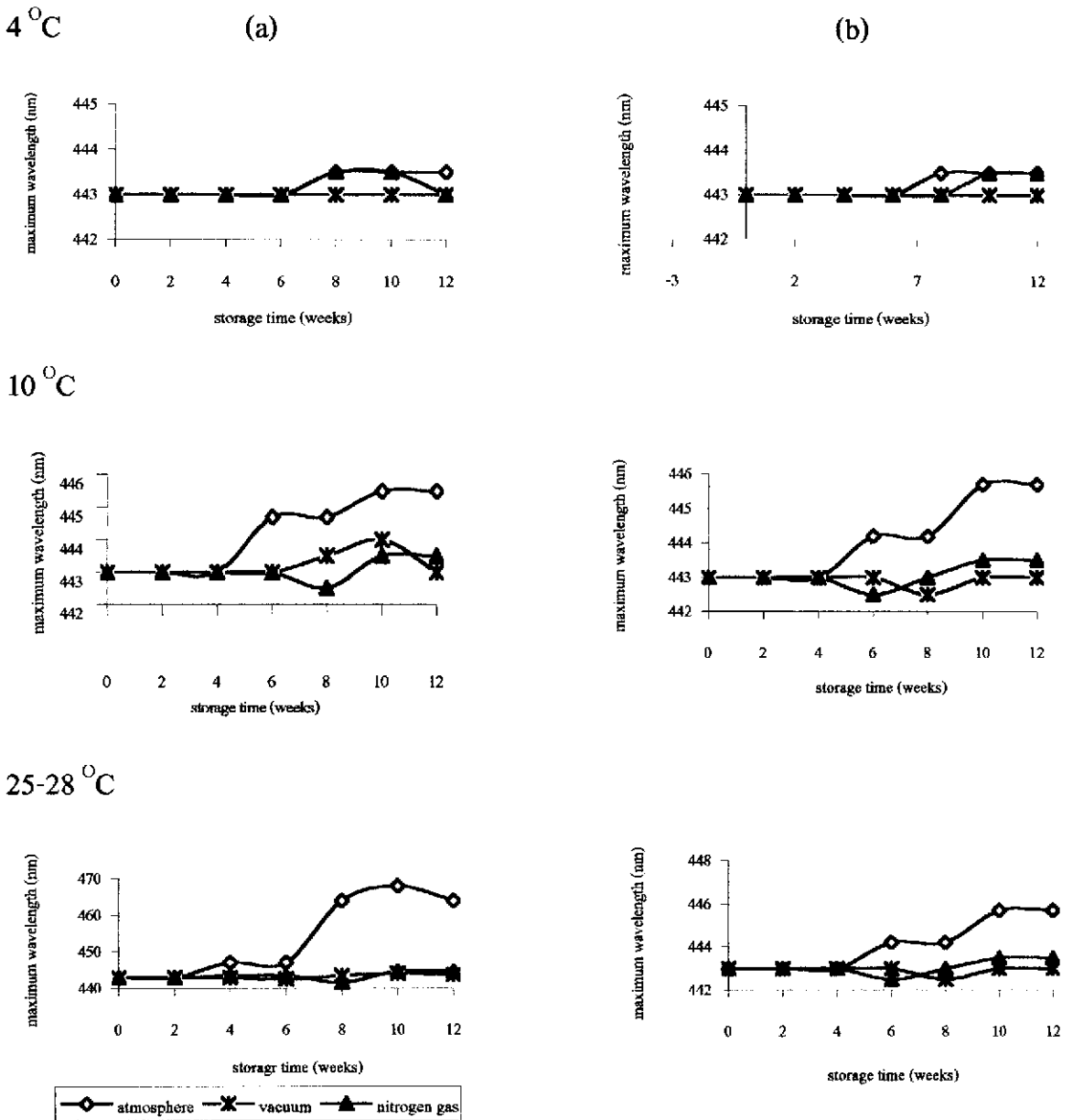
Peroxide value of purified palm oil with various carotenoids extract
concentration under different temperature.

temp. (°C)	time (h)	peroxide value (meq/kg oil)								
		purified oil	carotenoids from dry oil (mg/l)				carotenoids from wet oil (mg/l)			
			15	30	60	120	15	30	60	120
90	0	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a
	0.5	7.595	7.327	7.241	7.010	6.477	7.187	7.096	6.844	6.565
	1	7.893	7.467	7.138	7.116	6.753	7.432	7.210	7.038	6.920
	2	8.011	7.702	7.537	6.872	7.131	7.618	7.596	7.502	6.953
	3	8.372	6.972	7.104	6.957	6.991	8.061	7.963	7.710	7.583
	4	8.762	8.772	7.598	7.312	7.182	8.426	9.061	7.146	7.038
100	0	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a	0.386 ^a
	0.5	8.559	7.501	7.219	7.205	6.797	7.870	7.422	7.152	6.977
	1	8.252	8.237	7.707	7.409	7.667	8.350	7.964	7.479	6.768
	2	9.825	9.654	8.520	8.379	7.977	8.873	8.096	7.978	7.139
	3	9.765	8.513	8.968	8.308	8.252	9.176	8.397	8.126	7.902
	4	9.701	8.804	8.646	8.738	8.553	9.514	8.685	8.223	8.169

The same superscripts in the same row and column denote the non significant differences ($p>0.05$).

ตอนที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของแคโรทีนอยด์ในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการเก็บรักษาสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้การเก็บที่อุณหภูมิ (4, 10 และ 25-28°C) และสภาวะบรรยากาศที่แตกต่างกัน (บรรยากาศปกติ, สูญญากาศ และก๊าซไนโตรเจน) เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงผลดังรูปที่ 15 และตารางที่ 16 พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ที่ทุกสภาวะบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และมีค่าการดูดกลืนแสงน้อยกว่าตัวอย่างที่ 10°C และ 25-28°C ตามลำดับ โดยการเก็บรักษาสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้สภาวะสูญญากาศจะมีความคงตัวของค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และค่าการดูดกลืนแสงนานกว่าที่สภาวะของก๊าซไนโตรเจน และบรรยากาศปกติ ตามลำดับ ($p < 0.05$) การเปลี่ยนแปลงค่าสีของสารสกัดแคโรทีนอยด์ภายใต้การเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆแสดงดังตารางที่ 17 พบว่า สารสกัดแคโรทีนอยด์มีค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดง (a) มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีข้างต้นน้อยกว่าที่ 10 และ 25-28°C ตามลำดับ ($p < 0.05$) และการเก็บภายใต้สภาวะสูญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีของสารสกัดน้อยกว่าการเก็บภายใต้ก๊าซไนโตรเจน และบรรยากาศปกติ ตามลำดับ ($p < 0.05$) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนในรูปที่ 16 ทั้งนี้การเก็บรักษาแคโรทีนอยด์ที่อุณหภูมิต่ำ และการปิดผนึกแบบสูญญากาศส่งผลชะลอการเกิดออกซิเดชัน ทำให้แคโรทีนอยด์มีความคงตัวมากขึ้น (Kearsley and Rodriguez, 1981) โดยอุณหภูมิสูง และการเก็บภายใต้บรรยากาศปกติมีผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ได้ง่ายเนื่องจาก โมเลกุลของแคโรทีนอยด์มีพันธะคู่เป็นจำนวนมากจึงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศได้มากเป็นผลให้มีการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมทำให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งไวต่อปฏิกิริยาเคมีจึงเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ส่งผลให้แคโรทีนอยด์มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติและโครงสร้างจากไอโซเมอร์แบบทรานส์เป็น ไอโซเมอร์แบบซิสทำให้สมบัติการดูดกลืนแสงและค่าสีเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยหรือไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของแคโรทีนอยด์ (Leola *et al.*, 2000)



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆเป็นเวลา 12 สัปดาห์ (a) คือ สารสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด (b) คือ สารสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้ไอน้ำ

Change of absorption maxima in different condition during storage for 12 weeks (a) carotenoids extract from dry oil. (b) carotenoids extract from wet oil.

ตารางที่ 16 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแคโรทีนอยด์ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ที่ความยาวคลื่น 443 นาโนเมตร

Absorbance (OD₄₄₃) of carotenoids during storage.

Sample	Temp. (°C)	Storage condition	Storage time (weeks)						
			0	2	4	6	8	10	12
Dry process oil	4	Atmosphere	0.567 ^{a,A}	0.565 ^{bc,B}	0.565 ^{bc,B}	0.564 ^{b,B}	0.565 ^{b,B}	0.564 ^{b,B}	0.564 ^{b,B}
		Vacuum	0.567 ^{a,A}	0.568 ^{a,A}	0.568 ^{a,A}	0.567 ^{a,A}	0.567 ^{ab,A}	0.567 ^{a,A}	0.567 ^{a,A}
		Nitrogen gas	0.567 ^{a,A}	0.567 ^{ab,A}	0.566 ^{ab,A}	0.567 ^{a,A}	0.567 ^{ab,A}	0.565 ^{ab,A}	0.565 ^{ab,A}
	10	Atmosphere	0.567 ^{a,A}	0.565 ^{bc,AB}	0.563 ^{cd,BC}	0.563 ^{b,BC}	0.565 ^{b,AB}	0.561 ^{c,CD}	0.56 ^{cd,D}
		Vacuum	0.567 ^{a,AB}	0.567 ^{ab,AB}	0.567 ^{ab,AB}	0.566 ^{ab,B}	0.569 ^{a,A}	0.566 ^{ab,B}	0.567 ^{a,AB}
		Nitrogen gas	0.567 ^{a,A}	0.565 ^{bc,AB}	0.565 ^{bc,AB}	0.566 ^{ab,A}	0.565 ^{b,AB}	0.565 ^{ab,AB}	0.563 ^{b,B}
	25-28	Atmosphere	0.567 ^{a,A}	0.563 ^{c,B}	0.561 ^{d,BC}	0.56 ^{c,C}	0.561 ^{c,BC}	0.559 ^{c,C}	0.558 ^{d,D}
		Vacuum	0.567 ^{a,A}	0.567 ^{ab,A}	0.564 ^{bc,B}	0.566 ^{ab,AB}	0.566 ^{b,AB}	0.564 ^{b,B}	0.565 ^{ab,AB}
		Nitrogen gas	0.567 ^{a,A}	0.567 ^{ab,A}	0.565 ^{bc,ABC}	0.565 ^{ab,ABC}	0.566 ^{b,AB}	0.564 ^{b,BC}	0.563 ^{b,C}

The different superscripts (a, b, c, d) in the same column and different superscripts (A, B, C, D) in the same row denote the significant differences (p<0.05).

ตารางที่ 16 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแคโรทีนอยด์ตามระยะเวลาการเก็บรักษา ที่ความยาวคลื่น 443 นาโนเมตร

Absorbance (OD₄₄₃) of carotenoids during storage.

Sample	Temp. (°C)	Storage condition	Storage time (weeks)						
			0	2	4	6	8	10	12
Wet process oil	4	Atmosphere	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.857 ^{abc,AB}	0.857 ^{ab,AB}	0.857 ^{ab,AB}	0.855 ^{b,B}	0.855 ^{bc,B}
		Vacuum	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.858 ^{a,A}	0.858 ^{a,A}
		Nitrogen gas	0.859 ^{a,A}	0.858 ^{ab,AB}	0.858 ^{ab,AB}	0.856 ^{bc,B}	0.857 ^{ab,AB}	0.857 ^{ab,AB}	0.857 ^{ab,AB}
	10	Atmosphere	0.859 ^{a,A}	0.856 ^{b,B}	0.855 ^{cd,B}	0.856 ^{bc,BC}	0.854 ^{c,B}	0.855 ^{b,B}	0.854 ^{c,B}
		Vacuum	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.857 ^{ab,AB}	0.857 ^{ab,A}	0.858 ^{a,A}	0.857 ^{ab,A}
		Nitrogen gas	0.859 ^{a,A}	0.858 ^{ab,AB}	0.856 ^{bc,BC}	0.859 ^{a,A}	0.855 ^{bc,CD}	0.855 ^{b,CD}	0.853 ^{c,D}
	25-28	Atmosphere	0.859 ^{a,A}	0.856 ^{b,B}	0.854 ^{d,C}	0.854 ^{c,C}	0.851 ^{d,D}	0.849 ^{c,D}	0.85 ^{d,D}
		Vacuum	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.857 ^{abc,AB}	0.857 ^{ab,AB}	0.858 ^{a,A}	0.855 ^{b,B}	0.857 ^{ab,AB}
		Nitrogen gas	0.859 ^{a,A}	0.859 ^{a,A}	0.857 ^{abc,AB}	0.856 ^{bc,B}	0.856 ^{bc,B}	0.855 ^{b,BC}	0.853 ^{c,C}

The different superscripts (a, b, c, d) in the same column and different superscripts (A, B, C, D) in the same row denote the significant differences ($p < 0.05$).

ตารางที่ 17 ค่าสีของสารสกัดตามระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์

Color of the extract during storage for 12 weeks.

Storage time (weeks)	Storage condition								
	4°C			10°C			25-28°C		
	Atmosphere	Vacuum	Nitrogen	Atmosphere	Vacuum	Nitrogen	Atmosphere	Vacuum	Nitrogen
dry									
Hunter L									
0	38.75 ^b	38.75 ^b	38.75 ^b	38.75 ^b	38.75 ^b	38.75 ^b	38.75 ^b	38.75 ^b	38.75 ^b
2	39.52 ^{f,c}	39.26 ^{f,d}	39.17 ^{f,e}	39.48 ^{f,c}	39.31 ^{f,d}	39.30 ^{f,d}	39.66 ^{f,b}	39.66 ^{f,b}	39.72 ^{f,a}
4	39.73 ^{e,e}	39.39 ^{e,g}	39.4 ^{e,g}	39.81 ^{e,d}	39.69 ^{e,e}	39.62 ^{e,f}	40.07 ^{e,b}	39.97 ^{e,c}	40.32 ^{e,a}
6	40.18 ^{d,f}	39.51 ^{d,f}	39.53 ^{d,f}	40.22 ^{d,d,e}	40.22 ^{d,d,e}	40.26 ^{d,d}	41.51 ^{d,a}	40.51 ^{d,c}	40.64 ^{d,b}
8	40.54 ^{e,f}	39.86 ^{e,h}	39.91 ^{e,g}	40.74 ^{e,d}	40.71 ^{e,d}	40.62 ^{e,e}	42.01 ^{e,a}	41.22 ^{e,c}	41.62 ^{e,b}
10	40.85 ^{b,g}	39.92 ^{b,i}	40.07 ^{b,h}	41.47 ^{b,d}	41.04 ^{b,f}	41.10 ^{b,e}	43.65 ^{b,a}	41.72 ^{b,c}	41.96 ^{b,b}
12	41.11 ^{a,f}	40.07 ^{a,h}	40.23 ^{a,g}	42.69 ^{a,b}	41.30 ^{a,e}	41.37 ^{a,d}	44.96 ^{a,a}	42.45 ^{a,c}	42.72 ^{a,b}
Hunter a									
0	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a	40.11 ^a
2	39.90 ^{b,d}	40.03 ^{b,a}	39.94 ^{b,c}	39.83 ^{b,e}	39.97 ^{b,b}	39.93 ^{b,c}	39.16 ^{b,g}	39.81 ^{b,e}	39.72 ^{b,f}
4	39.63 ^{e,d}	39.90 ^{d,a}	39.75 ^{e,b}	39.42 ^{e,g}	39.72 ^{e,c}	39.61 ^{e,e}	38.64 ^{e,g}	39.45 ^{e,f}	39.45 ^{e,f}
6	39.12 ^{d,e}	40.00 ^{e,a}	39.46 ^{d,b}	38.97 ^{d,g}	39.27 ^{d,c}	39.20 ^{d,d}	37.90 ^{d,h}	39.09 ^{d,f}	39.09 ^{d,f}
8	38.81 ^{e,c}	39.86 ^{e,b}	38.91 ^{e,a}	38.65 ^{e,e}	38.90 ^{e,a}	38.82 ^{e,c}	37.53 ^{e,f}	38.75 ^{e,d}	38.75 ^{e,d}
10	38.49 ^{f,d}	39.77 ^{e,a}	38.67 ^{f,b}	38.17 ^{f,f}	38.62 ^{f,c}	38.48 ^{f,d}	36.02 ^{f,g}	38.39 ^{f,e}	38.39 ^{f,e}
12	38.14 ^{e,i}	39.82 ^{e,a}	38.48 ^{e,b}	37.29 ^{e,h}	38.33 ^{e,c}	38.29 ^{e,d}	34.88 ^{e,i}	37.87 ^{e,g}	37.97 ^{e,f}
Hunter b									
0	25.81 ^b	25.81 ^b	25.81 ^b	25.81 ^b	25.81 ^b	25.81 ^b	25.81 ^b	25.81 ^b	25.81 ^b
2	26.23 ^{k,c}	25.98 ^{f,f}	26.12 ^{f,d}	26.47 ^{f,b}	25.96 ^{f,f}	25.98 ^{f,f}	26.72 ^{f,a}	26.03 ^{f,e}	26.23 ^{f,c}
4	26.61 ^{e,f}	26.53 ^{e,f}	26.45 ^{e,g}	27.04 ^{e,b}	26.66 ^{e,d}	26.59 ^{e,e}	27.26 ^{e,a}	26.72 ^{e,c}	26.61 ^{e,e}
6	27.01 ^{d,b}	26.74 ^{d,d}	26.81 ^{d,f}	27.72 ^{d,a}	26.81 ^{d,c}	26.77 ^{d,d}	27.72 ^{d,a}	26.98 ^{d,b}	26.99 ^{d,b}
8	27.19 ^{e,e}	27.04 ^{e,h}	27.24 ^{e,d}	28.11 ^{e,b}	27.14 ^{e,f}	27.09 ^{e,g}	28.61 ^{e,a}	27.21 ^{e,d,e}	27.49 ^{e,c}
10	27.46 ^{b,e}	27.22 ^{b,h}	27.82 ^{b,d}	28.69 ^{b,b}	27.36 ^{b,g}	27.41 ^{b,f}	29.04 ^{b,a}	27.50 ^{b,e}	28.02 ^{b,c}
12	28.52 ^{a,c}	27.96 ^{a,g}	28.00 ^{a,f,g}	29.40 ^{a,b}	28.01 ^{a,f}	27.98 ^{a,f,g}	31.84 ^{a,a}	28.11 ^{a,e}	28.14 ^{a,d}

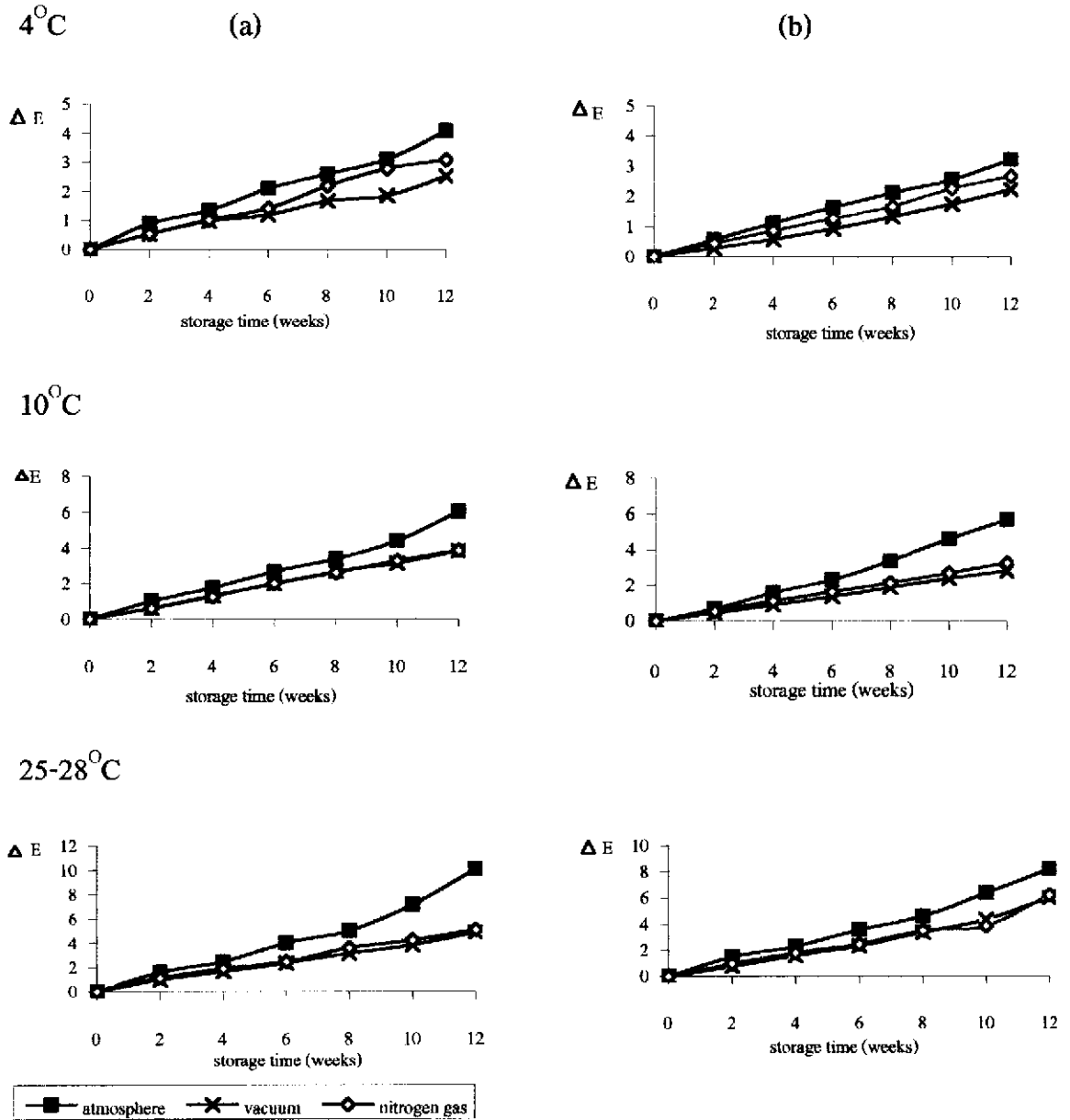
The different superscripts (a, b, c, d, e, f, g) in the same column under the same Hunter parameter and different superscripts (A, B, C, D, E, F, G, H, I) in the same row denote the significant differences ($p < 0.05$).

ตารางที่ 17 ค่าสีของสารสกัดตามระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์

Color of the extract during storage for 12 weeks.

Storage time (weeks)	storage condition								
	4°C			10°C			25-28°C		
	Atmosphere	Vacuum	Nitrogen	Atmosphere	Vacuum	Nitrogen	Atmosphere	Vacuum	Nitrogen
wet									
Hunter L									
0	32.17 ^b	32.17 ^b	32.17 ^b	32.17 ^b	32.17 ^b	32.17 ^b	32.17 ^b	32.17 ^b	32.17 ^b
2	32.42 ^{f,E}	32.32 ^{f,F}	32.41 ^{f,DE}	32.45 ^{f,C}	32.39 ^{f,D}	32.41 ^{f,DE}	32.95 ^{f,A}	32.47 ^{f,C}	32.63 ^{f,B}
4	32.77 ^{a,D}	32.57 ^{a,H}	32.70 ^{a,F}	32.81 ^{a,C}	32.67 ^{a,G}	32.73 ^{a,E}	33.24 ^{a,I}	32.91 ^{a,B}	32.97 ^{a,A}
6	32.87 ^{d,F}	32.74 ^{d,G}	32.94 ^{d,E}	33.28 ^{d,C}	32.93 ^{d,E}	33.04 ^{d,D}	33.89 ^{d,A}	33.29 ^{d,C}	33.34 ^{d,B}
8	33.16 ^{c,F}	32.97 ^{a,I}	33.00 ^{c,H}	33.84 ^{c,C}	33.20 ^{c,G}	33.31 ^{c,E}	34.42 ^{c,A}	33.81 ^{c,D}	34.06 ^{c,B}
10	33.42 ^{b,H}	33.12 ^{b,I}	33.46 ^{b,G}	34.79 ^{b,C}	33.49 ^{b,F}	33.72 ^{b,E}	35.06 ^{b,B}	34.62 ^{b,D}	35.72 ^{b,A}
12	33.71 ^{a,G}	33.43 ^{a,H}	33.69 ^{a,G}	35.06 ^{a,D}	33.75 ^{a,F}	34.27 ^{a,B}	36.61 ^{a,A}	36.07 ^{a,C}	36.11 ^{a,B}
Hunter a									
0	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^a	45.15 ^b	45.15 ^b	45.15 ^b	45.15 ^b	45.15 ^b
2	44.94 ^{b,C}	45.04 ^{b,A}	44.97 ^{b,B}	44.72 ^{b,B}	44.92 ^{f,C}	44.84 ^{f,D}	44.17 ^{f,G}	44.74 ^{f,E}	44.42 ^{f,F}
4	44.62 ^{c,C}	44.95 ^{c,A}	44.78 ^{c,B}	44.04 ^{c,F}	44.58 ^{a,D}	44.45 ^{a,E}	43.72 ^{a,I}	44.13 ^{a,G}	44.00 ^{a,H}
6	44.16 ^{d,D}	44.71 ^{d,A}	44.52 ^{d,B}	43.75 ^{d,F}	44.26 ^{d,C}	44.18 ^{d,D}	43.06 ^{d,H}	43.82 ^{d,E}	43.65 ^{d,G}
8	43.85 ^{e,E}	44.58 ^{a,A}	44.26 ^{a,B}	43.15 ^{e,F,G}	44.04 ^{c,C}	43.92 ^{c,D}	42.66 ^{c,H}	43.13 ^{a,G}	43.16 ^{c,F}
10	43.67 ^{f,D}	44.29 ^{f,A}	43.98 ^{f,B}	42.59 ^{f,H}	43.88 ^{b,C}	43.64 ^{b,E}	41.52 ^{b,I}	42.74 ^{b,F}	42.62 ^{b,G}
12	43.28 ^{b,E}	44.06 ^{b,A}	43.72 ^{b,B}	41.82 ^{b,H}	43.62 ^{a,C}	43.47 ^{a,D}	40.64 ^{a,I}	42.01 ^{a,F}	41.97 ^{a,G}
Hunter b									
0	21.42 ^b	21.42 ^b	21.42 ^b	21.42 ^b	21.42 ^b	21.42 ^b	21.42 ^b	21.42 ^b	21.42 ^b
2	21.86 ^{f,C}	21.63 ^{f,F}	21.75 ^{f,E}	21.87 ^{f,C}	21.74 ^{f,B}	21.81 ^{f,D}	22.27 ^{f,A}	21.95 ^{f,B}	21.87 ^{f,C}
4	22.21 ^{a,E}	21.78 ^{a,F}	21.99 ^{a,G}	22.39 ^{a,C}	21.93 ^{a,H}	22.12 ^{a,F}	22.84 ^{a,A}	22.36 ^{a,D}	22.56 ^{a,B}
6	22.52 ^{d,E}	22.00 ^{d,I}	22.22 ^{d,G}	22.88 ^{d,D}	22.13 ^{d,H}	22.43 ^{d,F}	23.75 ^{d,L,A}	22.96 ^{d,C}	23.01 ^{d,B}
8	22.80 ^{c,D}	22.33 ^{c,G}	22.57 ^{c,F}	23.58 ^{c,C}	22.57 ^{c,F}	22.76 ^{c,E}	24.61 ^{c,A}	23.57 ^{c,C}	23.64 ^{c,B}
10	23.11 ^{b,E}	22.62 ^{b,I}	22.89 ^{b,H}	24.24 ^{b,C}	22.94 ^{b,G}	23.02 ^{b,F}	25.82 ^{b,A}	24.12 ^{b,D}	24.32 ^{b,B}
12	23.57 ^{a,E}	22.94 ^{a,I}	23.12 ^{a,H}	25.02 ^{a,C}	23.15 ^{a,G}	23.29 ^{a,F}	26.66 ^{a,A}	24.81 ^{a,D}	25.10 ^{a,B}

The different superscripts (a, b, c, d, e, f, g) in the same column under the same Hunter parameter and different superscripts (A, B, C, D, E, F, G, H, I) in the same row denote the significant differences ($p < 0.05$).



รูปที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมในรูป ΔE ของสารสกัดแคโรทีนอยด์ในระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะต่างๆ โดยที่ สารสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด (a) สารสกัดจากน้ำมันปาล์มแบบใช้ไอน้ำ (b)

Change of carotenoids color in ΔE value during storage in different condition. (a) sample from dry process oil ; (b) sample from wet process oil.

ตอนที่ 6 องค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ที่แยกได้

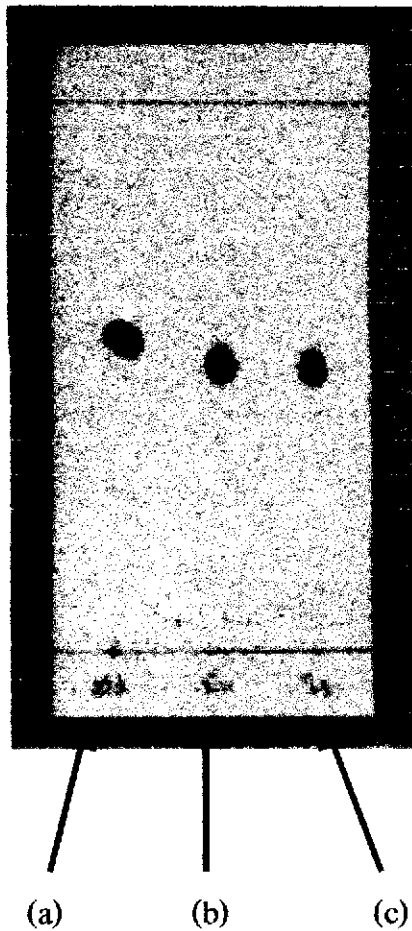
6.1 ใช้เทคนิคทางโครมาโตกราฟีแบบชั้นเลเยอร์โครมาโตกราฟี

เมื่อศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่แยกได้จาก

น้ำมันปาล์มดิบทั้งสองชนิดด้วยเทคนิคชั้นเลเยอร์โครมาโตกราฟี (รูปที่ 17 และ ตารางที่ 18) พบว่า เมื่อใช้สารละลายผสมของเบนซีน 10% ในปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวเคลื่อนที่ สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด และแบบใช้ไอน้ำมีค่า R_f เท่ากับ 0.525 และ 0.513 ตามลำดับ ในขณะที่สารเบตาแคโรทีนมาตรฐานมีค่า R_f เท่ากับ 0.575 และเมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวเคลื่อนที่ พบว่า สารเบตาแคโรทีนมาตรฐานมีค่า R_f เท่ากับ 0.26 และตัวอย่างสารสกัดจากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 2 ชนิดมีค่า R_f เป็น 0.363 และ 0.350 ตามลำดับ ทั้งนี้จากผลการทดลองของ Honero และ Minguez (2000) ที่ศึกษาองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ที่สกัดจาก *Rosa mosqueta* Hips พบว่า ค่า R_f ของเบตาแคโรทีนเมื่อใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 0.26 ในขณะที่รูบิแซนทิน (rubixanthin) และ ก๊าซานีแซนทิน (gazaniaxanthin) มีค่า R_f เท่ากับ 0.37 เมื่อใช้อะซิโตน 2% ในปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวเคลื่อนที่ พบว่า สารเบตาแคโรทีนมาตรฐานมีค่า R_f เท่ากับ 0.963 และสารสกัดมีค่า R_f เป็น 0.863 และ 0.838 ตามลำดับ ทั้งนี้ Ritter และ Purcell (1981) รายงานว่า ค่า R_f ของเบตาแคโรทีนมีค่าอยู่ในช่วง 0.95-1.00 เมื่อใช้อะซิโตน 2% ในปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวเคลื่อนที่ ส่วนเบตาอะโปแคโรทีนอล มีค่า R_f อยู่ในช่วง 0.70-0.85 ดังนั้นจากผลของชั้นเลเยอร์โครมาโตกราฟี แสดงว่าแคโรทีนอยด์ที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบทั้งสองชนิดไม่ใช่เบตาแคโรทีน

ตารางที่ 18 ค่า R_f ของเบตาแคโรทีนมาตรฐาน และสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมัน
ปาล์มดิบแบบบีบอัด และแบบใช้ไอน้ำที่ระบบตัวทำละลายต่างๆกัน
 R_f values of standard β -carotene and carotenoids extract from dry and
wet oils in different solvent.

Solvent	R_f		
	Standard β -carotene	Extract of dry process oil	Extract of wet process oil
10% benzene in petroleum ether	0.575	0.525	0.513
light petroleum ether (40-60°C)	0.26	0.363	0.350
2% acetone in petroleum ether	0.963	0.863	0.838



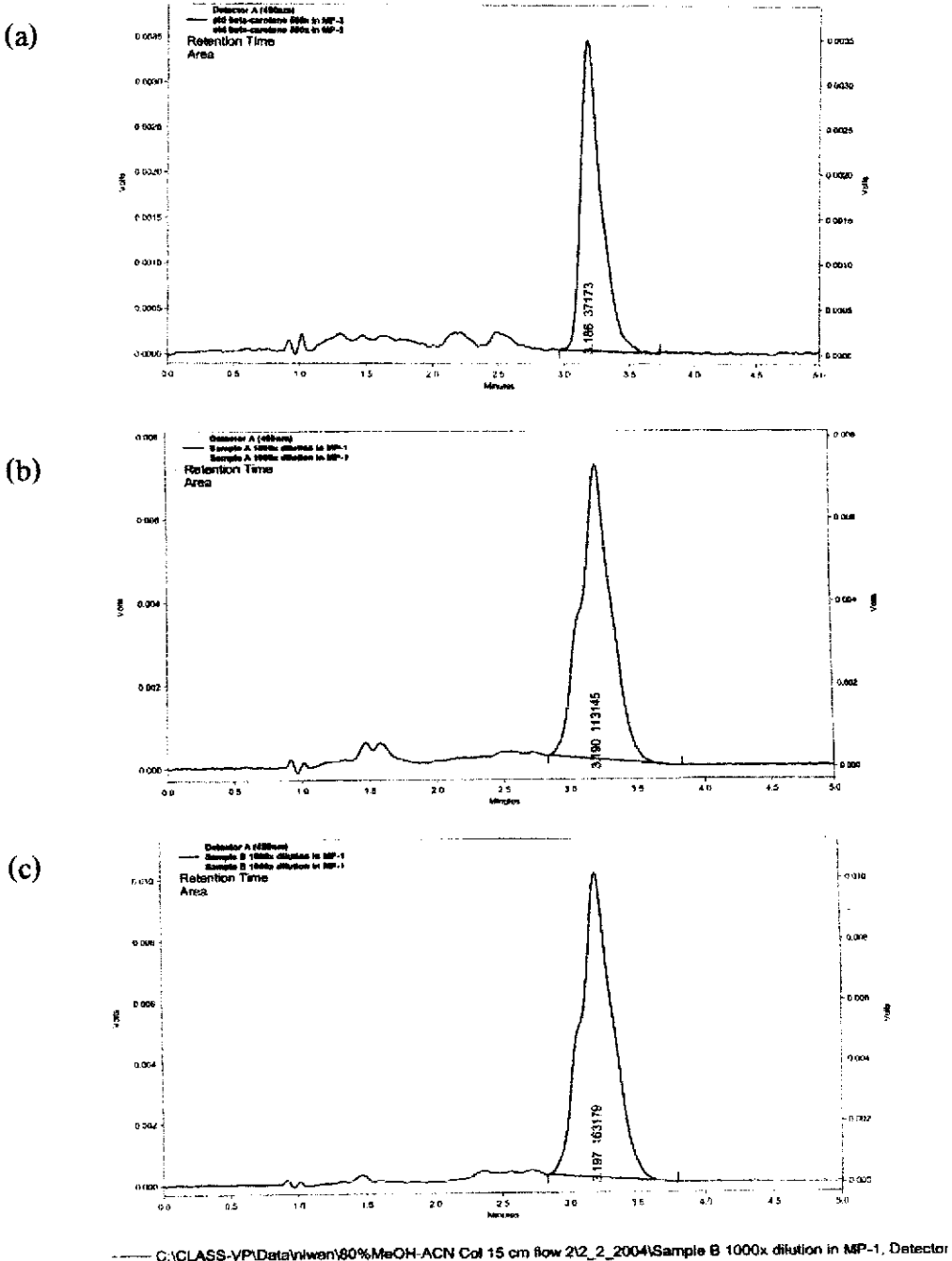
รูปที่ 17

ซินเลเซอร์โครมาโตกราฟีของเบตาแคโรทีนมาตรฐาน และสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด และแบบใช้ไอน้ำเมื่อใช้เบนซีน 10 % ในปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวเคลื่อนที่ โดย (a) คือ สารมาตรฐานเบตาแคโรทีน (b) คือ สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด และ (c) คือ สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้ไอน้ำ

Thin layer chromatography of standard β -carotene and carotenoids extract in the solvent system of 10 % benzene in petroleum ether : (a) standard β -carotene ; (b) carotenoids extract of dry process oil ; (c) carotenoids extract of wet process oil.

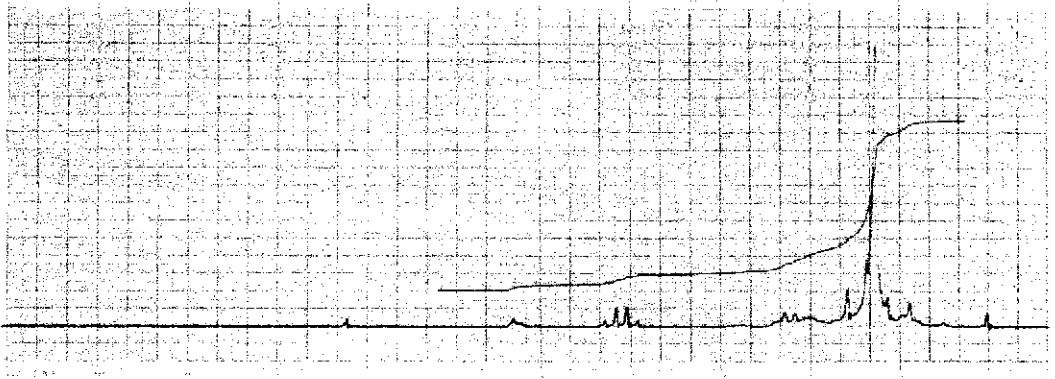
6.2 ใช้เทคนิค HPLC

เมื่อศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่แยกได้จากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 2 ชนิดด้วยวิธี High performance liquid chromatography เทียบกับสารมาตรฐานเบตาแคโรทีน แสดงดังรูปที่ 18 พบว่า มีโครมาโตแกรมของแคโรทีนอยด์ซึ่งมีค่า retention time ที่ 3.190 และ 3.197 นาที ของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด และแบบใช้ไอน้ำตามลำดับ ในขณะที่ค่า retention time ของสารมาตรฐานเบตาแคโรทีนมีค่าเป็น 3.186 นาที และเนื่องจากรูปร่างของโครมาโตแกรมที่ได้มีความแตกต่างกัน นั่นคือ โครมาโตแกรมของสารสกัดแคโรทีนอยด์มีลักษณะฐานกว้างและมีไหล่ของโครมาโตแกรมเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากมีแคโรทีนอยด์มากกว่า 1 ชนิดรวมกันอยู่โดยมี retention time ที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ไม่มีเบตาแคโรทีนเป็นองค์ประกอบ แต่ทั้งนี้จากผลที่ได้ก็ยังไม่อาจสรุปได้แน่ชัดว่า โครมาโตแกรมที่พบเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดใด เนื่องจากในการทดลองนี้มีสารมาตรฐานเบตาแคโรทีนเพียงชนิดเดียวเท่านั้น และเมื่อยืนยันผลโดยเปรียบเทียบสารสกัดแคโรทีนอยด์กับสารมาตรฐานเบตาแคโรทีนด้วยเครื่อง NMR พบว่า สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้ทั้ง 2 ชนิด ไม่ใช่เบตาแคโรทีนอย่างชัดเจน

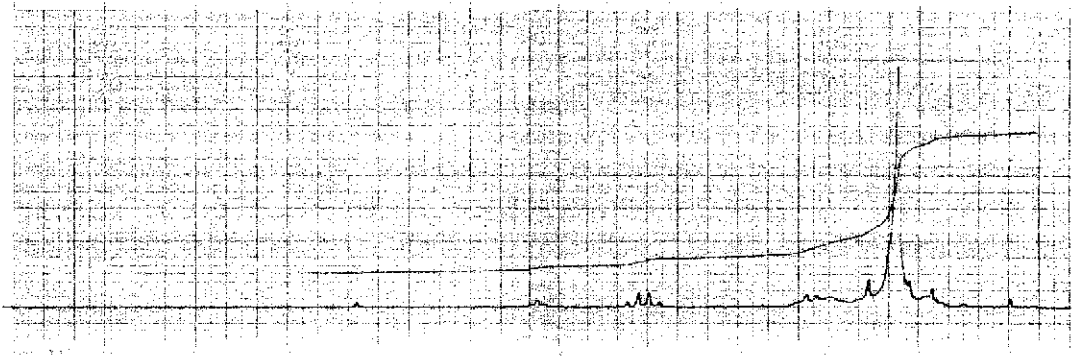


รูปที่ 18 โครมาโตแกรมของสารตัวอย่างเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี High performance liquid chromatography โดย (a) คือ สารมาตรฐานเบตาแคโรทีน (b) คือ สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบบีบอัด และ (c) คือ สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้ไอน้ำ

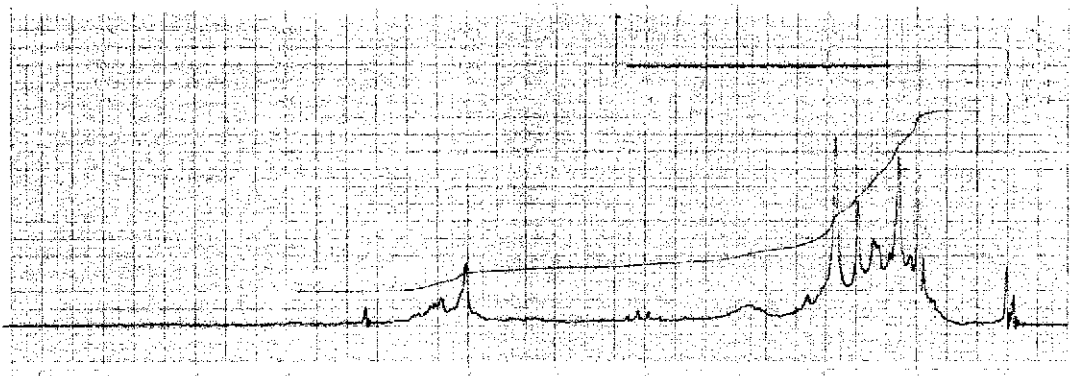
HPLC profiles of sample : (a) standard β -carotene ; (b) carotenoids extract of dry process oil ; (c) carotenoids extract of wet process oil.



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 19 โครมาโตแกรมของสารตัวอย่างเมื่อวิเคราะห์ด้วย NMR โดย (a) คือ สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก (b) คือ สารสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแบบใช้น้ำ และ (c) คือ สารมาตรฐานเบตาแคโรทีน

NMR profiles of sample : (a) carotenoids extract of dry process oil ; (b) carotenoids extract of wet process oil ; (c) standard β -carotene.