ผลและวิจารณ์ผล

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันปาล์มส่วนต่างๆ

ตารางที่ 11 แสดงค่าไอโอดีน (IV) และช่วงการหลอมเหลว Slip Melting point (SMP) ของ Palm olein (PO) Palm stearin (PS) Palm midfraction (PMF) Palm kernel oil (PKO) และส่วนผสมของส่วนต่างๆ เหล่านี้ จะเห็นได้ว่า เมื่อผสม PS กับ PO ในสัดส่วนที่ PS เพิ่มขึ้น ค่า IV จะลดลง และ SMP เพิ่มขึ้น เนื่องจาก PS มีสัดส่วยกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัว (S/U) สูงกว่า PO (Berger,2001) และเมื่อผสม PO กับ PKO หรือ PMF พบว่าทั้งสองส่วนผสมนั้นเมื่อปริมาณ PO มากขึ้น ค่า IV เพิ่มขึ้น และ SMP ลดลง เนื่องจาก PO มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จึงเลือกส่วนผสมน้ำมันปาล์มในบางส่วนผสมที่มีค่า SMP สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส นำไปใช้เป็นวัตถุดิบหรือ Substrate ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ ได้แก่ PO:PS= 40:60 PO:PS =30:70 PKO:PS = 60:40 PKO:PS = 40:60

ตารางที่ 11 ค่าไอโอดีนและช่วงหลอมเหลวของน้ำมันปาล์มส่วนต่าง ๆ

ชนิดน้ำมัน	ค่าไอโอดีน	ช่วงหลอมเหลว (^{o}C)	ชนิดน้ำมัน	ค่าไอโอดีน	ช่วงหลอมเหลว (^{o}C)
PO (palm olein)	54.34	18-20	PMF:PS		
PS (palm stearin)	43.01	43-45	80:20	39.66	23-25
PMF (palm mid-fraction)	29.18	22-24	70:30	38.32	23-25
PKO (palm kernel oil)	22.97	18-20	60:40	36.56	24-26
PO:PS			50:50	35.14	26-28
80:20	53.71	21-23	40:60	34.28	28-29
70:30	51.99	22-24	30:70	33.06	29-31
60:40	48.68	24-26	20:80	32.19	30-32
50:50	46.30	26-28	PMF:PO		
40:60	44.16	27-29	80:20	42.25	24-26
30:70	43.65	29-31	70:30	44.90	23-25
20:80	41.39	31-33	60:40	46.98	22-24
PKO:PS			50:50	48.19	21-23
80:20	23.52	20-22	40:60	50.72	21-23
70:30	25.19	21-23	30:70	53.92	20-22
60:40	28.88	22-24	20:80	56.43	18-20
50:50	28.20	24-26			
40:60	28.49	26-28			
30:70	31.31	28-30			
20:80	34.74	29-30			

ชนิดน้ำมัน	ค่าไอโอดีน	ช่วงหลอมเหลว (^{o}C)	ชนิดน้ำมัน	ค่าไอโอดีน	ช่วงหลอมเหลว (^{o}C)
PKO:PO			PMF:PKO		
80:20	26.79	23-25	80:20	36.59	23-25
70:30	30.11	22-24	70:30	35.44	23-25
60:40	3.68	22-24	60:40	35.62	22-24
50:50	36.61	21-23	50:50	34.46	21-23
40:60	40.54	19-21	40:60	32.50	20-22
30:70	44.37	19-21	30:70	30.06	20-22
20:80	47.70	18-20	20:80	28.68	19-21
PMF:PS					
80:20	39.66	23-25			
70:30	38.32	23-25			
60:40	36.56	24-26			
50:50	35.14	26-28			
40:60	34.28	28-29			
30:70	33.06	29-31			
20:80	32.19	30-32			

* ช่วงการหลอมเหลววัดด้วยเครื่อง Fisher-John apparatus

2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์ไลเปสในการดัดแปรสมบัติของน้ำมันปาล์ม

2.1 pH

การศึกษาผลของ pH เริ่มต้นต่อค่าไอโอดีนของน้ำมันดัดแปรโดยใช้เอนไซม์ lipozyme และ novozyme ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 12 และ 13 ซึ่งพบว่าค่า pH เริ่มต้นของน้ำมันปาล์มผสมเปลี่ยนแปลงไปไม่ได้มีผลให้ค่าไอโอดีนของน้ำมันดัดแปรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาตลอด 48 ชั่วโมง ทั้งนี้ เนื่องจากช่วง pH ดังกล่าวเป็น pH ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ข้างต้น

ตารางที่ 12 ค่าไอโอดีนของน้ำมันดัดแปรโดยใช้เอนไซม์ lipozyme ที่สภาวะพีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ

ชนิดน้ำมัน	PO:PS = 40:60			PKO:PS = 40:60			PKO:PO = 60:40			PMF:PS = 60:40		
พีเอช	pH			pH			pH			pH		
ระยะเวลา	5.5	6.5	7.5	5.5	6.5	7.5	5.5	6.5	7.5	5.5	6.5	7.5
0	43.76	43.47	43.25	42.69	44.29	44.71	44.31	43.36	42.34	53.62	54.43	54.71
6	42.15	42.06	40.93	38.27	39.05	39.94	34.90	35.64	35.17	47.49	47.02	46.93
12	45.65	44.92	43.21	34.98	35.21	35.42	33.61	32.97	37.55	44.63	45.26	45.24
18	39.53	39.71	40.03	30.56	31.06	26.14	34.84	35.28	35.62	44.85	43.19	43.76
24	35.86	36.52	34.43	24.38	24.11	24.83	35.49	37.82	36.27	38.79	39.97	40.43
48	30.32	30.56	31.24	22.94	20.05	23.09	34.38	35.15	35.83	37.28	36.21	36.82

ตารางที่ 13 ค่าไอโอดีนและช่วงการหลอมเหลวของน้ำมันดัดแปรโดยใช้เอนไซม์ novozyme ที่สภาวะพีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ					
		5.5		6.5		7.5	
		IV*	MP**	IV	MP	IV	MP
PO:PS = 40:60	0	44.65	24-26	45.23	24-26	45.46	23-25
	6	43.47	24-26	43.76	24-26	44.65	24-26
	12	42.17	25-27	42.02	24-26	43.52	25-27
	18	41.83	26-28	41.45	26-28	40.69	27-29
	24	40.54	30-32	40.48	31-33	41.76	30-32
PKO:PS = 40:60	0	31.42	24-26	30.63	24-26	31.83	24-26
	6	29.80	24-26	39.51	24-26	30.72	23-25
	12	27.46	25-27	27.35	25-27	28.64	25-27
	18	26.58	26-28	27.09	26-28	26.83	26-28
	24	27.59	31-33	26.32	30-32	25.36	30-32
PKO:PS = 60:40	0	34.22	22-24	34.69	22-24	34.03	22-24
	6	31.43	23-25	31.61	23-25	30.96	23-25
	12	29.65	24-26	29.62	24-26	29.43	24-26
	18	29.24	25-27	28.71	25-27	27.20	24-25
	24 hr	27.68	29-31	27.88	29-31	26.39	29-31

* IV = ค่าไอโอดีน

**MP = ช่วงการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส) วัดด้วยเครื่อง Fisher-John Apparatus

ดังนั้นจึงคัดเลือกค่า pH เริ่มต้นที่ 6.5 เป็นสภาวะการทำงานของเอนไซม์ในการทดลองต่อไป เนื่องจากที่ระดับ pH 6.5 จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับ pH ของน้ำมันปาล์มเริ่มต้นโดยไม่ต้องปรับ

2.2 อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อสมบัติของน้ำมันดัดแปร ดังแสดงในตารางที่ 14 และ 15 พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำมันดัดแปรมีค่าไอโอดีนลดลงที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสไม่เกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Cho และ Rhee (1993) ซึ่งกล่าวว่า interesterification activity ของ immobilized lipase จะลดลงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเนื่องจากความหนืดทำให้มีข้อจำกัดในการแพร่ของสารตั้งต้น (reactants) และความหนืดจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส activity ของเอนไซม์นี้จะต่ำมาก

นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ทำปฏิกิริยาแล้วให้น้ำมันดัดแปรมีค่าไอโอดีน และช่วงการหลอมเหลวที่ใกล้เคียงกับค่าของโกโก้บัตเตอร์ก็คือ อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 และ 24 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเหมาะกับ lipozyme และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเหมาะกับ novozyme ผลการวิจัยนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับ Huang และ Akoh (1996) ซึ่งใช้เอนไซม์ไลเปสในการทำ transesterification ระหว่าง triolein กับ caprylic acid ethyl ester ด้วยสภาวะอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลว่า lipase IM 60 จาก *Rhizomucor michei* สามารถเปลี่ยน triolein ไปเป็น structured lipid ได้มากที่สุดและการใช้ไลเปส SP435 จาก *Candida antarctica* จะได้ผลดีเมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่าคือที่ 55 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการวิจัยครั้งนี้ยังพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่ให้ค่าไอโอดีนและช่วงการหลอมเหลวตามที่ต้องการนั้นเป็นผลมาจากชนิดของน้ำมันที่ใช้เป็น substrate ด้วย จึงเลือกชุดการทดลองที่ใช้น้ำมัน PO:PS = 10:60 PO:PS = 30:70 และ PO:PS = 20:80 และสภาวะการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 45 และ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 และ 24 ชั่วโมง เป็นตัวแทนในการศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์ต่อไป

ตารางที่ 14 ค่าไอโอดีนของน้ำมันดัดแปรโดยใช้เอนไซม์ lipozyme ที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
		45	50	60
PKO:PO = 60:40				
	0	43.36	43.47	42.65
	6	35.64	37.08	40.28
	12	32.97	36.52	39.54
	18	35.28	35.81	38.75
	24	37.82	36.17	39.60
	48	35.15	35.04	37.72
PKO:PS = 40:60				
	0	44.29	42.89	40.26
	6	39.05	31.42	39.89
	12	35.21	31.24	39.19
	18	31.06	31.16	38.42
	24	24.11	30.44	37.53
	48	20.05	29.67	37.10
PMF:PS = 60:40				
	0	54.43	54.43	52.05
	6	47.02	45.31	50.82
	12	45.26	44.67	48.14
	18	43.19	43.12	49.30
	24	39.90	44.18	48.73
	48	36.21	42.66	46.35
PO:PS = 40:60				
	0	43.47	44.81	43.40
	6	42.06	47.38	42.16
	12	44.90	46.54	42.53
	18	39.71	43.96	40.39
	24	36.52	46.46	41.90
	48	30.56	44.54	40.42

ตารางที่ 15 ค่าไอโอดีนและช่วงการหลอมเหลวของน้ำมันดัดแปรโดยใช้เอนไซม์ novozyme ที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)									
		35		40		45		50		55	
		IV*	MP**	IV	MP	IV	MP	IV	MP	IV	MP
KO:PO = 60:40											
	0	36.53	22-24	36.20	22-24	36.77	21-23	36.54	22-24	36.92	22-24
	6	35.21	22-24	35.88	22-24	35.73	20-22	34.46	22-24	34.58	24-26
	12	34.68	23-25	35.19	23-25	33.60	21-23	32.51	24-26	33.81	25-27
	18	34.20	23-25	34.26	23-25	30.54	23-25	30.37	27-29	31.74	27-29
	24	33.77	23-25	33.81	24-26	28.21	23-25	28.95	27-29	29.26	29-31
O:PS = 40:60											
	0			44.69	24.5-26	44.85	24.5-26	44.56	24.5-26	44.79	24.5-26
	6			42.18	25-26	42.22	26-27	42.19	25-27	42.35	25-27
	12			42.05	26-27	40.39	26-28	41.41	27-29	40.21	27-29
	18			41.86	26-27	41.12	29-30	39.65	29-31	39.48	30-31
	24			41.45	27-28	41.89	32-34	38.57	33-35	36.05	33-35
KO:PS = 40:60											
	0			44.69	24.5-26	44.85	24.5-26	44.56	24.5-26	44.79	24.5-26
	6			42.18	25-26	42.22	26-27	42.19	25-27	42.35	25-27
	12			42.05	26-27	40.39	26-28	41.41	27-29	40.21	27-29
	18			41.86	26-27	41.12	29-30	39.65	29-31	39.48	30-31
	24			41.45	27-28	41.89	32-34	38.57	33-35	36.05	33-35

* IV = ค่าไอโอดีน

**MP = ช่วงการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส) วัดด้วยเครื่อง Fisher – John Apparatus

2.3 ปริมาณเอนไซม์

ผลการศึกษาปริมาณเอนไซม์ lipozyme และ novozyme ที่ระดับ 0, 1, 2.5,5 และ 10% ในการทำปฏิกิริยาตามชุดการทดลองที่เลือกจากข้อ 2.2 พบว่าปริมาณเอนไซม์ที่ให้ผลในการดัดแปรสมบัติของน้ำมันปาล์มคือ 2.5 – 5% ที่อุณหภูมิ 45 – 50 องศาเซลเซียสและเวลา 18 – 24 ชั่วโมง ดังผลที่แสดงในตารางที่ 16 และ 17 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่มาจากผลการวิจัยของนักวิจัยหลายคนได้แก่ Sridhar และคณะ (1991) ทำ interesterfication ระหว่าง stearic acid กับ Indian Vegetable Fats เพื่อผลิต CBS ใช้ lipozyme 6% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ส่วน Chang และคณะ (1990) ทำ interesterfication ระหว่าง hydrogenated cottonseed oil กับ olive oil ใช้ lipozyme 20% อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง เพื่อผลิต Cocoa Butter -Like Fat นอกจากนี้ Chong และคณะ (1992) ผลิต Cocoa Butter-Like Fat จาก palm olein ทำปฏิกิริยา interesterification กับ stearic acid โดยใช้ lipozyme 10% อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 20 ชั่วโมง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมจะขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา รวมถึงชนิดของน้ำมันที่ใช้เป็น substrate ด้วย

ดังนั้น ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรน้ำมันปาล์ม จึงได้ชุดการทดลองที่คัดเลือกไว้ดังตารางที่ 18 และ 19 แล้วนำชุดการทดลองดังกล่าวไปวิเคราะห์รูปแบบการหลอมเหลวและปริมาณไขมันแข็งเปรียบเทียบกับรูปแบบของโกโก้บัตเตอร์ ได้ผลดังรูปที่ 2,3,4 และ 5 ซึ่งพบว่าชุดการทดลองที่มีรูปแบบการหลอมเหลวและปริมาณไขมันแข็งใกล้เคียงกับรูปแบบของโกโก้บัตเตอร์มากที่สุด คือ

- น้ำมันผสม PO:PS = 30:70 เอนไซม์ Novozyme ปริมาณ 5% ใช้สภาวะ pH 6.5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง
- น้ำมันผสม PO:PS = 30:70 เอนไซม์ Novozyme ปริมาณ 5% ใช้สภาวะ pH 6.5 อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง
- น้ำมันผสม PO:PS = 40:60 เอนไซม์ Lipozyme ปริมาณ 5% ใช้สภาวะ pH 6.5 อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง
- น้ำมันผสม PO:PS = 30:70 Lipozyme ปริมาณ 5% ใช้สภาวะ pH 6.5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 16 ค่าไอโอดีนและช่วงการหลอมเหลวของน้ำมันดัดแปร โดยใช้เอนไซม์ lipozyme ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ชนิดน้ำมัน	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเอนไซม์ (%)									
		0		1		2.5		5		10	
		IV*	MP**	IV	MP	IV	MP	IV	MP	IV	MP
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส											
PO:PS = 40:60	18	44.29	(27-29)	43.95	(29-31)	43.27	(32-34)	41.69	(33-35)	39.43	(34-36)
	24	44.13	(27-29)	43.01	(29-31)	42.14	(33-35)	40.82	(34-36)	38.24	(35-37)
PO:PS = 30:70	18	43.86	(28-30)	43.93	(30-32)	42.65	(33-35)	42.74	(35-37)	38.54	(43-45)
	24	42.59	(28-30)	42.78	(33-35)	41.13	(34-36)	40.11	(36-38)	37.03	(46-48)
PO:PS =20:80	18	42.04	(28-30)	41.22	(32-35)	40.54	(35-37)	39.45	(38-40)	38.14	(45-46)
	24	41.39	(28-30)	40.59	(34-36)	38.73	(36-38)	36.22	(39-41)	35.68	(47-49)
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส											
PO:PS = 40:60	12	44.61	(27-29)	43.24	(30-32)	42.83	(32-34)	41.74	(34-36)	39.65	(35-37)
	18	44.23	(28-30)	42.58	(30-32)	41.74	(33-35)	40.85	(35-37)	37.23	(36-38)
	24	43.28	(28-30)	41.37	(33-35)	40.56	(34-36)	38.29	(35-37)	36.51	(36-38)
PO:PS = 30:70	12	42.53	(28-30)	42.38	(30-32)	41.73	(31-33)	40.26	(35-37)	38.13	(41-43)
	18	42.28	(28-30)	41.11	(31-33)	40.62	(32-34)	39.54	(35-37)	36.19	(43-45)
	24	41.97	(28-30)	40.39	(32-34)	39.84	(32-35)	38.29	(36-38)	35.83	(46-48)
PO:PS =20:80	12	40.76	(28-30)	41.26	(32-34)	39.29	(34-36)	39.06	(37-39)	38.53	(45-46)
	18	40.33	(28-30)	40.93	(32-34)	38.42	(35-37)	38.27	(38-40)	36.49	(45-46)
	24	39.87	(29-31)	39.76	(33-35)	37.65	(37-39)	36.14	(40-42)	34.15	(46-48)

* IV = ค่าไอโอดีน

**MP = ช่วงการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส) วัดด้วยเครื่อง Fisher- John Apparatus

ตารางที่ 17 ค่าไอโอดีนและช่วงการหลอมเหลวของน้ำมันดัดแปร จากการใช้เอนไซม์ Novozyme ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ชนิดน้ำมัน	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเอนไซม์ (%)									
		0		1		2.5		5		10	
		IV*	MP**	IV	MP	IV	MP	IV	MP	IV	MP
ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส											
PO:PS = 40:60	18	44.29	27-29	44.01	29-31	43.20	33-35	41.96	32-34	40.62	33-35
	24	44.13	27-29	43.54	30-32	42.40	33-35	40.57	33-35	38.34	34-36
PO:PS = 30:70	18	43.86	28-30	43.80	29-31	42.90	32-34	42.36	34-36	39.3	40-42
	24	42.59.	28-30	42.60	30-32	41.60	33-35	40.48	35-37	37.2	41-43
PO:PS =20:80	18	42.04	28-30	41.58	28-30	40.63	36-38	39.80	37-39	38.25	37-39
	24	41.39	28-30	40.65	28-30	38.14	38-40	37.40	41-43	36.28	45-47
ที่อุณหภูมิ 50องศาเซลเซียส											
PO:PS = 40:60	18	44.23	28-30	42.05	31-32	42.04	32-34	40.37	34-36	39.26	36-38
	24	43.28	28-30	41.70	32-34	41.00	35-36	38.65	35-37	38.41	36-38
PO:PS = 30:70	18	42.28	28-30	41.20	31-33	40.20	30-32	39.64	33-35	36.50	34-36
	24	41.97	28-30	40.60	32-34	40.60	33-35	39.29	34-36	35.10	35-37
PO:PS =20:80	18	40.76	28-30	41.59	32-34	40.55	34-36	39.00	36-38	38.72	41-43
	24	39.87	29-31	39.52	33-35	39.33	36-38	37.20	38-40	34.61	43-45

* IV = ค่าไอโอดีน

**MP = ช่วงการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส) วัดด้วยเครื่อง Fisher- John Apparatus

ตารางที่ 18 สภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรน้ำมันปาล์มผสมโดยเอนไซม์ lipozyme

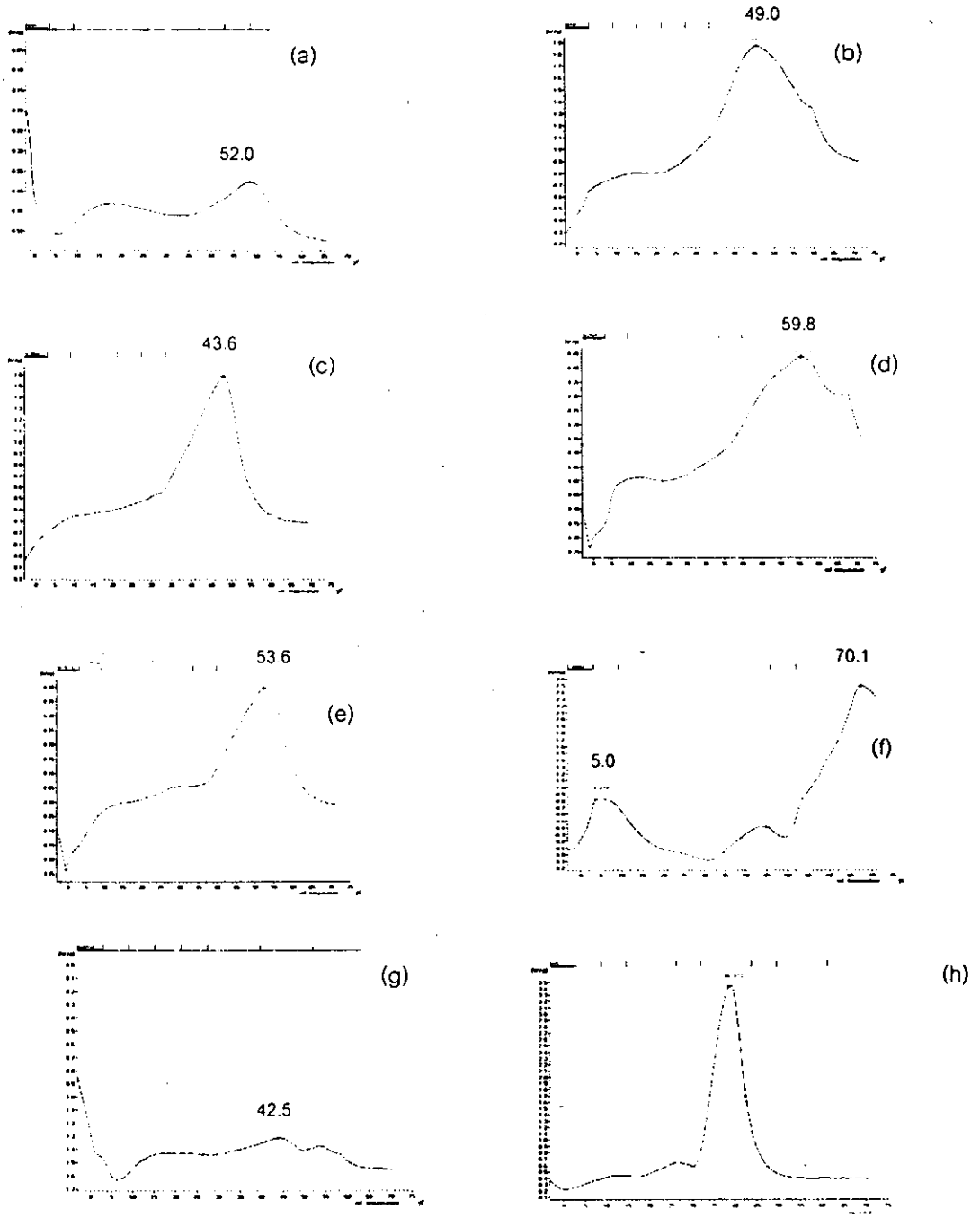
ชนิดน้ำมัน	ปริมาณเอนไซม์ (%)	อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา h.	พีเอช	ค่าไอโอดีน	ช่วงการหลอมเหลว (^{o}C)
PO:PS						
40:60	5	45	24	6.5	40.82	34-36
40:60	5	50	18	6.5	40.85	35-37
30:70	5	45	24	6.5	40.11	36-38
30:70	2.5	50	18	6.5	40.62	32-34
30:70	5	50	12	6.5	40.26	35-37
30:70	5	50	18	6.5	39.54	35-37
20:80	2.5	45	18	6.5	40.54	35-37

- ช่วงการหลอมเหลววัดด้วยเครื่อง Fisher- John Apparatus

ตารางที่ 19 สภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรน้ำมันปาล์มผสมโดยเอนไซม์ novozyme

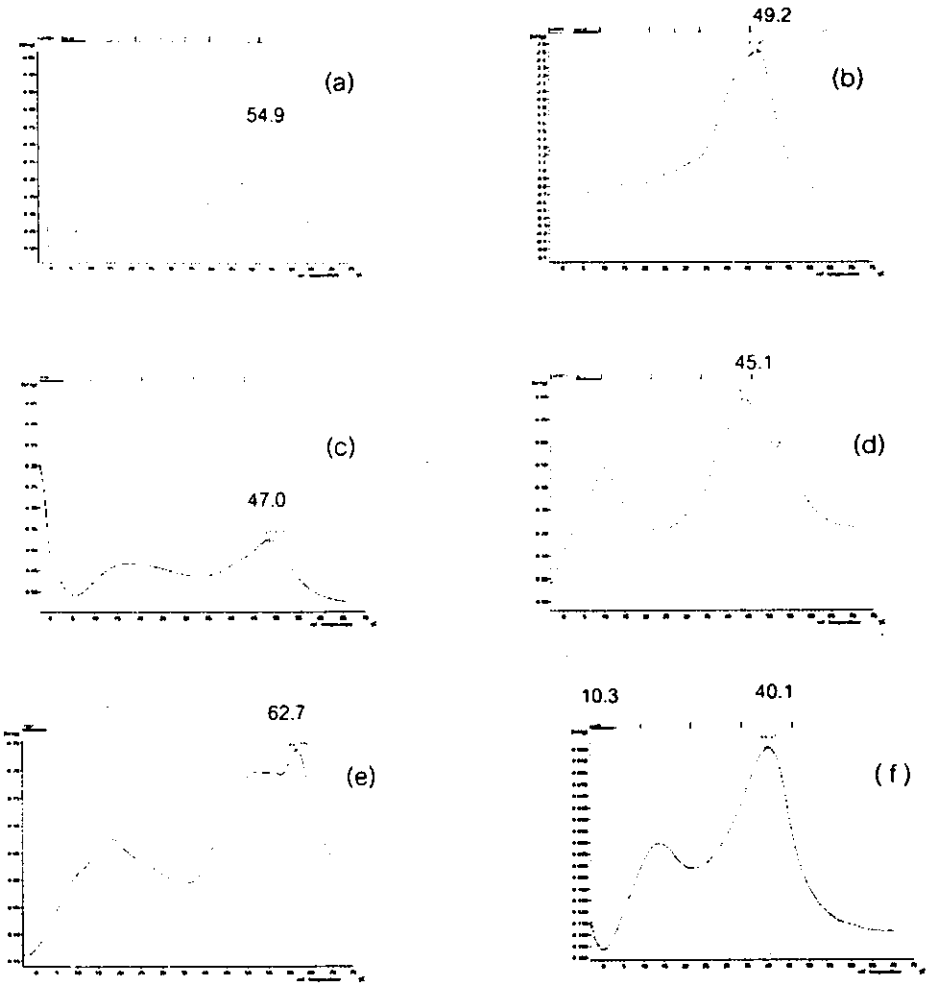
ชนิดน้ำมัน	ปริมาณเอนไซม์ (%)	อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลา h.	พีเอช	ค่าไอโอดีน	ช่วงการหลอมเหลว (^{o}C)
PO:PS						
40:60	5	50	18	6.5	40.37	34-36
40:60	5	50	24	6.5	38.65	35-37
30:70	5	45	24	6.5	40.48	35-37
30:70	5	50	18	6.5	39.64	33-35
30:70	2.5	50	24	6.5	39.54	33-35
30:70	5	50	24	6.5	39.29	34-36
20:80	2.5	45	18	6.5	40.63	36-38
20:80	2.5	45	24	6.5	38.14	38-40
20:80	5	45	18	6.5	39.77	37-39

* ช่วงการหลอมเหลววัดด้วยเครื่อง Fisher- John Apparatus



รูปที่ 2 รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS จากการดัดแปรน้ำมันปาล์มผสม โดยใช้เอนไซม์ Lipozyme

(a)	PO:PS = 40:60	ปริมาณเอนไซม์ 5%	อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	เวลา 24 ชั่วโมง
(b)	PO:PS = 40:60	ปริมาณเอนไซม์ 5%	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	เวลา 18 ชั่วโมง
(c)	PO:PS = 30:70	ปริมาณเอนไซม์ 5%	อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	เวลา 24 ชั่วโมง
(d)	PO:PS = 30:70	ปริมาณเอนไซม์ 2.5%	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	เวลา 18 ชั่วโมง
(e)	PO:PS = 30:70	ปริมาณเอนไซม์ 5%	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	เวลา 12 ชั่วโมง
(f)	PO:PS = 30:70	ปริมาณเอนไซม์ 5%	อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	เวลา 18 ชั่วโมง
(g)	PO:PS = 20:80	ปริมาณเอนไซม์ 2.5%	อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	เวลา 18 ชั่วโมง
(h)	รูปแบบการหลอมเหลวของ CB			



รูปที่ 3 รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS จากการดัดแปรน้ำมันปาล์มผสมโดยใช้เอนไซม์ Novozyme

(a) PO:PS = 40:60 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง

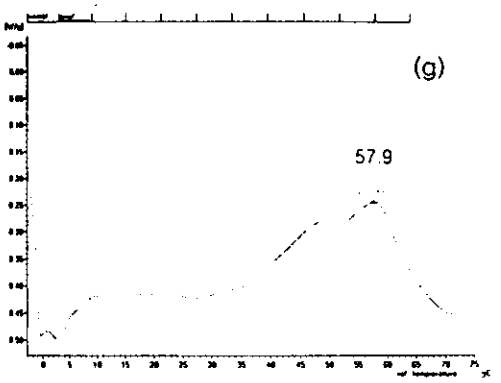
(b) PO:PS =40:60 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง

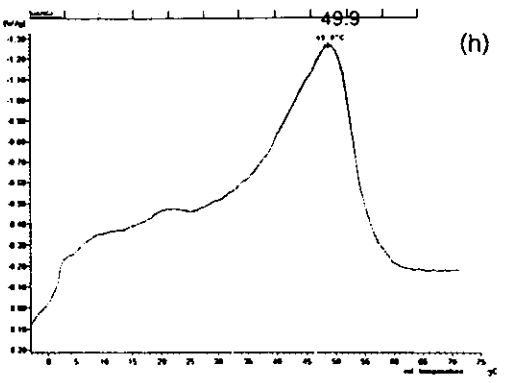
(c) PO:PS = 30:70 บรมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง

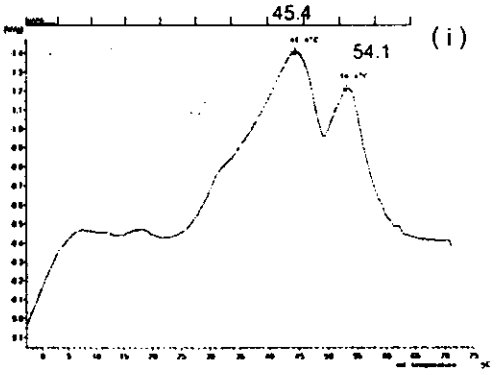
(d) PO:PS = 30:70 ปริมาณเอนไซม์ 2.5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง

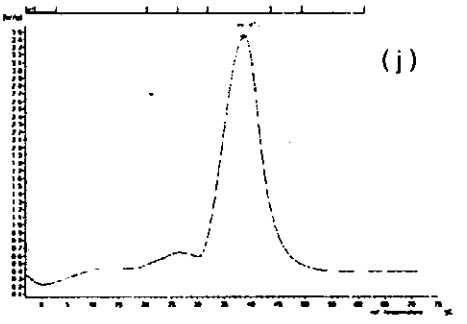
(e) PO:PS = 30:70 ปริมาณเอนไซม์ 2.5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง

(f) PO:PS = 30:70 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง









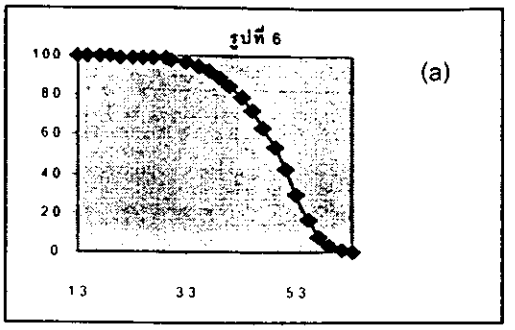
รูปที่ 3 (ต่อ) รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS **จากการดัดแปรน้ำมันปาล์มผสมโดยใช้เอนไซม์** Novozyme

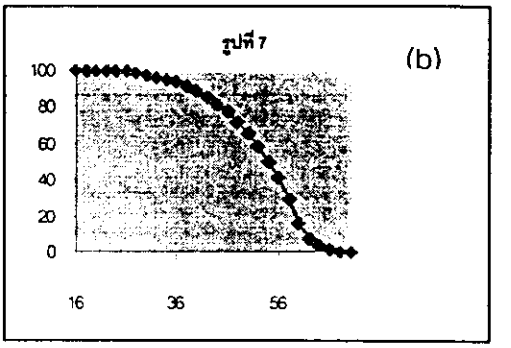
(g) PO:PS = 20 :80 ปริมาณเอนไซม์ 2.5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

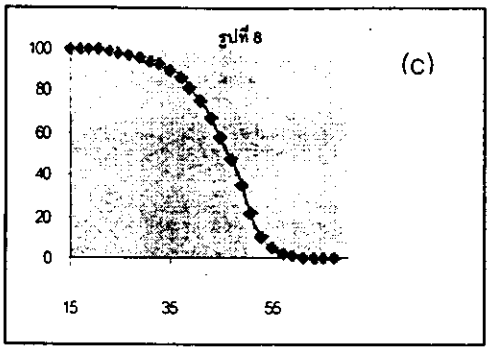
(h) PO:PS = 20 :80 ปริมาณเอนไซม์ 2.5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง

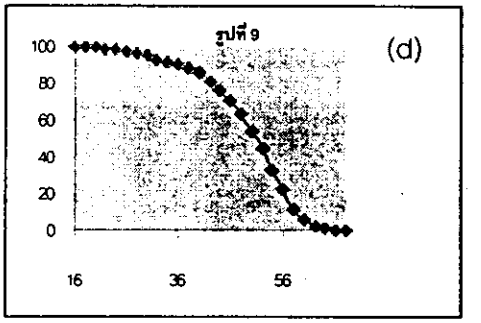
(i) PO:PS = 20 :80 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

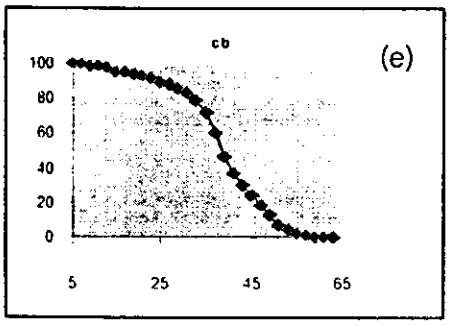
(j) รูปแบบการหลอมเหลวของ CB











รูปที่ 4 กราฟ SFC (Solid Fat Content) ของ CBS จากการดัดแปรน้ำมันปาล์มผสมโดยใช้เอนไซม์ Lipozyme

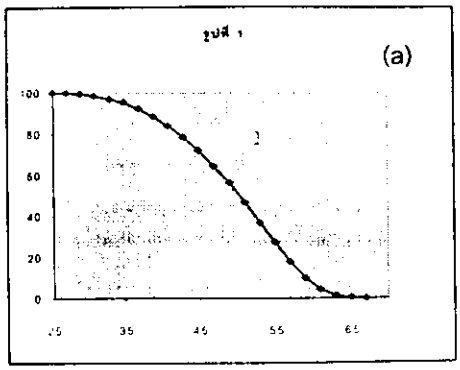
(a) PO:PS = 40 :60 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง

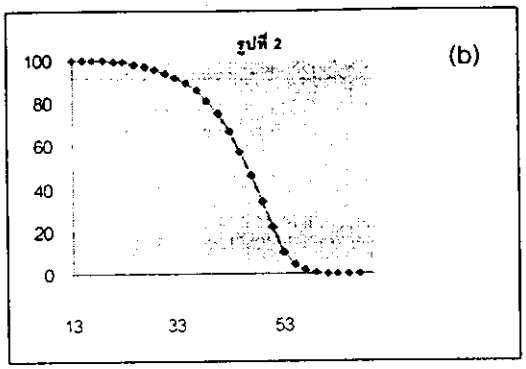
(b) PO:PS = 40 :60 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

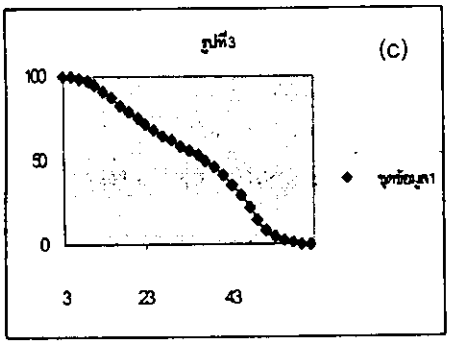
(c) PO:PS = 30 :70 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง

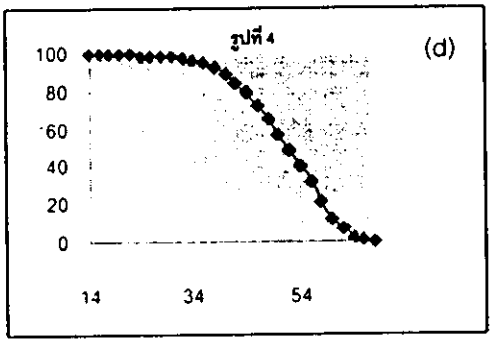
(d) PO:PS = 30 :70 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเวลา 12 ชั่วโมง

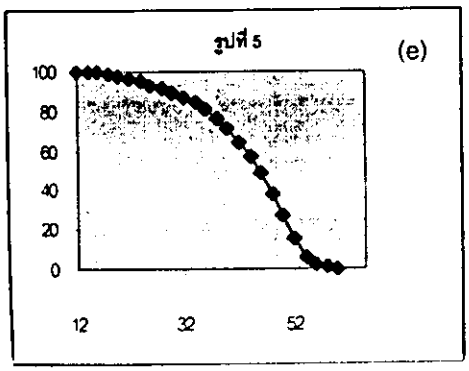
(e) SFC ของ CB











รูปที่ 5 กราฟ SFC (Solid Fat Content) ของ CBS จากการดัดแปรน้ำมันปาล์มผสมโดยใช้เอนไซม์ Novozyme

(a) PO:PS = 40 :60 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

(b) PO:PS = 40 :60 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง

(c) PO:PS = 30 :70 ปริมาณเอนไซม์ 5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง

(d) PO:PS = 20 :80 ปริมาณเอนไซม์ 2.5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเวลา 18 ชั่วโมง

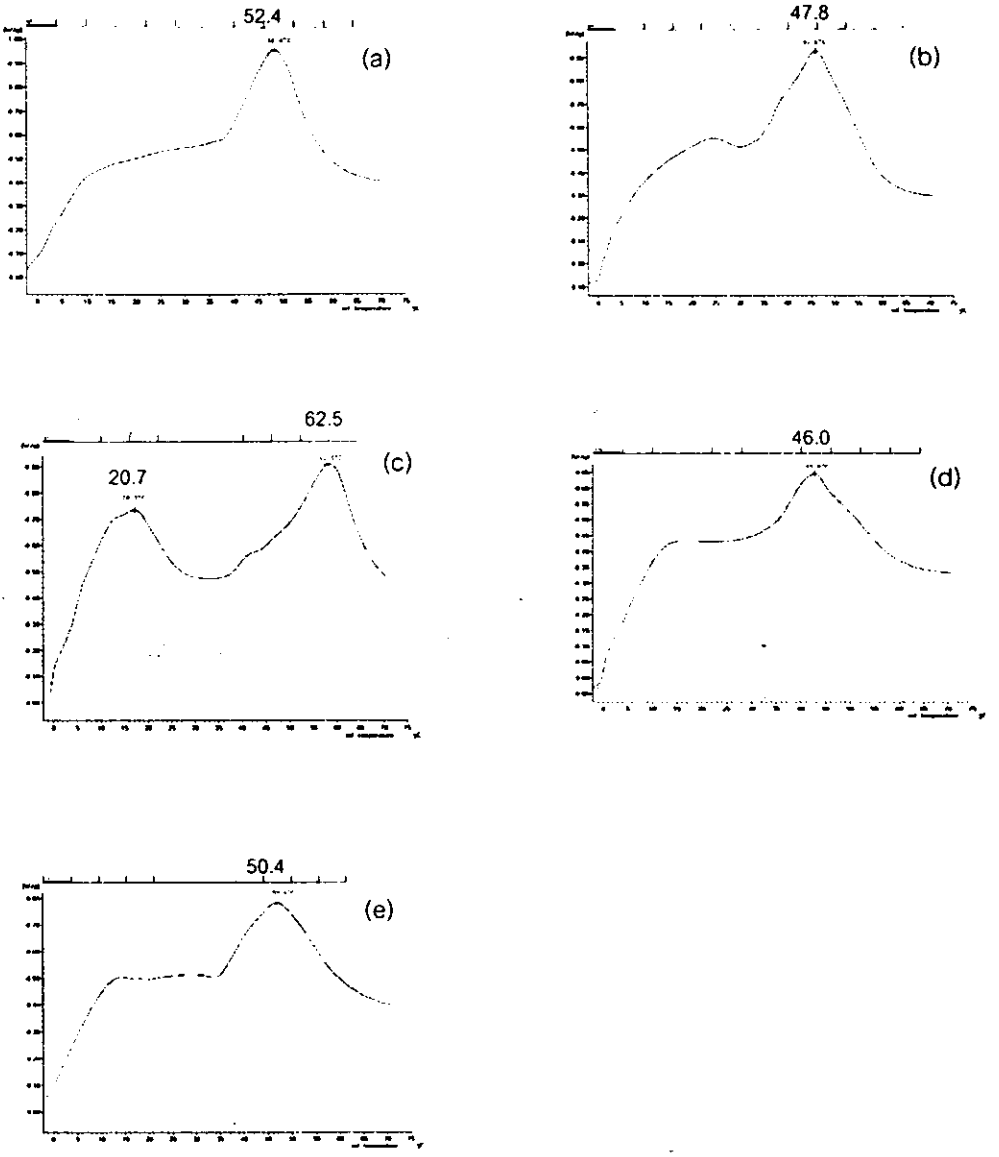
(e) PO:PS = 20 :80 ปริมาณเอนไซม์ 2.5% อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง

3. ผลการศึกษาสภาวะการปรับผลึกไขมันของน้ำมันดัดแปร

จากการทดลองใช้สภาวะการปรับผลึกไขมันตามวิธีการต่าง ๆ แล้ววิเคราะห์รูปแบบการหลอมเหลวและปริมาณไขมันแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า Cocoa butter substitute (CBS) ได้ผลดังรูปที่ 6-17 จะเห็นได้ว่าชุดทดลองของ PO:PS =30:70 ที่ใช้สภาวะการปรับผลึกที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะมีรูปแบบการหลอมเหลว และค่า T_{max} ใกล้เคียงกับเนยโกโก้มากที่สุด ส่วนชุดการทดลองที่ใช้ PO:PS =40:60 ด้วยสภาวะการปรับผลึกที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 36 ชั่วโมง จะมีค่า T_{max} ใกล้เคียงกับ CB มากที่สุด อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณา SFCจากผลการทดลองในรูปที่ 17 พบว่า สภาวะการปรับผลึกที่อุณหภูมิ10 องศาเซลเซียส เวลา 36 ชั่วโมงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ SFC ของ PO:PS =40:60มีรูปแบบใกล้เคียงกับ SFC ของ CB นอกจากนี้พบว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 36 องศาเซลเซียส SFC ของ CBS มีค่าต่ำกว่า SFC ของ CB เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Sridharและคณะ(1991) จึงคัดเลือกชุดการทดลอง PO:PS = 40:60 สภาวะการปรับผลึกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็น CBS ในการศึกษาต่อไป

4. ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันและปริมาณกลีเซอไรด์

CBS ที่ผลิตจากสภาวะที่คัดเลือกจากผลการทดลองในข้อ 1, 2 และ 3 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันด้วย GC และวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอไรด์ด้วย TLC ได้ผลดังตารางที่ 20 จะเห็นได้ว่า CBS จะมีกรด palmitic มากกว่าและมี stearic น้อยกว่า CB แต่สัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมัน (s/u) ไม่อิ่มตัว ไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนปริมาณไตรกลีเซอไรด์(TAG)ของ CBS จะน้อยกว่าของ substrate เนื่องจากก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยา interesterification จะเกิดปฏิกิริยา hydrolysis ได้กรดไขมันอิสระ (FFA) ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ (Foglia,et .al.,1993) ทำให้ปริมาณ TAG ลดลง และ FFA ที่ถูกปล่อยออกมาจะสามารถจับกลับเข้าไปในโมเลกุลของกลีเซอรอลแบบสุ่มทำให้ได้ TAG ใหม่ซึ่งมีผลให้คุณสมบัติทางกายภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงการหลอมเหลวของน้ำมันดัดแปรเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนการดัดแปร (Lai,*et .al.*,1998) ผลการทดลองพบว่าปริมาณ TAG , DAG ,MAG และ FFA เท่ากับ 44.79 ,29.74 ,6.80 และ 18.69 % ตามลำดับ ซึ่งปริมาณ TAG จะต่ำกว่า TAG ของinteresterification kokum fat จากผลการทดลองของ Sridharและคณะ(1991) ซึ่งใช้ stearic acid ทำปฏิกิริยา interesterification กับ kokum fat



รูปที่ 6 รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 โดยใช้เอนไซม์ Lipozyme และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

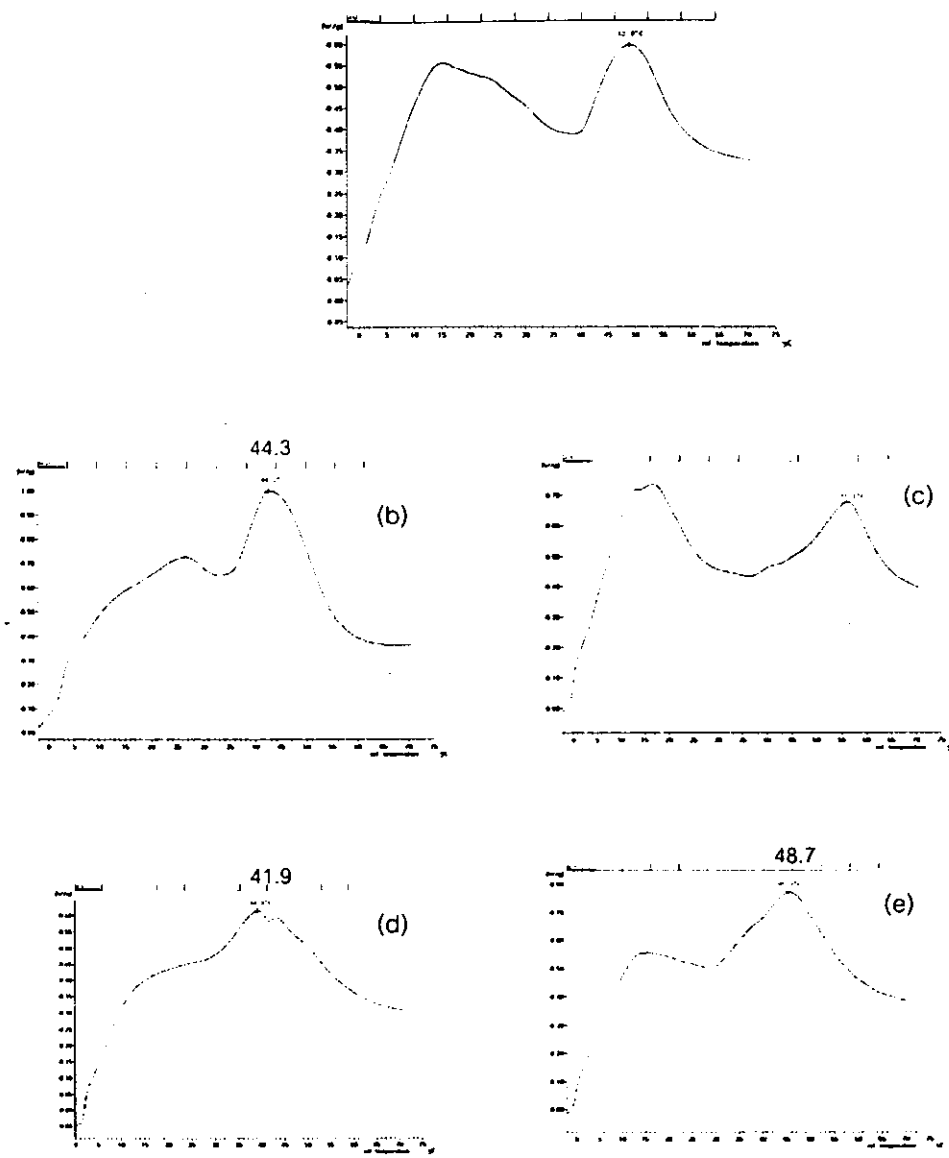
(a) ก่อนการตกผลึก

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

(c) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

(d) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

(e) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน



รูปที่ 7 รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 40:60 โดยใช้เอนไซม์ Lipozyme (อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง) และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

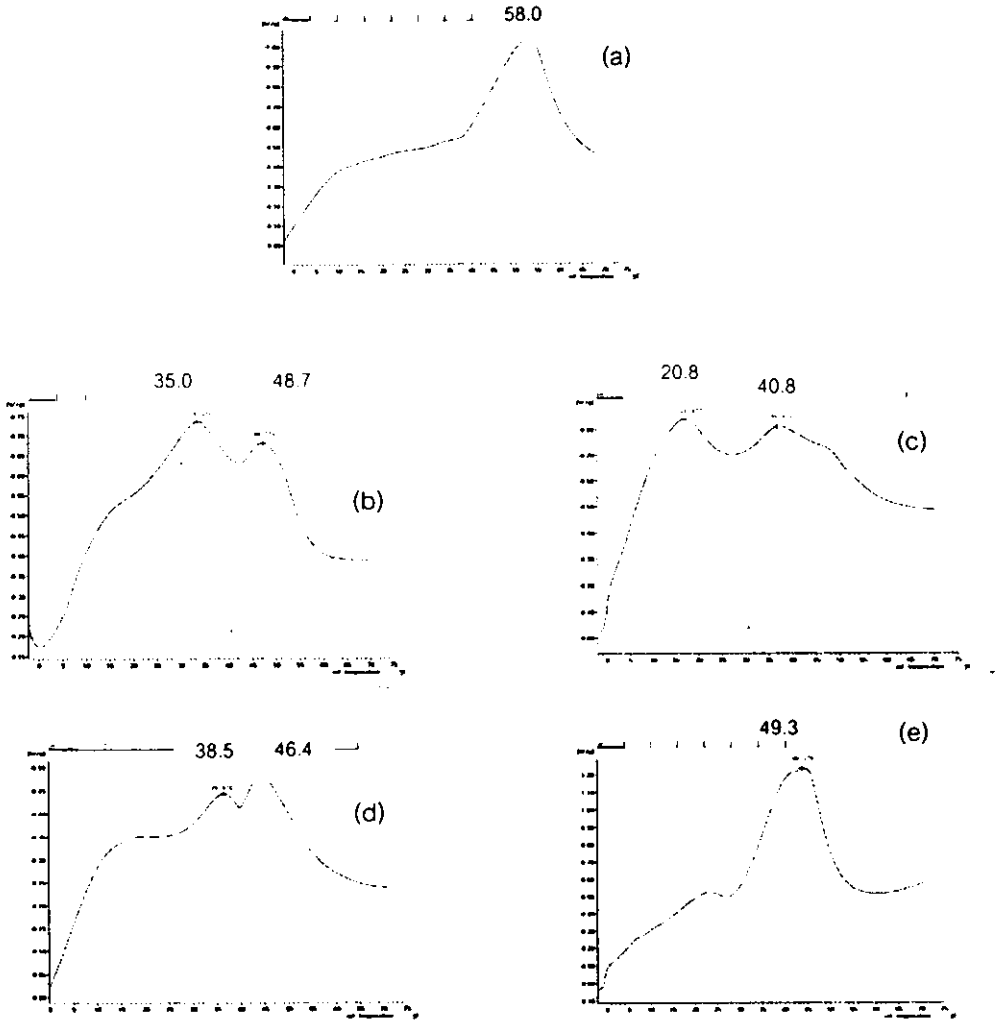
(a) ก่อนการตกผลึก

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

(c) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

(d) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

(e) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน



รูปที่ 8 รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS **ที่ดัดแปรจาก** PO:PS = 30:70 **โดยใช้เอนไซม์** novozyme **และผ่านการตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ**

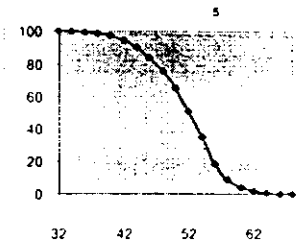
(a) ก่อนการตกผลึก

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

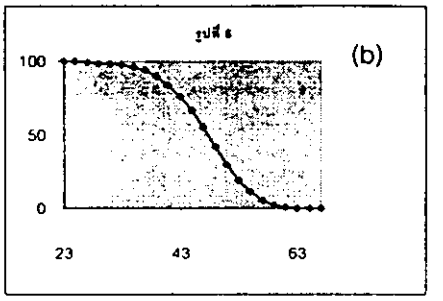
(C) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

(d) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

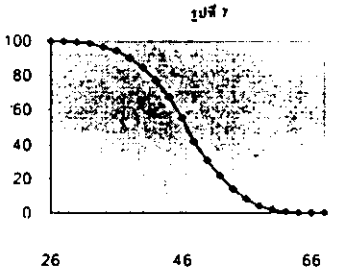
(e) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน



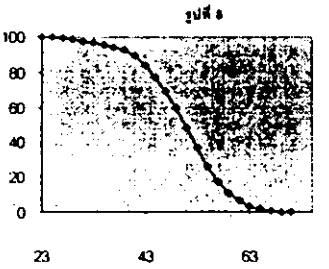
(a)



(b)



(c)



(d)

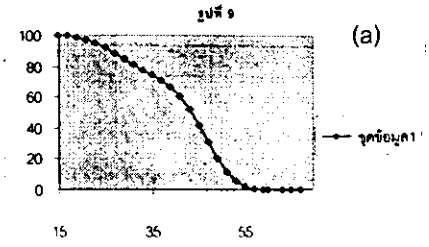
รูปที่ 9 กราฟ SFC (solid Fat content) ของ CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 โดยใช้เอนไซม์ Lipozyme และผ่านการตกผลึกที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

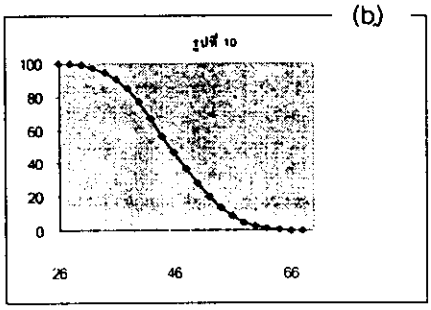
(a) ก่อนการตกผลึก

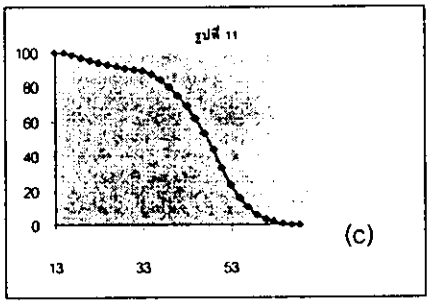
(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

(c) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

(d) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน





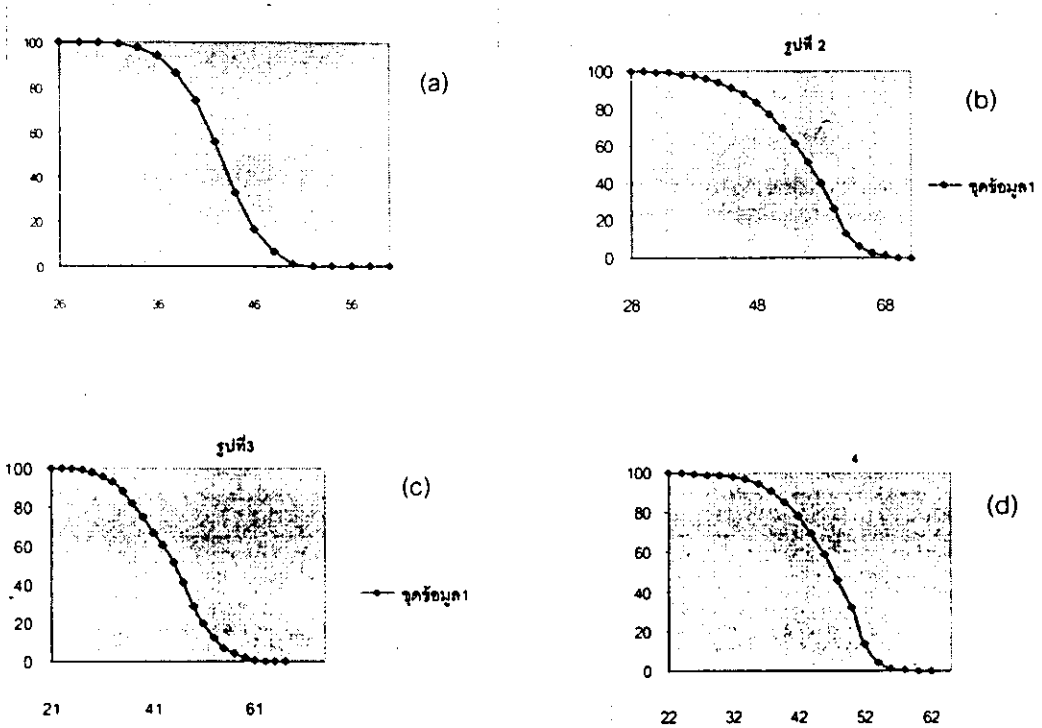


รูปที่ 10 กราฟ SFC (solid Fat content) **ของ** CBS **ที่ดัดแปรจาก** PO:PS = 40:60 **โดยใช้เอนไซม์** Lipozyme **และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ**

(a) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

(c) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน



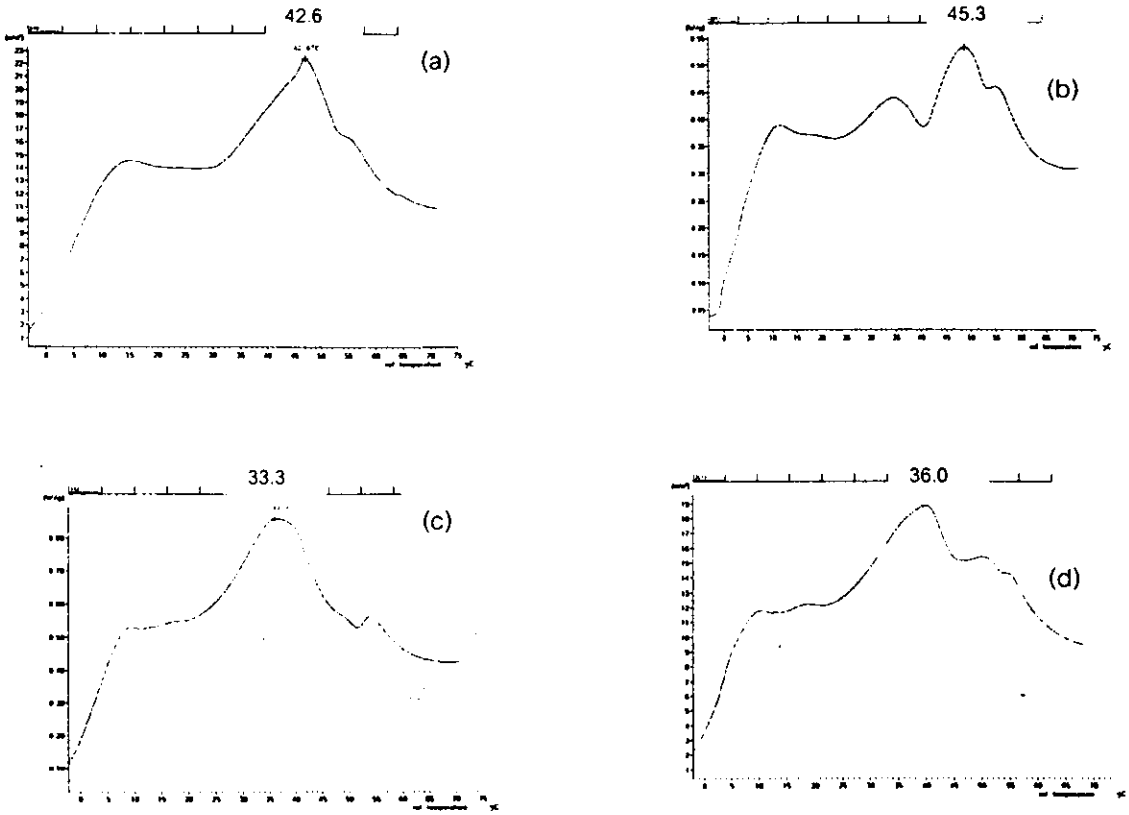
รูปที่ 11 กราฟ SFC (Solid Fat Content) ของ CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 ใช้เอนไซม์ Novozyme และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

(a) SFC ของ CB

(b) ก่อนการตกผลึก

(c) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียสนาน 14 วัน

(d) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เก็บที่ 28-30 องศาเซลเซียสนาน 14 วัน



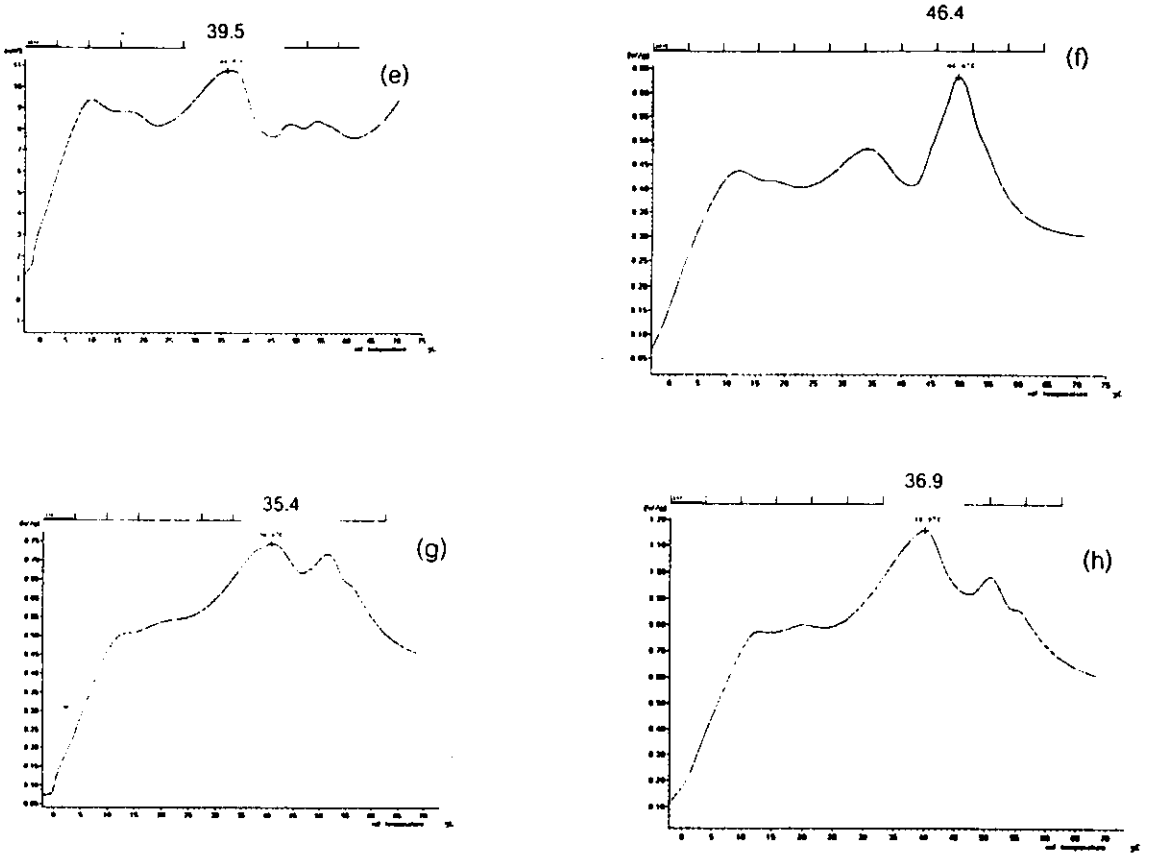
รูปที่ 12 รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 โดยใช้เอนไซม์Lipozyme และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

(a) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

(c) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(d) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง



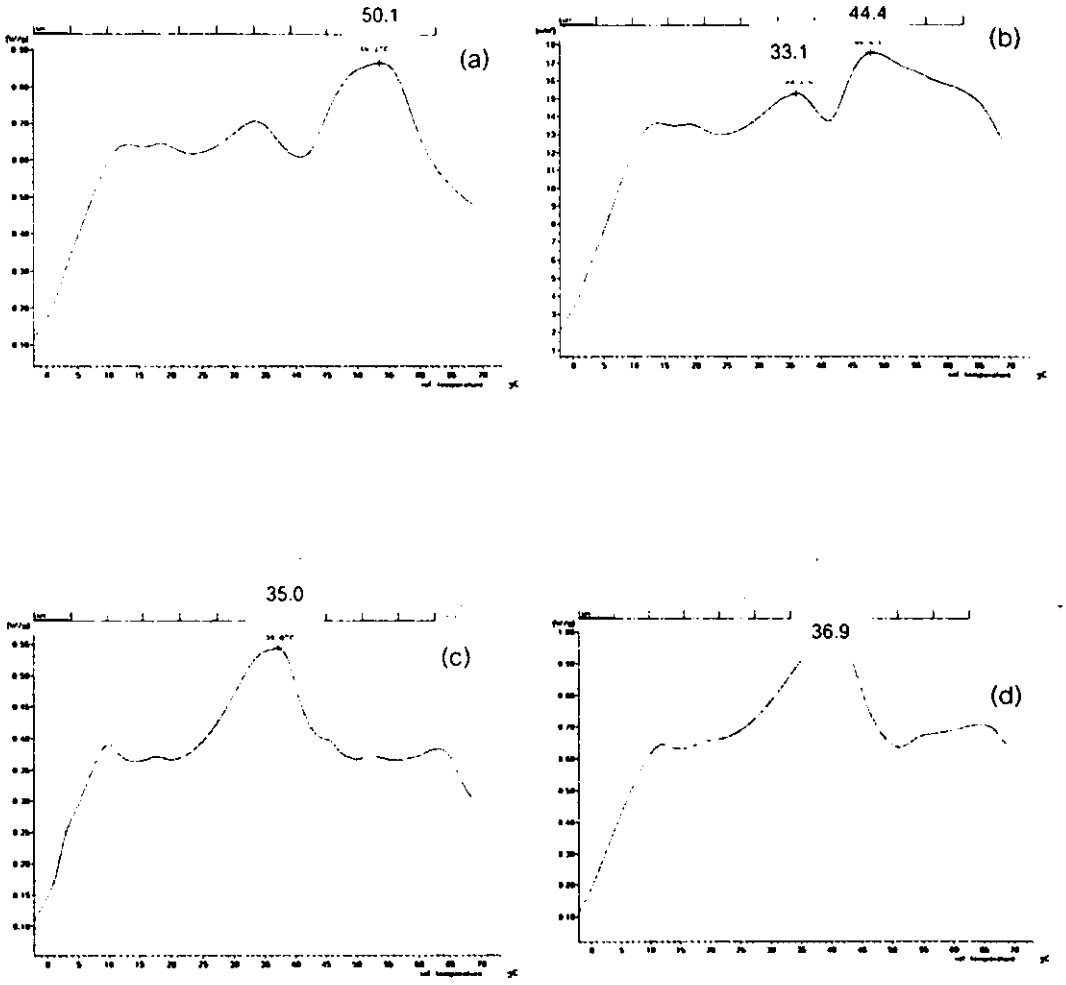
รูปที่ 12 (ต่อ) รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 โดยใช้เอนไซม์ Lipozyme และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

(e) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(f) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

(g) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(h) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง



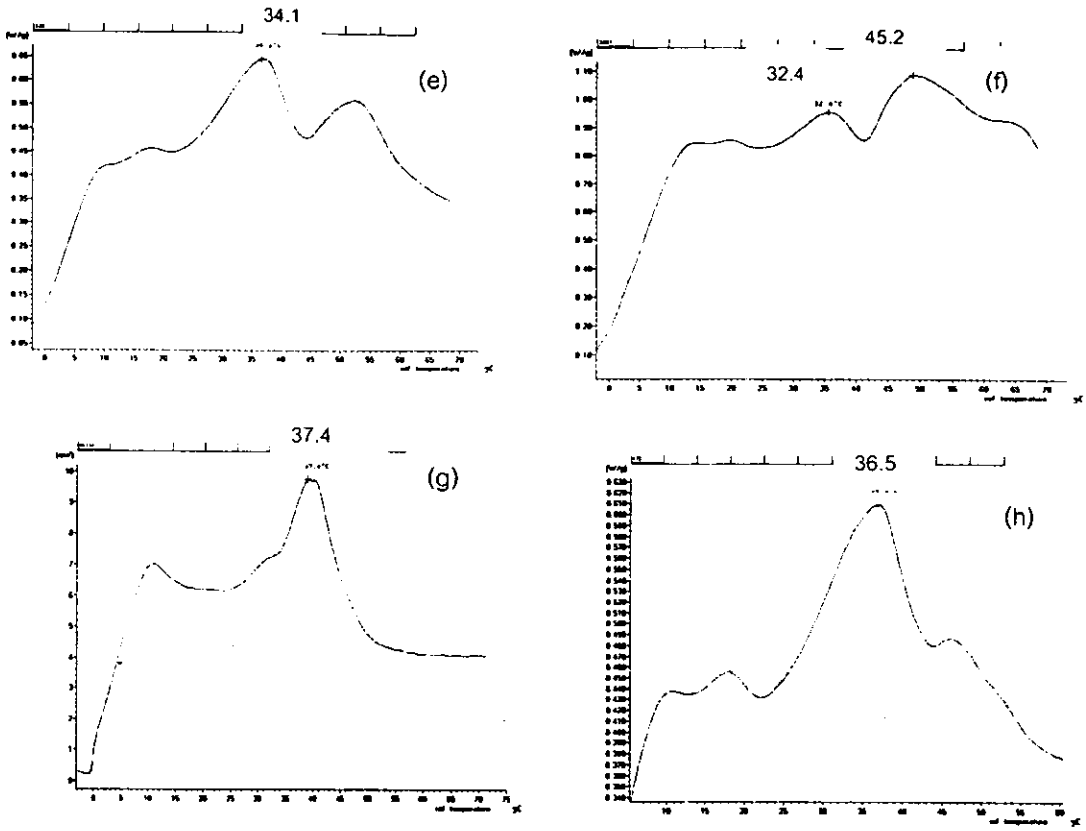
รูปที่ 13 รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 40:60 โดยใช้เอนไซม์ lipozyme และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

(a) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

(c) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(d) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง



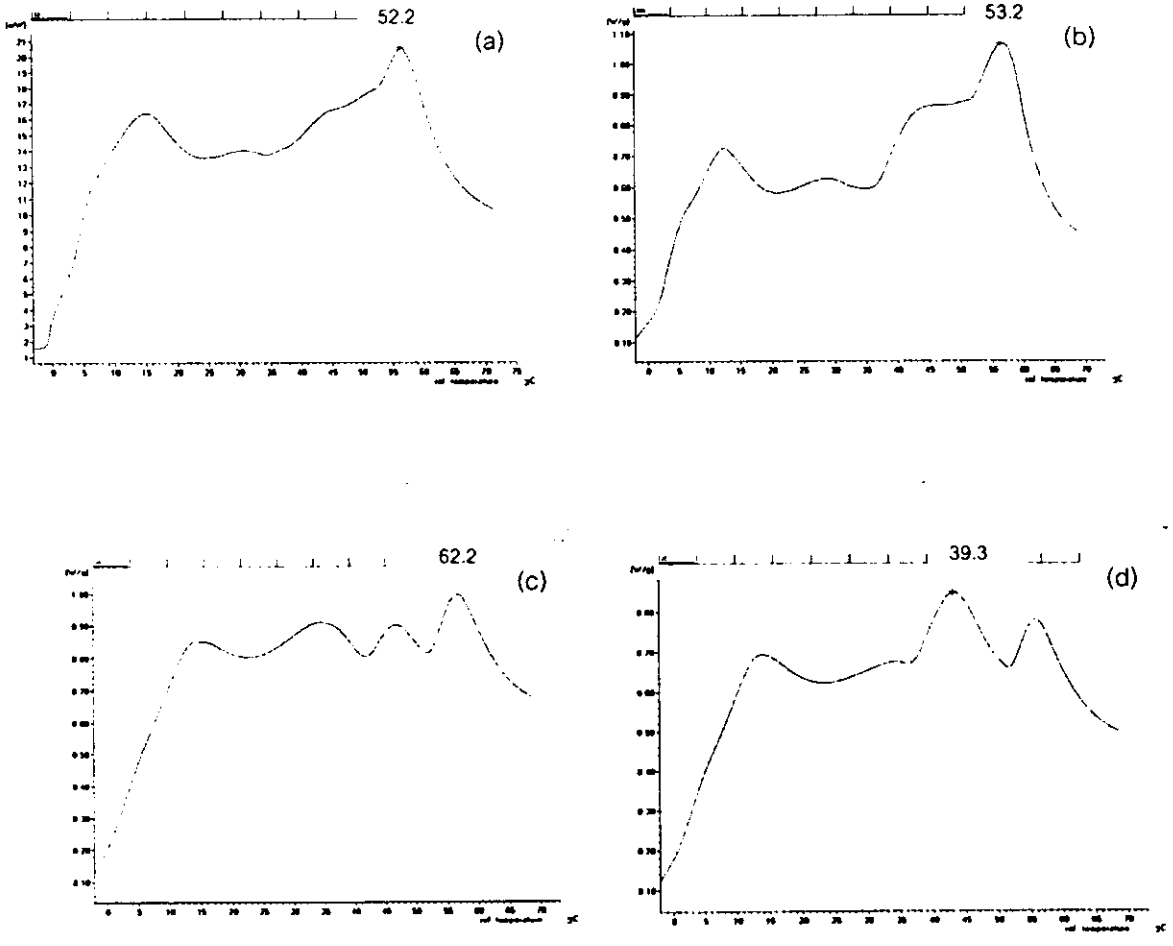
รูปที่ 13 (ต่อ) รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 40:60 โดยใช้เอนไซม์ lipozyme และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

(e) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(f) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

(g) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(h) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง



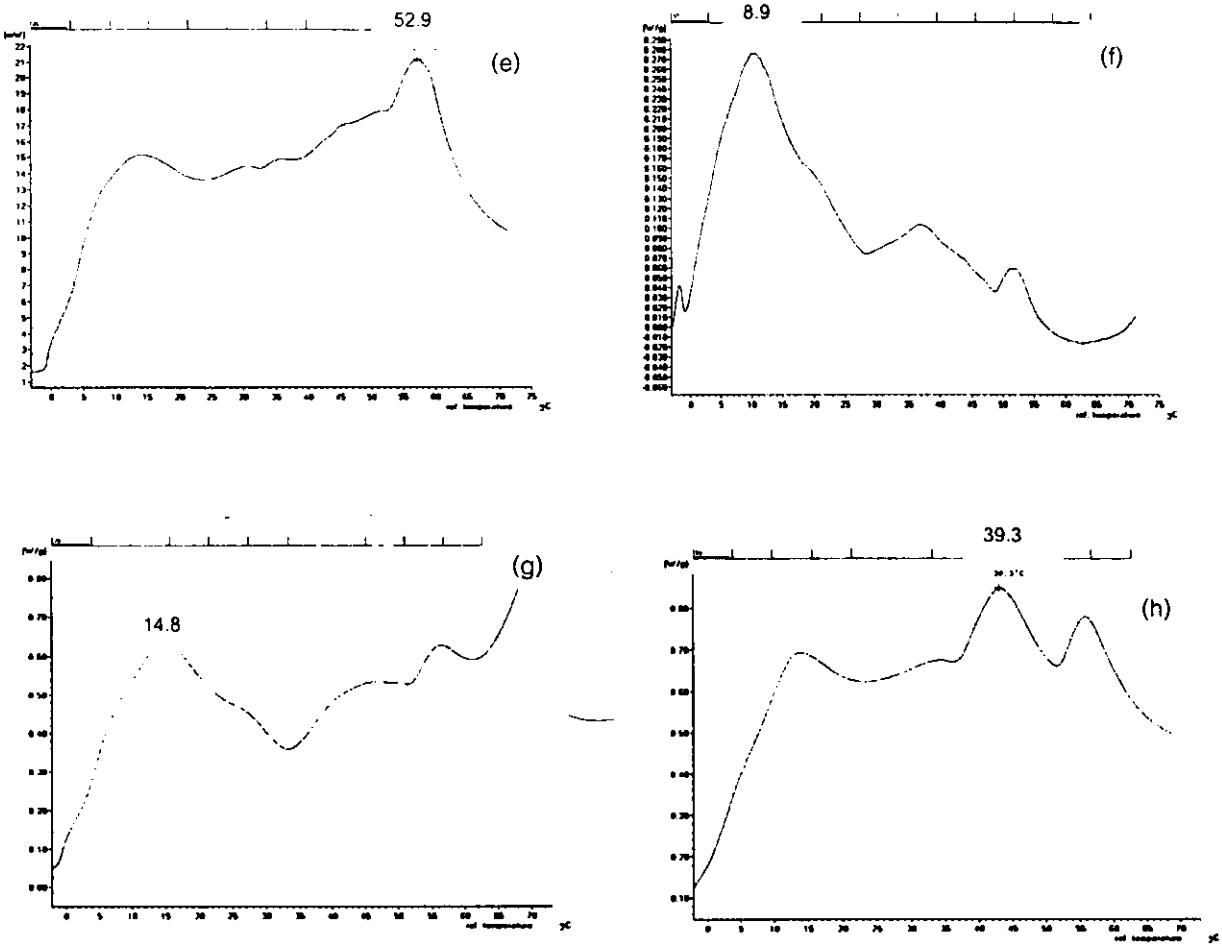
รูปที่ 14 รูปแบบการหลอมเหลว CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 โดยใช้เอนไซม์ Novozyme (อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส) และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

(a) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

(c) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(d) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง



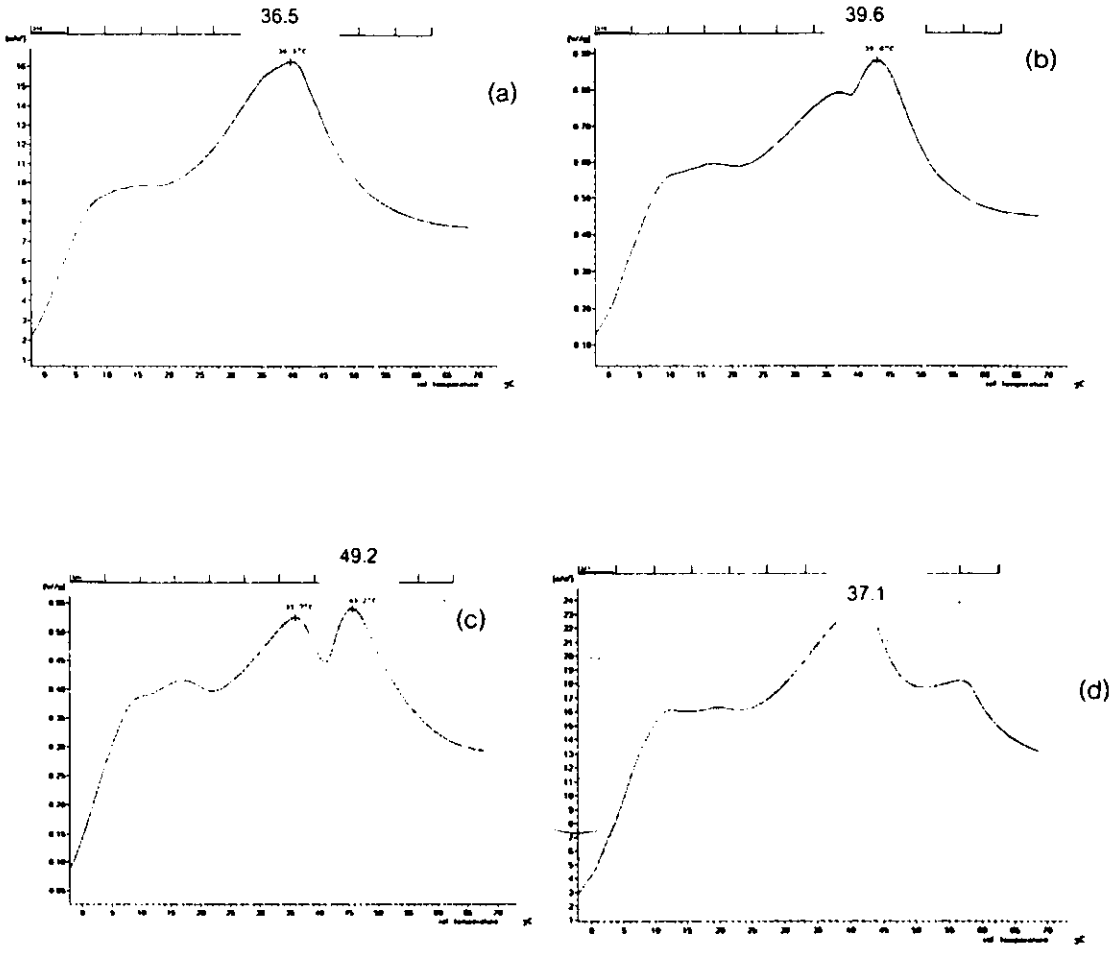
รูปที่ 14 (ต่อ) รูปแบบการหลอมเหลว CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 โดยใช้ เอนไซม์ Novozyme (อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส) และตกผลึกที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

(e) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(f) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

(g) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(h) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง



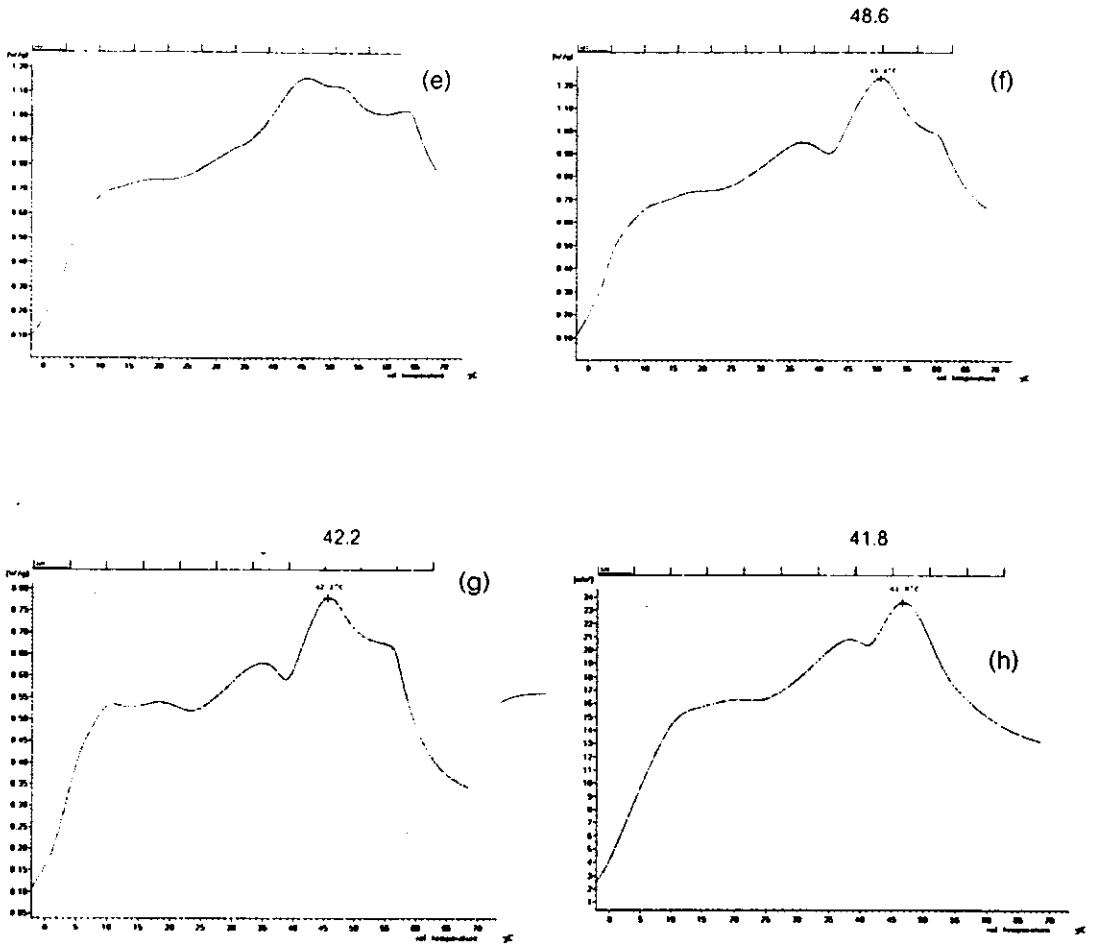
รูปที่ 15 รูปแบบการหลอมเหลว CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 โดยใช้เอนไซม์ Novozyme (อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) และตกผลึกที่อุณหภูมิและสภาวะต่าง ๆ

(a) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

(c) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(d) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง



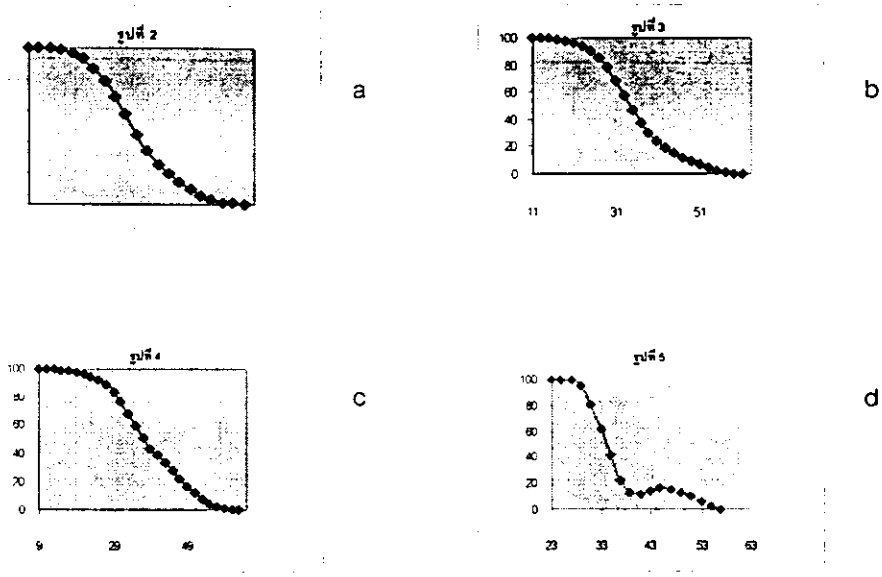
รูปที่ 15 (ต่อ) รูปแบบการหลอมเหลว CBS ที่ดัดแปรจาก PO:PS = 30:70 โดยใช้เอนไซม์ Novozyme (อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) และตกผลึกที่อุณหภูมิและสภาวะต่าง ๆ

(e) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(f) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

(g) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(h) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง



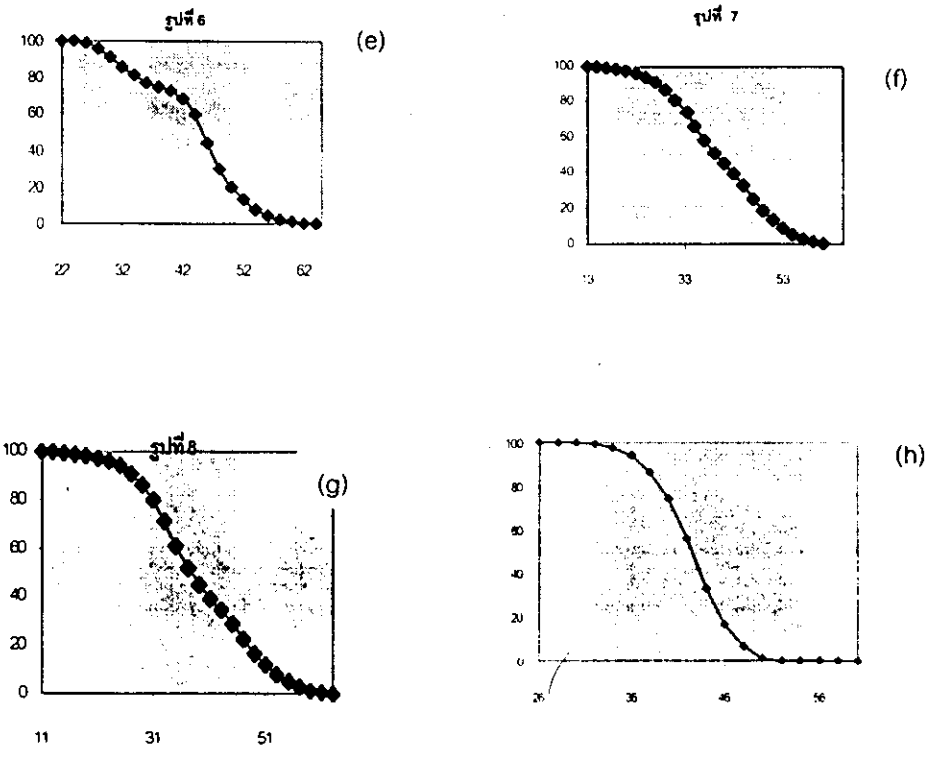
รูปที่ 16 กราฟ SFC (solid Fat content) **ของ** CBS **จาก** PO:PS=30:70 **โดยใช้เอนไซม์** Lipozyme **อุณหภูมิ** 45 **องศาเซลเซียส นาน** 24 **ชั่วโมง แล้วตกผลึกที่สภาวะต่าง ๆ**

(a) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(c) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

(d) อุณหภูมิ 10องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง



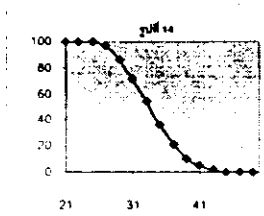
รูปที่ 16 (ต่อ) กราฟ SFC (solid Fat content) ของ CBS จาก PO:PS=30:70 โดยใช้เอนไซม์ Lipozyme อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วตกผลึกที่สภาวะต่าง ๆ

(e) อุณหภูมิ 10องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

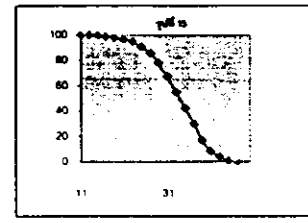
(f) อุณหภูมิ 10องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(g) อุณหภูมิ 10องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

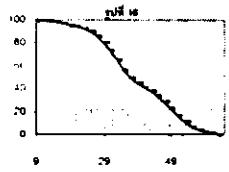
(h) SFC ของ CB



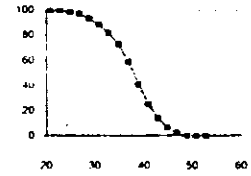
a



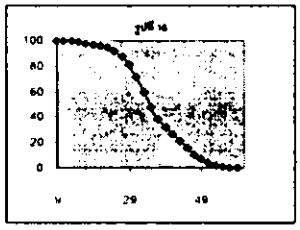
b



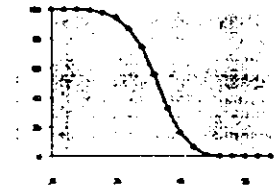
c



d



e



f

รูปที่ 17 กราฟ SFC (solid Fat content) ของ CBS จากPO:PS=40:60โดยใช้เอนไซม์ Lipozyme อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วตกผลึกที่สภาวะต่าง ๆ

(a) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(b) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

(c) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

(d) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง

(e) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

(f) SFC ของCB

ตารางที่ 20 ชนิดและปริมาณกลีเซอไรด์ในน้ำมันชนิดต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วย TLC

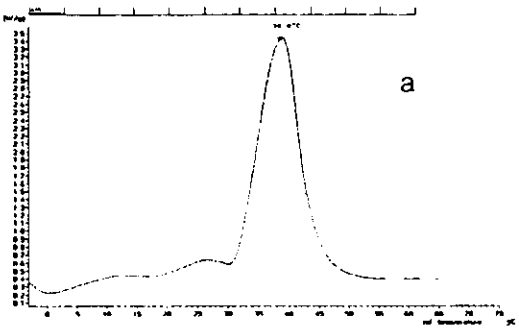
ชนิดน้ำมัน	องค์ประกอบกลีเซอร์ไรด์ (%)							
	TAG	FFA	1-3,DAG	1-2,DAG	MAG	Palmitic	Stearic	Oleic
PS	95.95	-	1.23	2.82	-			
PO	96.80	-	2.20	1.00	-			
PKO	100	-	-	-	-			
CB	100	-	-	-	-	27.39	36.64	33.30
PO: PS=40:60	95.63	-	3.52	0.86	-			
CBS	44.79	18.69	18.86	10.88	6.80	51.64	5.02	33.81

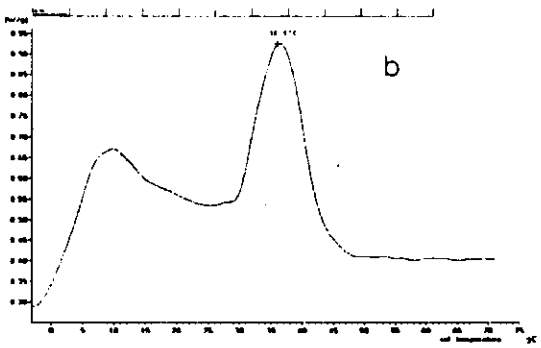
5. **ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนยโกโก้เทียมโดยใช้เอนไซม์** Lipozyme TL

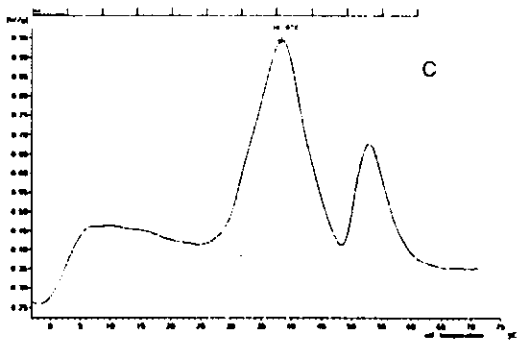
จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมเนยโกโก้เทียมคือระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้รูปแบบการหลอมเหลว จุดหลอมเหลว และปริมาณไขมันแข็งใกล้เคียงกับเนยโกโก้มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ระดับอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนยโกโก้เทียม(CBS) เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

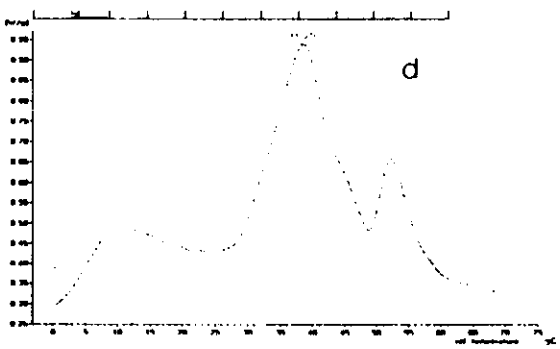
ตารางที่ 21 จุดหลอมเหลว (Tpeak) ของโกโก้บัตเตอร์ และของเนยโกโก้เทียมจากน้ำมันปาล์มผสมที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอนไซม์ไลเปส Lipozyme TL โดยใช้ระดับอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน

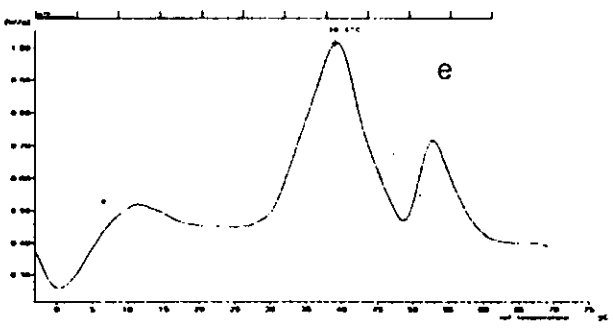
ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่ว โมง)	อุณหภูมิการหลอมเหลว		
			Tpeak (°C)	Tonset (°C)	Tendset (°C)
โกโก้บัตเตอร์(CB)			36.8	29.8	51.6
เนยโกโก้เทียม(CBS)	45	16	35.5	28.2	46.3
		20	38.5	29.2	48.7
		24	37.8	27.0	61.0
		28	38.6	26.0	63.0
	50	16	40.7	25.0	56.9
		20	41.7	22.9	55.0
		24	41.9	26.7	56.0
		26	42.1	26.2	55.9
	55	16	39.2	23.5	51.8
		20	38.7	25.6	49.7
		24	38.6	23.22	52.9
		28	38.9	22.7	55.5



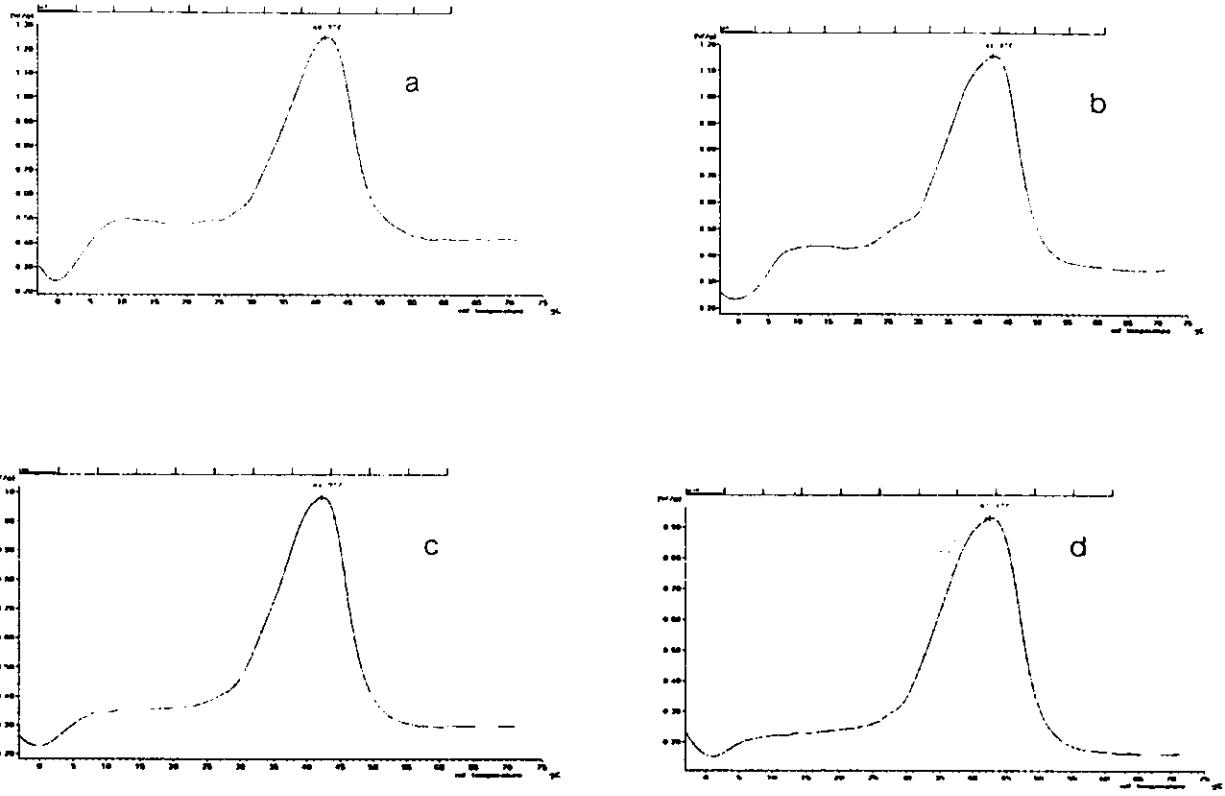




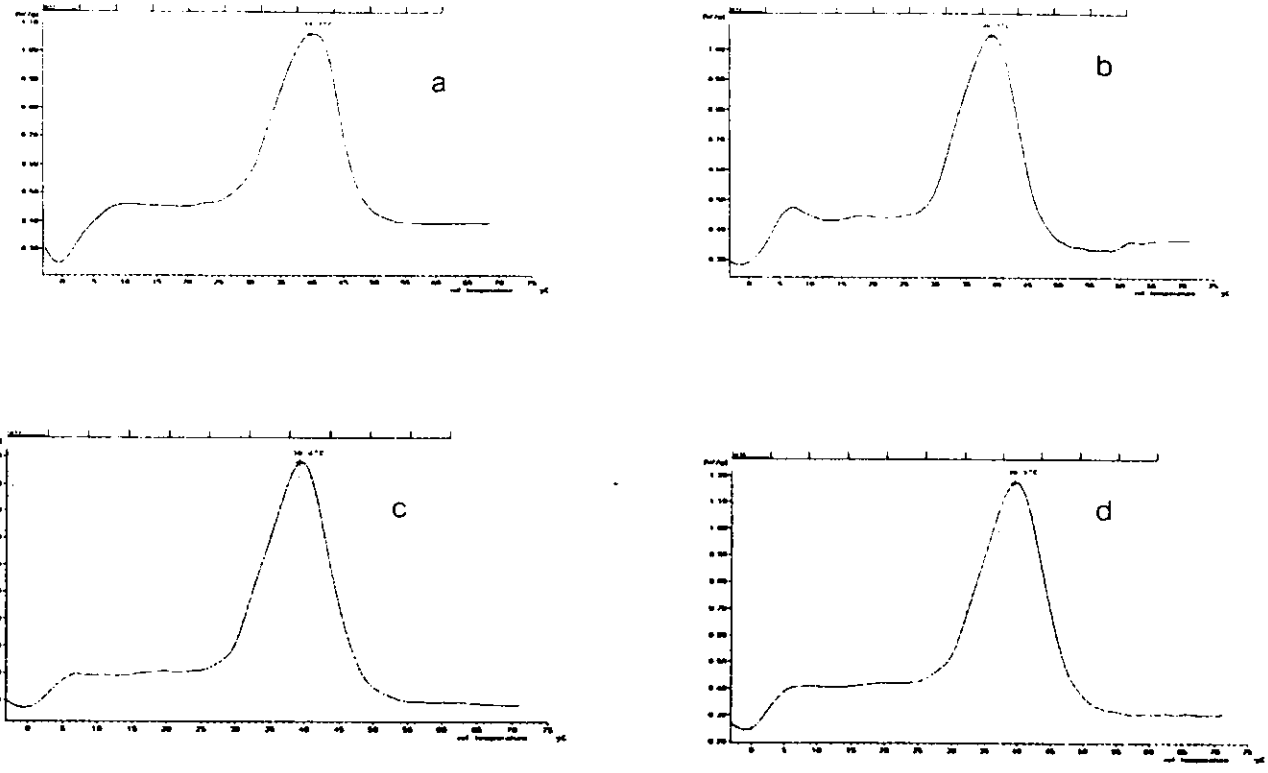




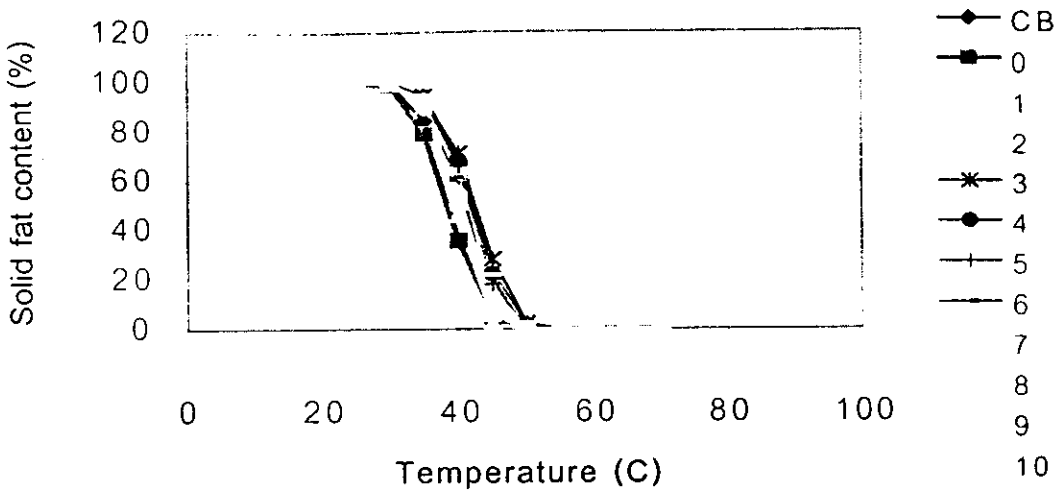
รูปที่ 18 รูปแบบการหลอมเหลวของน้ำมันปาล์มผสมที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอนไซม์ไลเปสที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (b), 20 (c) , 24 (d) และ 28 (e) ชั่วโมง เปรียบเทียบกับโกโก้บัตเตอร์ (a)



รูปที่ 19 รูปแบบการหลอมเหลวของน้ำมันปาล์มผสมที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอนไซม์ไลเปสที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16(a), 20 (b), 24 (c) และ 28 (d) ชั่วโมง.



รูปที่ 20 รูปแบบการหลอมเหลวของน้ำมันปาล์มผสมที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอนไซม์ไลเปสที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16(a), 20 (b) , 24 (c) และ 28 (d) ชั่วโมง



รูปที่ 21 กราฟDSC ของCBS จากการใช้เอนไซม์ที่นำกลับมาใช้ซ้ำ 10 ครั้ง

7. คำนวณต้นทุนการผลิต

ผลิตไขมันเลียนแบบเนยโกโก้ (CBS)จากน้ำมันปาล์มเสตียรินผสมกับปาล์มโอเลอิน (60:40) 1000 กรัม จะต้องใช้ต้นทุนในการผลิตดังนี้

น้ำมันปาล์มโอเลอิน

1000 กรัม ราคา 28 บาท

ถ้า 400 กรัม ราคา 11.2 บาท

น้ำมันปาล์มเสตียริน

1000 กรัม ราคา 19 บาท

ถ้า 600 กรัม ราคา 11.4 บาท

enzyme lipase

1000 กรัม ราคา 5000 บาท

ถ้า 50 กรัม ราคา 250 บาท

- หมายเหตุ เอนไซม์ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 10 ครั้ง ดังนั้นจึงสามารถผลิต CBS ได้ 1000x10 = 10000 กรัม

เพราะฉะนั้นจะต้องใช้ต้นทุนทั้งหมด.ดังนี้

น้ำมันปาล์มโอเลอิน	11.2x10 = 112 บาท
น้ำมันปาล์มเสตียริน	11.4x10 = 114 บาท
enzyme lipase	250 บาท
รวม	476 บาท

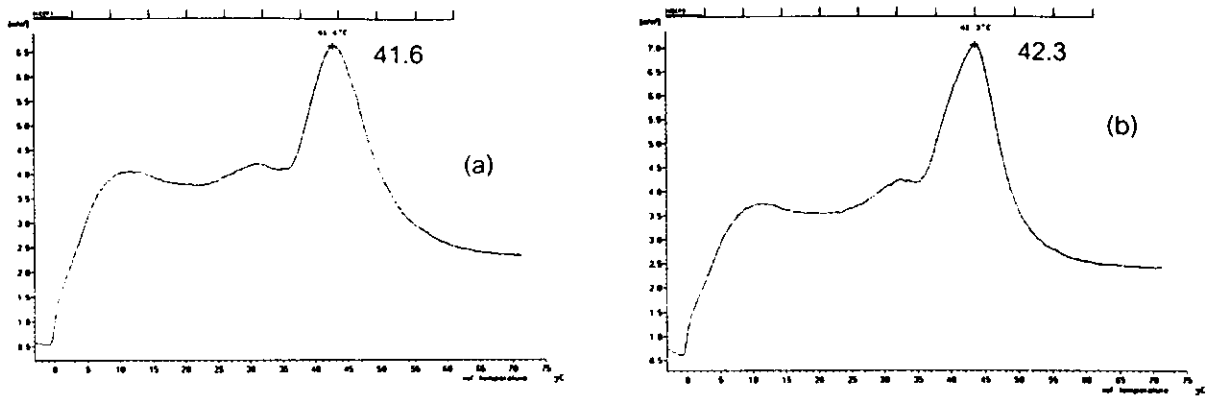
ผลได้ของการผลิต CBS (% yield) เป็น 98.1 % ดังนั้นการผลิต CBS 10000 กรัม จะได้ CBS 9810 กรัม (9.81 กิโลกรัม) ราคากิโลกรัมละ 476 / 9.81 = 48.52 บาท

8. **ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของ CBS ระหว่างการเก็บรักษา**

จากการนำชุดการทดลอง PO:PS = 40:60 ที่ผ่านการดัดแปรมาแล้วและผ่านการการตกผลึกที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเวลา 36 ชั่วโมง มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าไอโอดีน ค่าสปอนิฟิเคชั่น และค่ากรดระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 23 ซึ่งพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ค่าไอโอดีนและค่าสปอนิฟิเคชั่น ลดลง ขณะที่ค่ากรดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา hydrolysis และ autosidation ซึ่งส่งผลให้ช่วงการหลอมเหลวเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเมื่อพิจารณารูปแบบการหลอมเหลวจากรูปที่ 22 จะพบว่าหลังการเก็บ 12 สัปดาห์ T_{mx} เพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งนี้เป็นผลมาจากการลดลงของค่าไอโอดีน

ตารางที่ 23 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของ CBS ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 สัปดาห์ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4 องศาเซลเซียส

	สมบัติทางเคมี		
ระยะเวลาการเก็บรักษา	**ค่าไอโอดีน**	**ค่าสปอนิฟิเคชัน**	**ค่ากรดในรูปกรดโอเลอิก**
สัปดาห์ที่ 0	40.70 ±0.06	202.07 ± 40.01	1.2829 ± 0.0041
สัปดาห์ที่ 2	40.05 ± 0.07	201.24 ± 3.13	1.4576 ± 0.0247
สัปดาห์ที่ 4	40.78 ± 0.89	200.04 ± 0.05	1.6090 ± 0.0250
สัปดาห์ที่ 6	40.04 ± 0.46	200.06 ± 1.67	1.8425 ± 0.0040
สัปดาห์ที่ 8	39.58 ± 0.52	197.80 ± 1.93	2.0307 ± 0.0033
สัปดาห์ที่ 10	39.12 ± 1.21	196.52 ± 2.01	2.4152 ± 0.0003



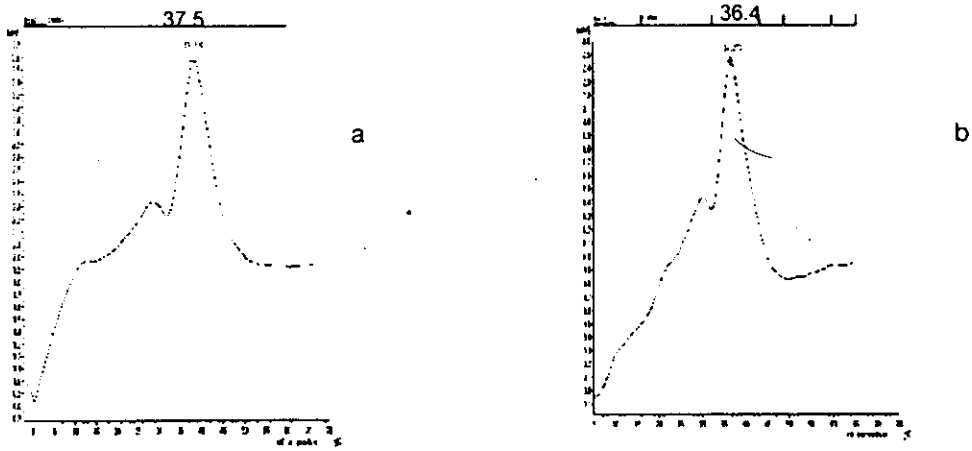
รูปที่ 22 รูปแบบการหลอมเหลวของน้ำมันดัดแปรในระหว่างการเก็บรักษา

(a) รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS สัปดาห์ที่ 10

(b) รูปแบบการหลอมเหลวของ CBS สัปดาห์ที่ 12

9. ผลการนำ CBS ทดแทน CB ในการทำช็อกโกแลต

จากการนำ CBS ไปทดแทน CB ในสูตร dark chocolate โดยใช้สัดส่วนการทดแทน 80 และ 100% แล้วนำไปวิเคราะห์หารูปแบบการหลอมเหลวให้ผลดังรูปที่ 23 พบว่ารูปแบบการหลอมเหลวของช็อกโกแลตสูตรที่ใช้ CBS ทดแทน CB 80% มีค่า T_{max} และลักษณะรูปแบบคล้ายกับของช็อกโกแลต สูตรที่ใช้ CB 100%



รูปที่ 23 รูปแบบการหลอมเหลวของช็อกโกแลตจากการใช้

(a) CB และ (b) CBS:CB = 80:20

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสในรูปแรงกดได้ผลดังตารางที่24 พบว่า ช็อกโกแลตที่มีปริมาณ CBS เป็นส่วนผสมอยู่มากกว่าจะมีค่าแรงกดต่ำกว่า แสดงว่าลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไขมันแข็ง ของช็อกโกแลตที่มี CBS เป็นองค์ประกอบจะมีน้อยกว่าช็อกโกแลตที่ใช้ CB 100%

ตารางที่ 24 ค่าสีและค่าแรงกด (g) ของช็อกโกแลต

ชุดการทดลอง	แรงกดเฉลี่ย* (g)	ค่าสี		
		L	a	b
1. ช็อกโกแลต ที่มี CB 100%	1432.5	20.81	6.51	4.98
2.ช็อกโกแลตที่มี CBS :CB = 80:20	580.3	21.71	6.29	5.53

* แสดงค่าเฉลี่ยจาการทดลอง 4 ซ้ำ

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตที่เตรียมจาก CB , CB ผสม CBS และ CBS เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นาน 28 วัน โดยวิธี Multiple difference test แสดงดังตารางที่ 25 พบว่าชนิดของไขมันได้แก่ CB CB:CBS (80:20) และCBS มีผลต่อค่าสี และความเนียนของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลต ($p<0.05$) โดยตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ CBS มีสีน้ำตาลอ่อนกว่า และเนียนน้อยกว่าตัวอย่างที่เตรียมจาก CB เนื่องจาก CBS มีลักษณะเป็นสีขาวโดยมีค่าความสว่าง สูงกว่า CB นอกจากนี้จุดหลอมเหลวของ CBS มีช่วงการหลอมเหลวกว้างกว่า CB ทำให้เกิดความรู้สึกในปาก จึงส่งผลให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเนียนลดลง แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าชนิดของ CB ไม่มีผลต่อความแตกต่างด้านความวาว การหลอมละลาย กลิ่นรสแปลกปลอม และการเกิดฝ้าขาว ($p> 0.05$)

ระยะเวลาในการเก็บรักษาจะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความวาว และความเข้มสีน้ำตาลมีค่าลดลง แต่มีผลทำให้ความเนียน กลิ่นหืน และการเกิดฝ้าขาวเพิ่มขึ้น ขณะที่การหลอมละลายไม่มีความแตกต่างตลอดการเก็บรักษา การเกิดฝ้าขาวในตัวอย่างที่มี CBS สูงมีแนวโน้มน้อยกว่าตัวอย่างที่เตรียมจาก CB นอกจากนี้การเกิดฝ้าขาวที่ผิวหน้าของช็อกโกแลตยังส่งผลทำให้ความวาวและความเข้มของสีน้ำตาลลดลง การเกิดกลิ่นรสผิดปกติระหว่างเก็บรักษานั้นเกิดจาก CB มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว สูงกว่า CB ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้รวดเร็วกว่า

ตารางที่ 25 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างช็อกโกแลตระหว่างการเก็บรักษา

คุณลักษณะ	ตัวอย่างช็อกโกแลต*					
	A		B		C	
	1 วัน	28 วัน	1 วัน	28 วัน	1 วัน	28 วัน
ความวาว	$7.4^{ns,x}$	$2.1^{ns,y}$	$5.7^{ns,x}$	$3.4^{ns,y}$	$5.1^{ns,x}$	$3.8^{ns,y}$
สีน้ำตาล	$7.9^{b,x}$	$5.9^{b,y}$	$6.4^{a,x}$	$4.8^{a,y}$	$5.4^{a,x}$	$4.6^{a,y}$
การหลอมละลาย	5.7^{ns}	6.8^{ns}	7.3^{ns}	6.7^{ns}	6.6^{ns}	6.1^{ns}
กลิ่นรสผิดปกติ	$0^{ns,x}$	$3.7^{ns,y}$	$0^{ns,x}$	$4.2^{ns,y}$	$0^{ns,x}$	$4.0^{ns,y}$
การเกิดฝ้าขาว	$0^{ns,x}$	$6.9^{ns,y}$	$0^{ns,x}$	$5.9^{ns,y}$	$0^{ns,x}$	$5.5^{ns,y}$

หมายเหตุ *ตัวอย่าง A ช็อกโกแลตจาก CB ร้อยละ 100

ตัวอย่าง B ช็อกโกแลตจาก CB ผสมกับ CBS (20:80)

ตัวอย่าง C ช็อกโกแลตจาก CBS ร้อยละ 100

**ตัวอักษร a,b,c ตัวแรกที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างระหว่างชนิดของช็อกโกแลต ส่วนตัวอักษรตัวหลังที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างของตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกัน ($p<0.05$)

7. ผลการใช้ CBS ทดแทนไขมันนมในการทำไอศกรีมช็อกโกแลต

คุณลักษณะทางกายภาพ

ผลการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมช็อกโกแลตที่ทดแทนไขมันนมแสดงดังตารางที่ 26 พบว่าค่าแรงต้านการเคลื่อนที่ในการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่ทดแทนด้วยCBทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม แสดงว่าไอศกรีมที่ทดแทนด้วยCBมีเนื้อแน่น หรือมีความแข็งมากว่าชุดควบคุม ความแน่นเนื้อของไอศกรีมเป็นผลมาจากขนาดผลึกน้ำแข็งของไอศกรีม และความคงตัวของอากาศที่เติมในไอศกรีม โดยปริมาณไขมันนมที่สูงขึ้น จะทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งเล็กลง ไขมันนมไปรบกวนช่องว่างที่ผลึกน้ำแข็งกำลังฟอร์มตัว นอกจากนี้ไขมันนมยังประกอบไปด้วยฟอสโฟไลปิดซึ่งทำหน้าที่ให้ความคงตัวของเซลล์อากาศที่กระจายในไอศกรีม (Marshall and Arbuckle, 1996) การทดแทนไขมันนมด้วย CB มีผลทำให้คุณสมบัติของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจาก CB และ CBS มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงโดยอยู่ในช่วง 28-43 องศาเซลเซียส และ 23-56 องศาเซลเซียส ตามลำดับขณะที่ไขมันนมมีจุดหลอมเหลวในช่วงกว้างเนื่องจากมีส่วนผสมของไตรกลีเซอไรด์ที่แตกต่างกัน โดยมีค่าระหว่าง –30 องศาเซลเซียสถึง +40 องศาเซลเซียส (Walstrat *et.al.*, 1999) ดังนั้นในขั้นตอนการ

กัน โดยมีค่าระหว่าง –30 องศาเซลเซียสถึง +40 องศาเซลเซียส (Walstrat *et.al.*, 1999) ดังนั้นในขั้นตอนการ

โฮโมจิไนซ์เพื่อลดขนาดเม็ดไขมันและเกิดการกระจายตัวทำให้ได้เนื้อสัมผัสที่เนียนละเอียด แต่การเติมCB และ CBS ในรูปของของแข็งไม่สามารถถูกตีปั่นให้เป็นเม็ดไขมันขนาดเล็กได้ และไขมันจับตัวกัน (aggregate) ไม่สามารถสร้างเซลล์อากาศที่คงตัว ระหว่างการแช่แข็ง ทำให้เกิดฟองขนาดใหญ่ จึงให้เนื้อสัมผัสที่หยาบ (Walstrat *et.al.*, 1999) นอกจากนี้การทดแทนด้วย CB และ CBS ยังส่งผลทำให้ไอศกรีมเหลวมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นผลของ CB และ CBS ซึ่งมีค่าความเป็นกรดร้อยละ 3.4 และ 3.6 ตามลำดับ ขณะที่ไอศกรีมผสมในสูตรปกติที่ไขมันนมมีค่าความเป็นกรดประมาณร้อยละ 0.1-0.2 การเพิ่มค่าความเป็นกรดแก่ไอศกรีมมีผลทำให้เพิ่มความหนืด และลดอัตราการเติมอากาศ และความคงตัวของไอศกรีมผสมลดลง (Marshall and Arbuckle, 1997)

ตารางที่ 26 คุณลักษณะทางกายภาพของไอศกรีมช็อกโกแลต

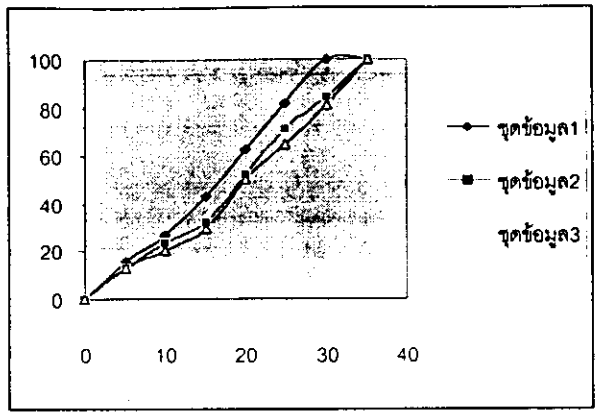
ตัวอย่างที่	ค่าความแข็ง (g/mm^2)
1	220.300
2	382.365
3	581.857

ตัวอย่างที่ 1 =ไอศกรีมเตรียมจากไขมันนมร้อยละ 100

2 =ไอศกรีมเตรียมจาก CB แทนไขมันนมร้อยละ 75

3 =ไอศกรีมเตรียมจาก CBS แทนไขมันนมร้อยละ 75

การหลอมละลายในไอศกรีมชุดควบคุมมีอัตราการหลอมละลายสูงกว่าชุดที่ทดแทน CB และ CBS ดังรูป 24 เนื่องจากไขมันนมไม่มีผลลดจุดเยือกแข็ง และCBที่ใช้ในการทดแทนมีจุดหลอมเหลวที่สูงดังกล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้ไอศกรีมมีการหลอมละลายที่ช้ากว่าชุดควบคุม



รูปที่ 24 การหลอมละลายของไอศกรีมช็อกโกแลต

ข้อมูล 1 =ไอศกรีมเตรียมจากไขมันนมร้อยละ 100

ข้อมูล 2 =ไอศกรีมเตรียมจาก CB แทนไขมันนมร้อยละ 75

ข้อมูล 3=ไอศกรีมเตรียมจาก CBS แทนไขมันนมร้อยละ 75ไอศกรีมจากนมสด 100 %

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic scale แบบ 9 ระดับคะแนน และวิธี Scoring test ของไอศกรีมช็อกโกแลตที่มีการทดแทนด้วย CB และCBS ดังแสดงในตารางที่ 27 และ 28 พบว่าคะแนนความชอบรวม และความชอบด้านสีในทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ขณะที่ความชอบด้านกลิ่นรส ความเนียน และการหลอมละลายของตัวอย่างชุดควบคุมได้รับความชอบสูงกว่าตัวอย่างที่ทดแทนด้วย CBS และ CB ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงความเข้มในแต่ละคุณลักษณะจะเห็นว่าตัวอย่างที่ทดแทนด้วยCBมีสีน้ำตาลเข้มที่สุด ขณะที่ตัวอย่างที่ทดแทนCBSไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม ความเข้มของกลิ่นรส และความเนียนของตัวอย่างชุดควบคุมมีค่าสูงที่สุด ตัวอย่างที่ทดแทนCBSและCB มีคะแนนรองลงมาตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากไขมันนมเป็นตัวกลางที่ดี และยังเป็นตัวเสริมกลิ่นรสให้แก่กลิ่นรสที่เติมลงไป (Marshall และ Arbuckle, 1996) ทำให้ตัวอย่างชุดควบคุมซึ่งมีปริมาณของไขมันนมสูงสุดจึงมีกลิ่นรสสูง นอกจากนี้ Marshall และ Arbuckle (1996) ยังรายงานว่าคุณลักษณะด้านกลิ่นรสของไอศกรีมที่ทำจากไขมันนมจะมีคุณภาพดีกว่าไอศกรีมที่ผลิตจากไขมันพืช อย่างไรก็ตาม Prindiville และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของไขมันนมที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของไอศกรีมช็อกโกแลต พบว่าตัวอย่างที่มีไขมันนมสูงขึ้นส่งผลทำให้ความเนียนสูงขึ้น และความรู้สึกเป็นผงภายในปาก (chalkiness)มีค่าลดลง ขณะที่ไม่มี

ผลต่อกลิ่นรสช็อกโกแลต นอกจากนี้ Welty และคณะ (2001) ศึกษาผลของไขมันนม CB และสารทดแทนไขมันที่มีต่อสารระเหยที่ให้กลิ่นรสในไอศกรีมช็อกโกแลต พบว่าตัวอย่างที่มีไขมันนม และตัวอย่างที่มีCBมีสารระเหยที่ให้กลิ่นรสแตกต่างเพียงเล็กน้อย

การละลายของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน แม้ว่าจากการทดสอบการหลอมละลายทางกายภาพ พบว่าตัวอย่างชุดควบคุมมีอัตราการหลอมละลายสูงกว่าตัวอย่างที่ทดแทนด้วยCBทั้งสองชนิด แต่ความแตกต่างของตัวอย่างเป็นระดับที่ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนไม่สามารถบอกความแตกต่างได้

นอกจากนี้การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความชอบ และคะแนนความเข้มในแต่ละคุณลักษณะ พบว่าคะแนนความชอบมีความสัมพันธ์กับความเข้มในด้านกลิ่นรส (R=0.68) ความเนียน (R=0.68) และการหลอมละลาย (R=0.54) ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระดับความเข้มด้านกลิ่นรส ความเนียน และการหลอมละลายให้สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 27 คะแนนความชอบของไอศกรีมช็อกโกแลตที่ทดแทนไขมันนมด้วยCBและCBS

ความชอบ	ตัวอย่างไอศกรีม*		
	ชุดควบคุม	A	B
ความชอบรวม	5.97^{ns}	5.13^{ns}	5.67^{ns}
สี	5.97^{ns}	6.43^{ns}	6.10^{ns}
กลิ่นรส	6.73^{c}	3.33^{a}	4.77^{b}
ความเนียน	7.10^{c}	4.53^{a}	5.60^{b}
การละลาย	6.07^{b}	4.30^{a}	5.57^{b}

หมายเหตุ : ชุดควบคุม =ไอศกรีมเตรียมจากไขมันนมร้อยละ 100

A = ไอศกรีมเตรียมจาก CB แทนไขมันนมร้อยละ 75

B = ไอศกรีมเตรียมจาก CBS แทนไขมันนมร้อยละ 75

ตัวอักษร a,b,c ที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างระหว่างชนิดของไอศกรีมช็อกโกแลต

^{ns} คือ ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 28 คะแนนความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของไอศกรีมช็อกโกแลตที่ทดแทนไขมันนมด้วย CB และ CBS

คุณลักษณะ	ตัวอย่างไอศกรีม*		
	ชุดควบคุม	A	B
สี	5.07^{a}	6.63^{b}	5.67^{a}
กลิ่นรส	7.10^{c}	3.80^{a}	5.30^{b}
ความเนียน	7.10^{c}	4.60^{a}	5.57^{b}
การละลาย	4.47^{ns}	4.13^{ns}	5.23^{ns}

หมายเหตุ : ชุดควบคุม =ไอศกรีมเตรียมจากไขมันนมร้อยละ 100

A = ไอศกรีมเตรียมจาก CB แทนไขมันนมร้อยละ 75

B = ไอศกรีมเตรียมจาก CBS แทนไขมันนมร้อยละ 75

ตัวอักษร a,b,c ที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างระหว่างชนิดของไอศกรีม

^{ns} คือ ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05