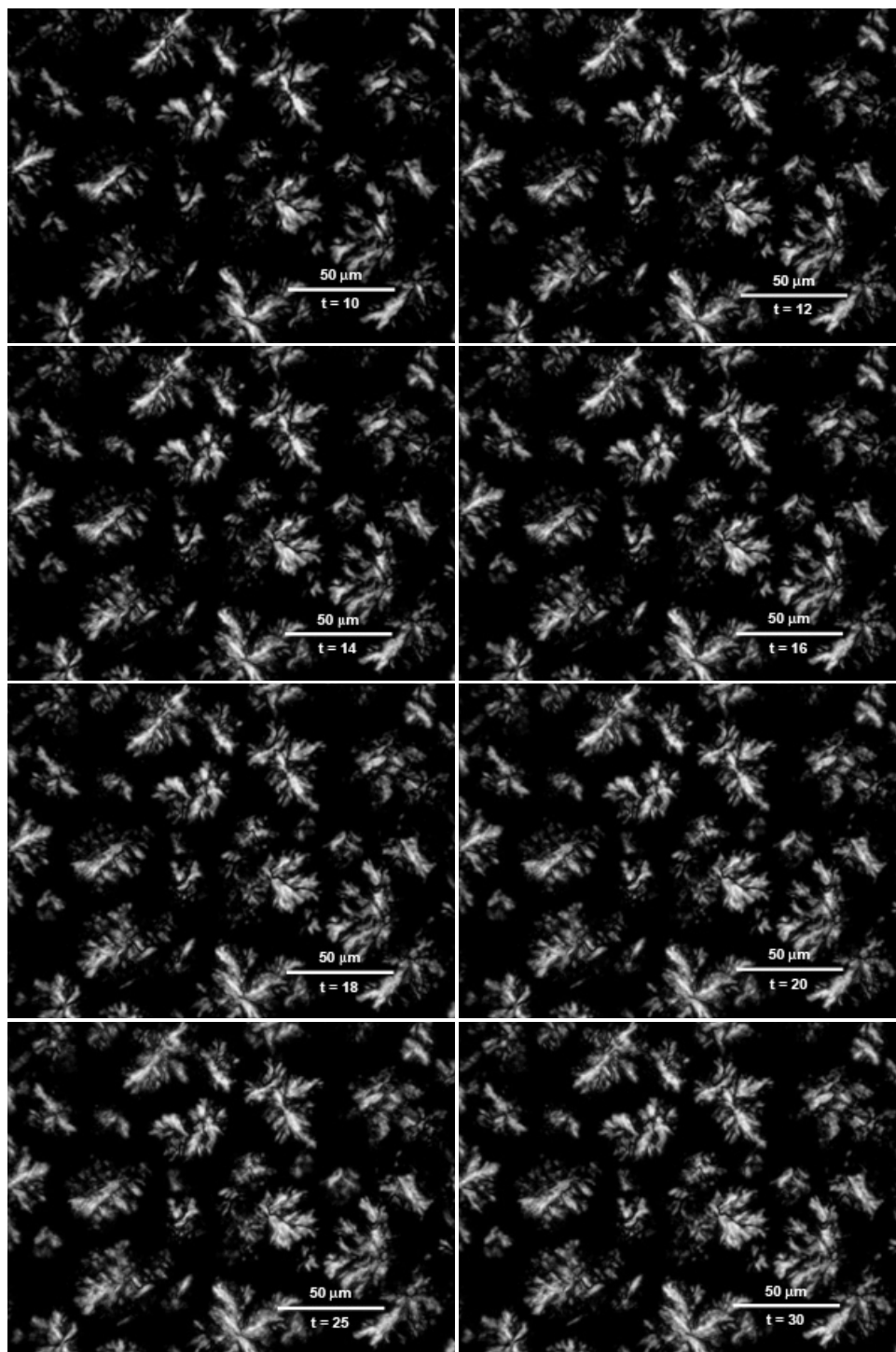
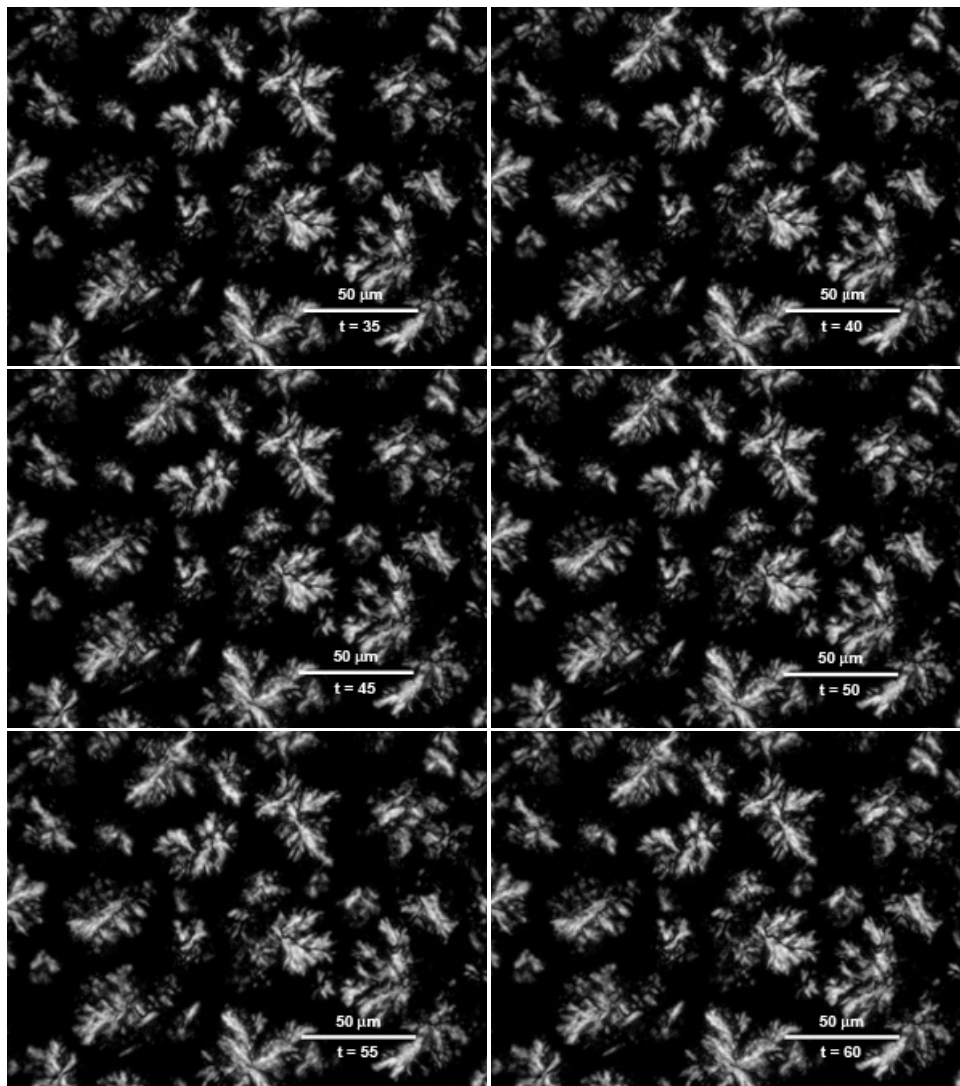
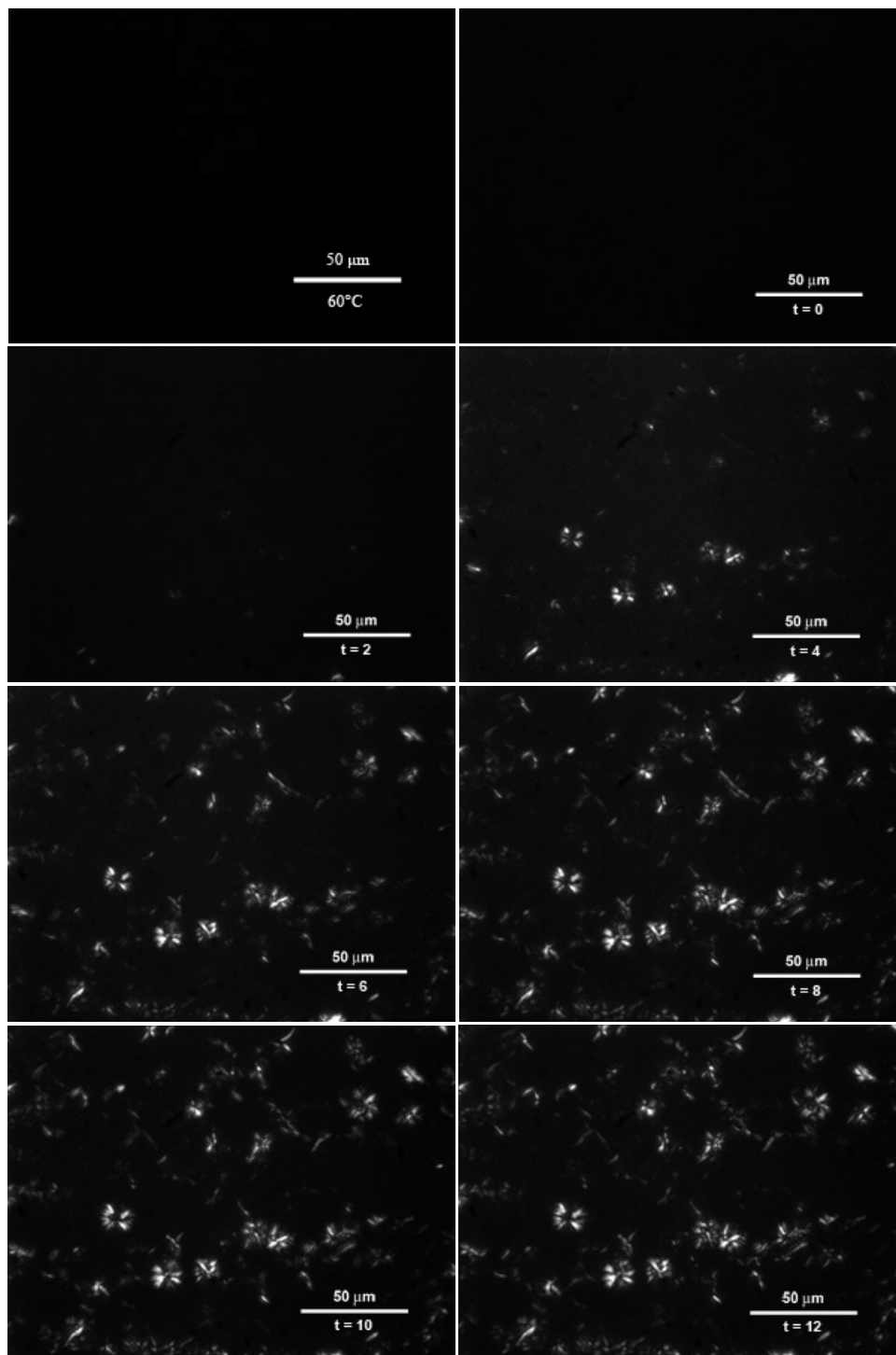




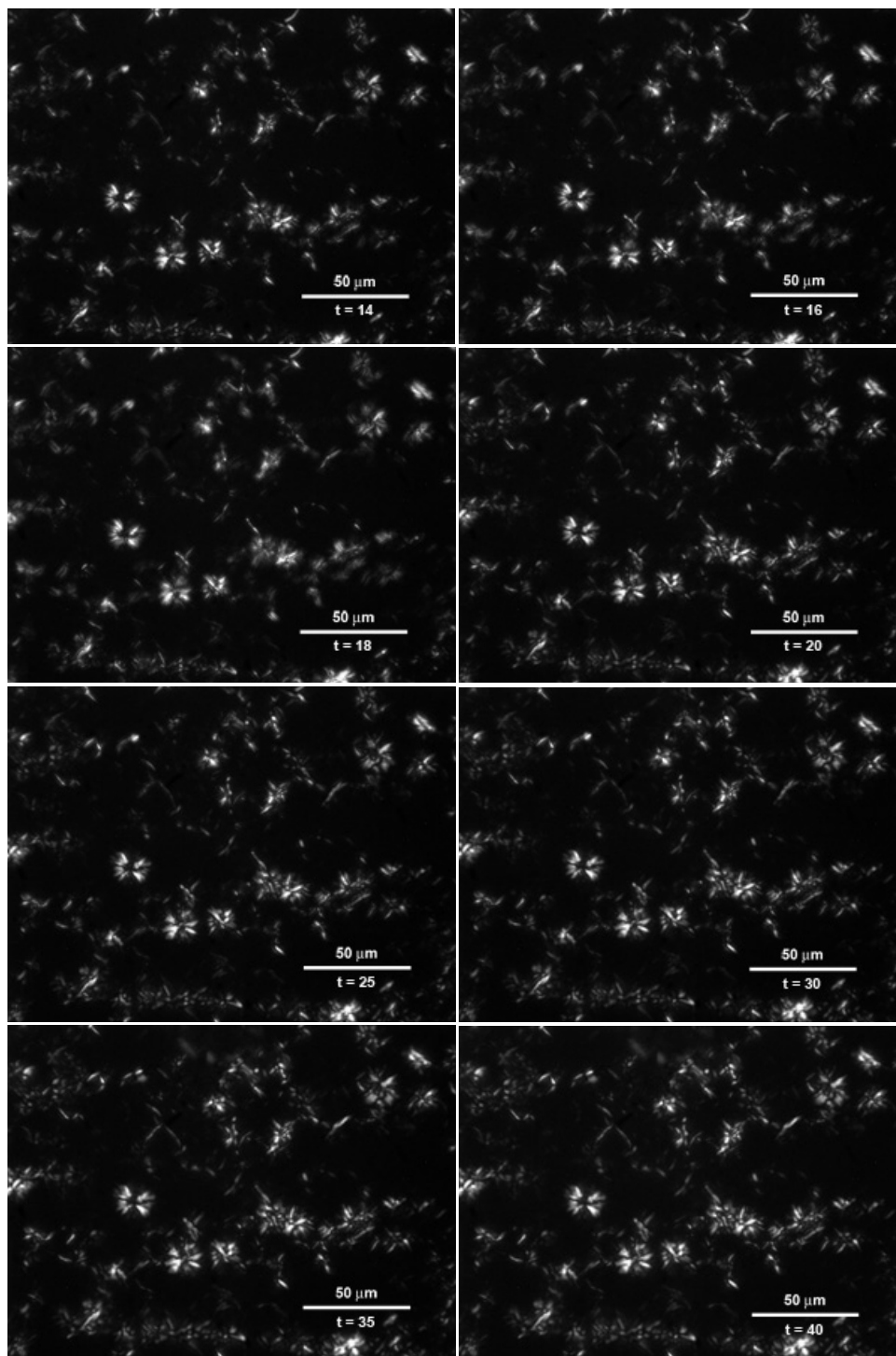
ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ PMF ตั้งแต่วันที่ 10-30 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



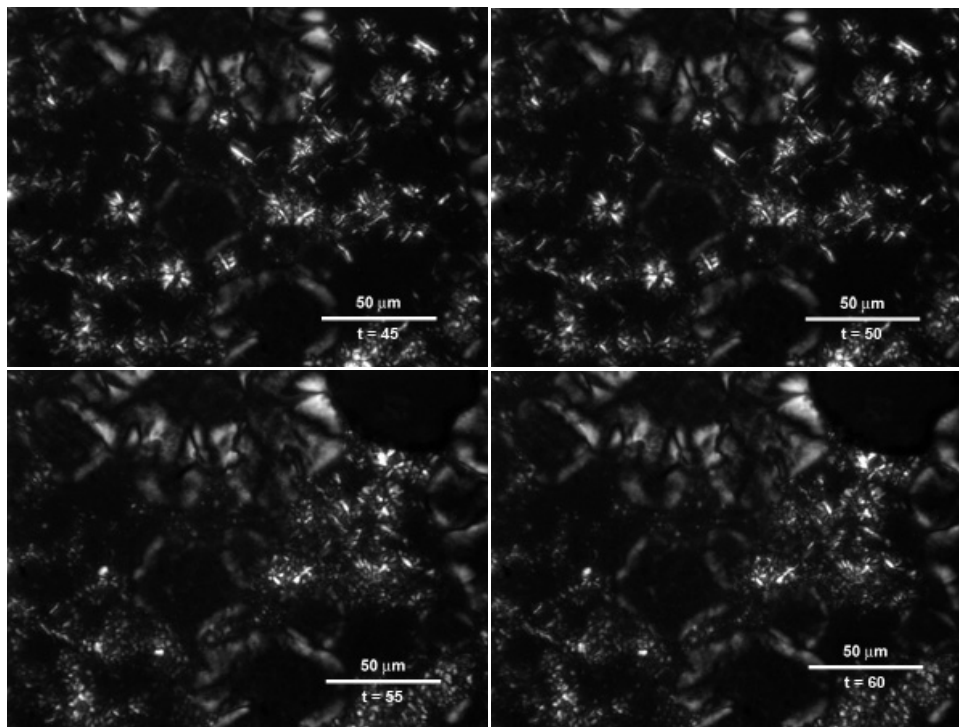
ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ PMF ตั้งแต่วันที่ 35-60 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



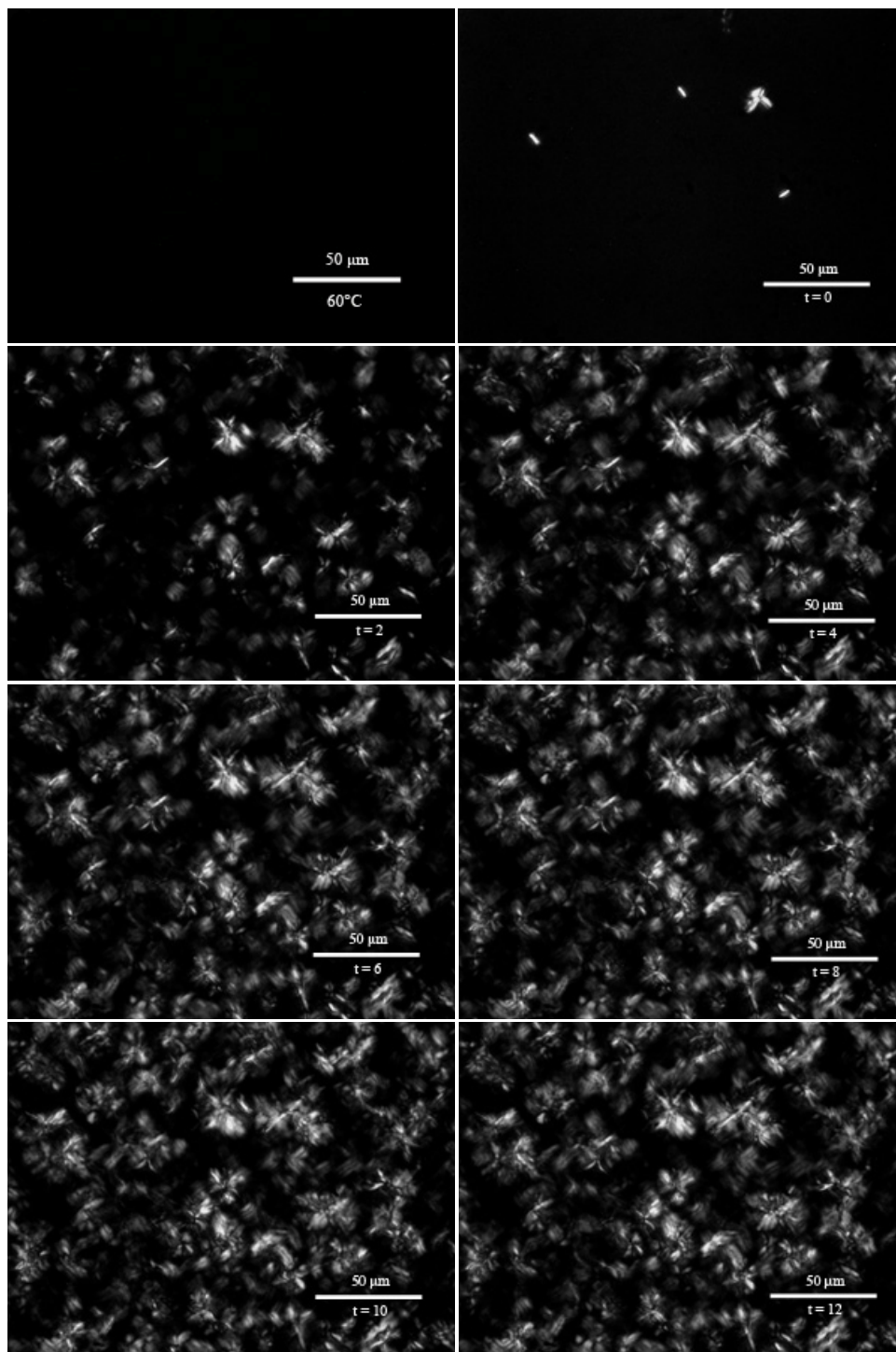
ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CBE ตั้งแต่นาทีที่ 0-12 ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



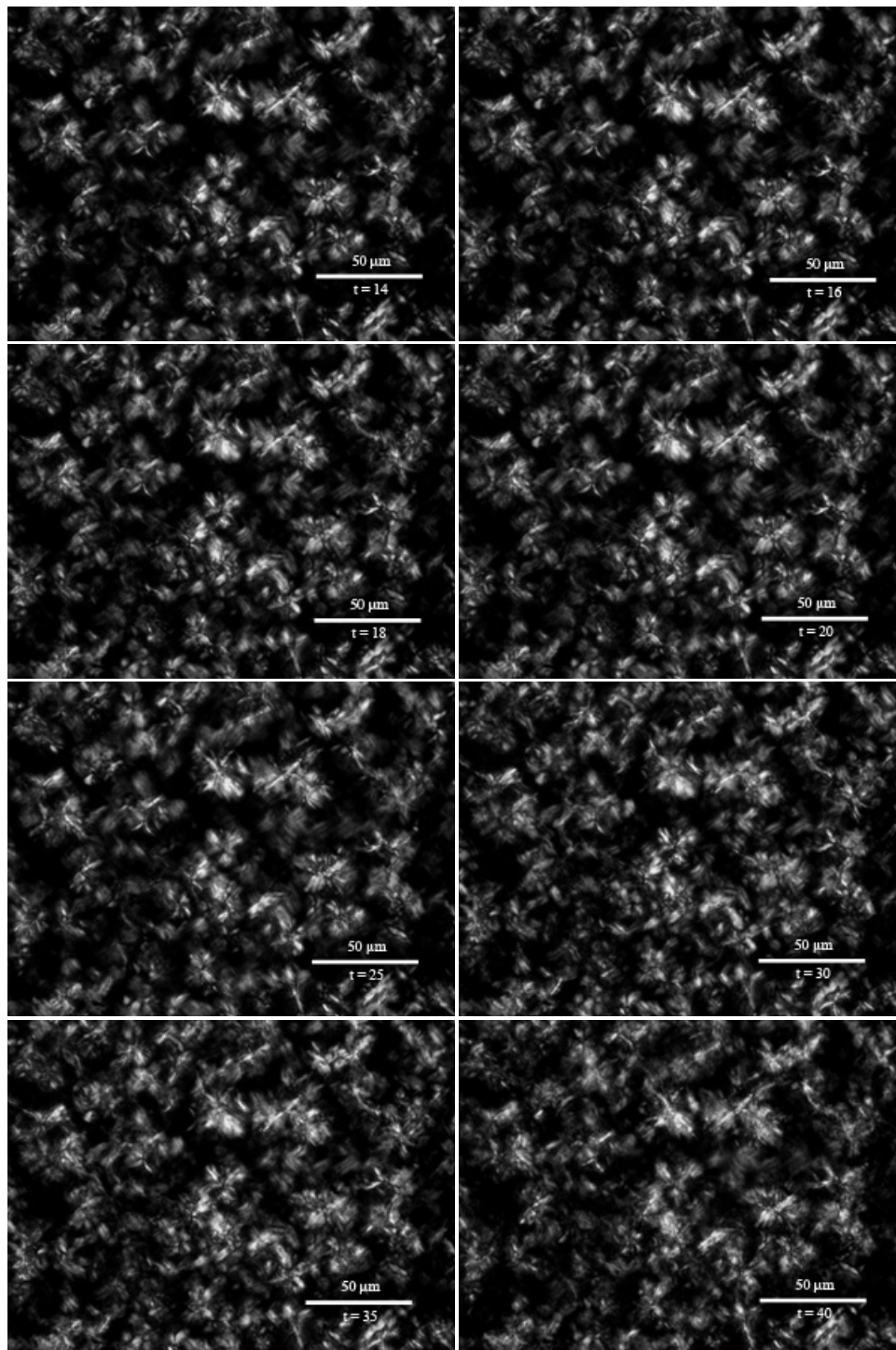
ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CBE ตั้งแต่วันที่ 14-40 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



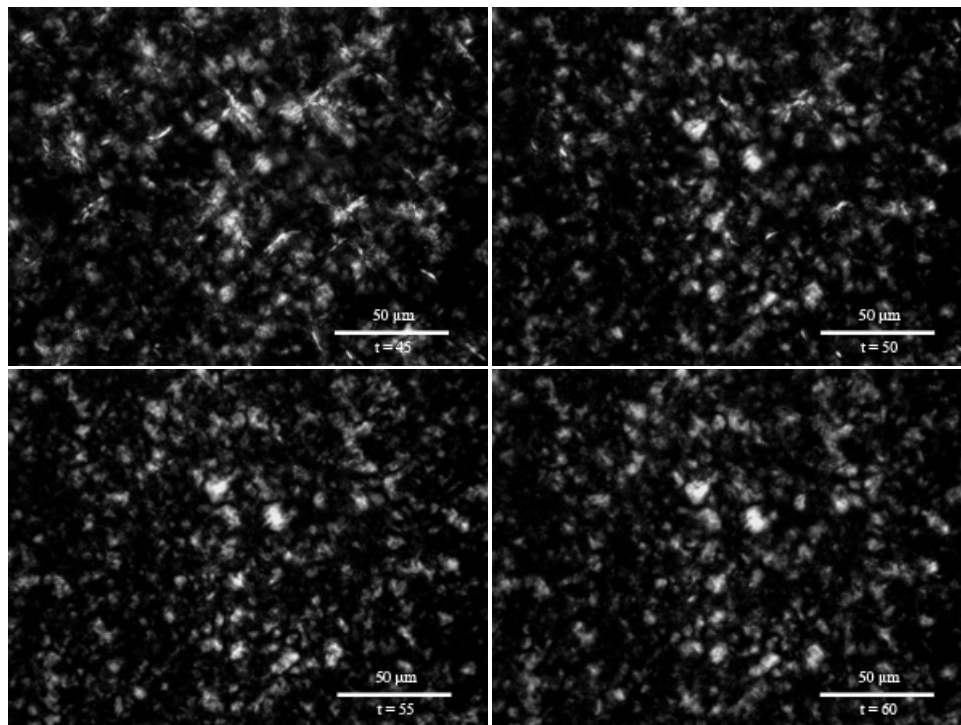
ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CBE ตั้งแต่เวลาที่ 45-60 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



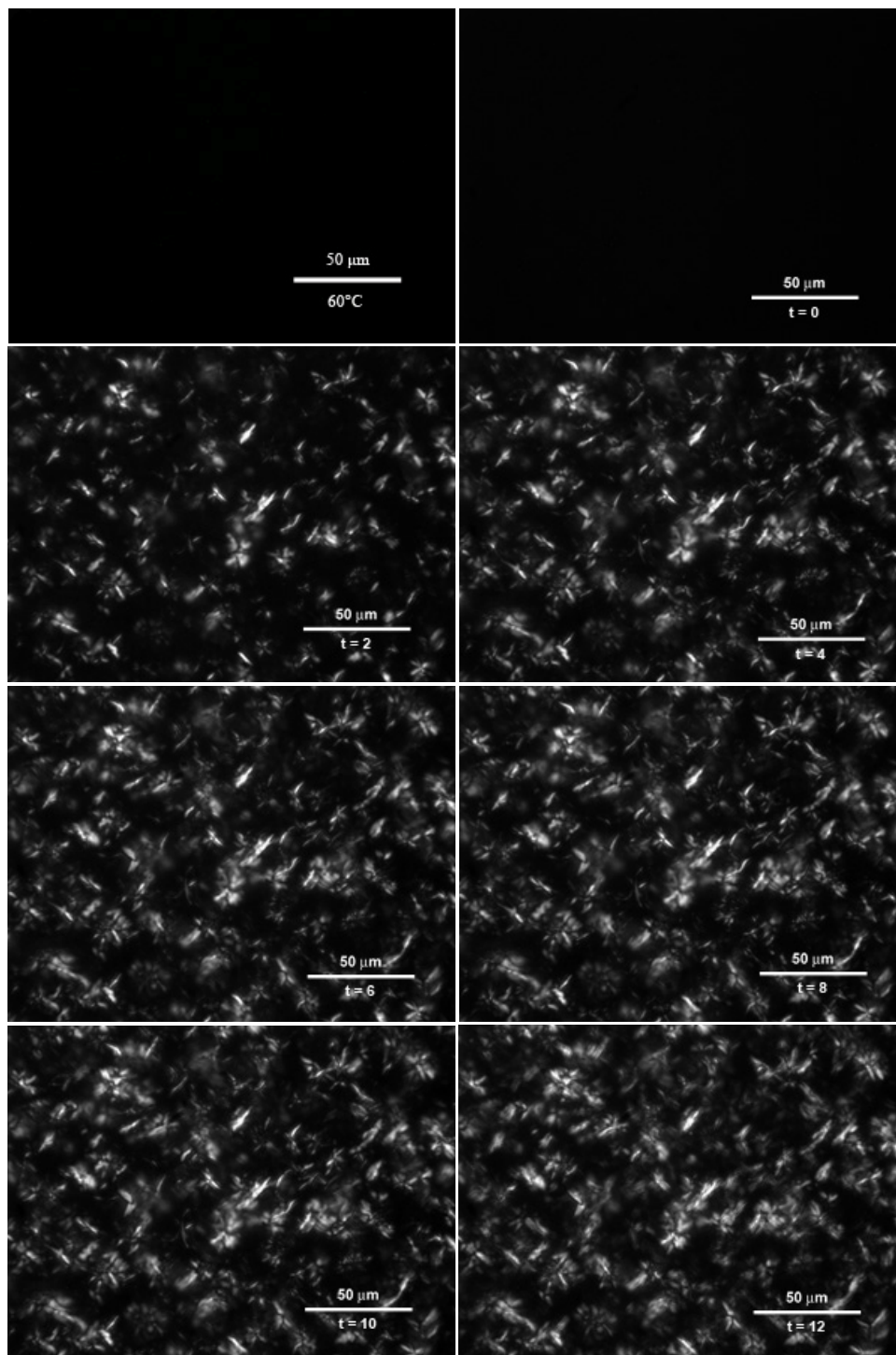
ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CB ตั้งแต่วันที่ 0-12 ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



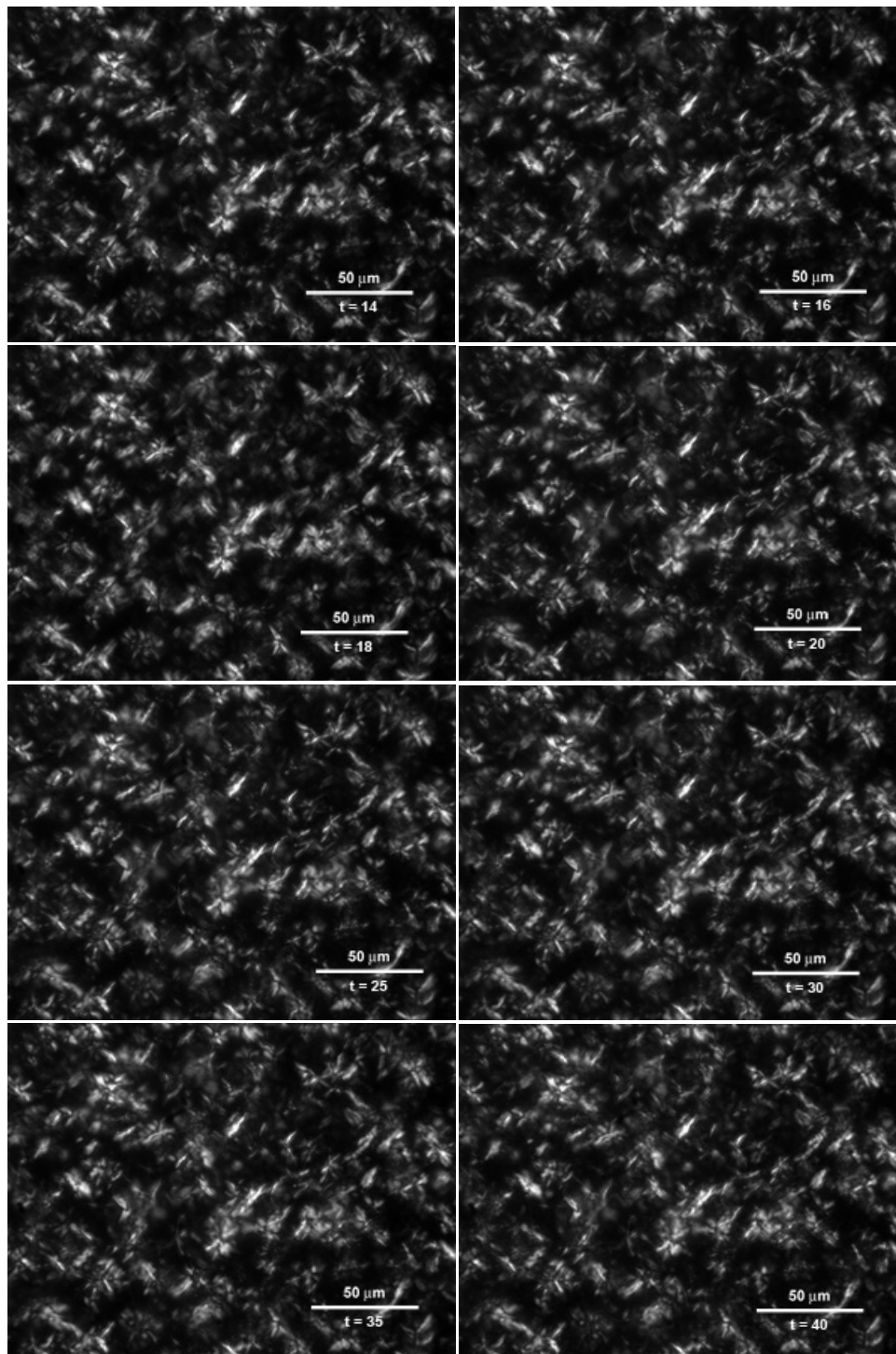
ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CB ตั้งแต่เวลาที่ 14-40 ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



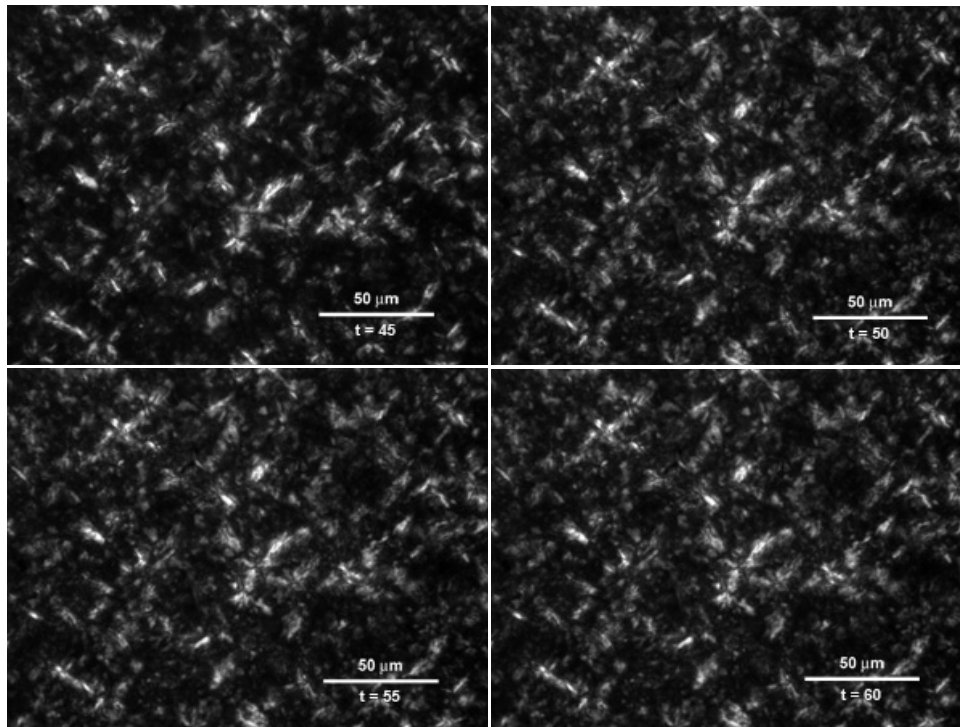
ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CB ตั้งแต่เวลาที่ 45-60 ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



ภาพที่ 50 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ MIX ตั้งแต่เวลาที่ 0-12 ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



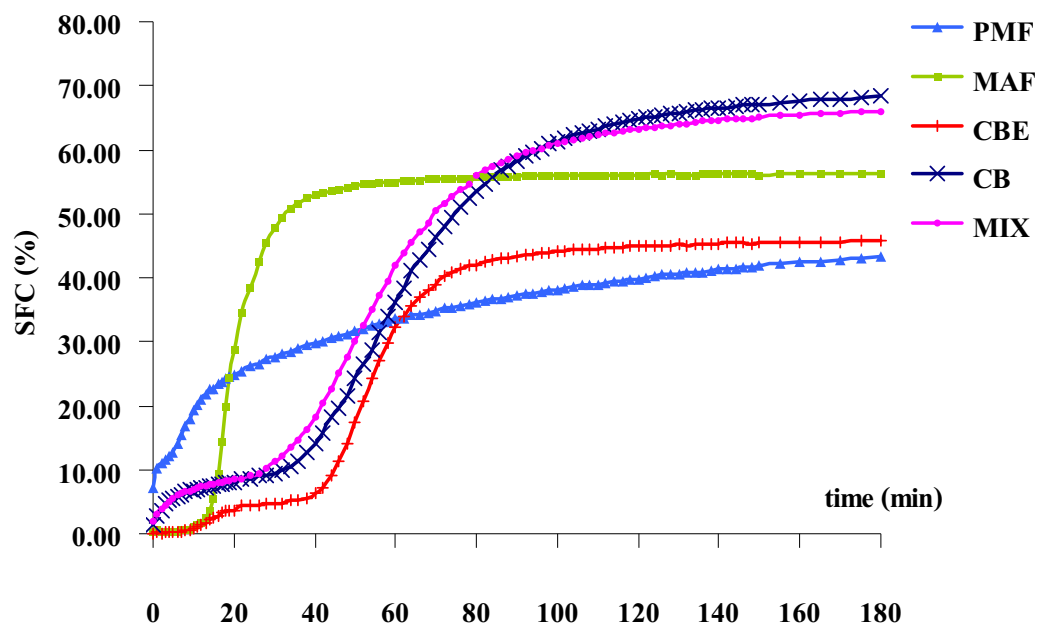
ภาพที่ 51 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ MIX ตั้งแต่วันที่ 14-40 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



ภาพที่ 52 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ MIX ตั้งแต่นาทีที่ 45-60 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า

ภาคผนวก ญ
กลไกการตกผลึกของไขมันตัวอย่าง

กลไกการตกผลึกของไขมันตัวอย่าง

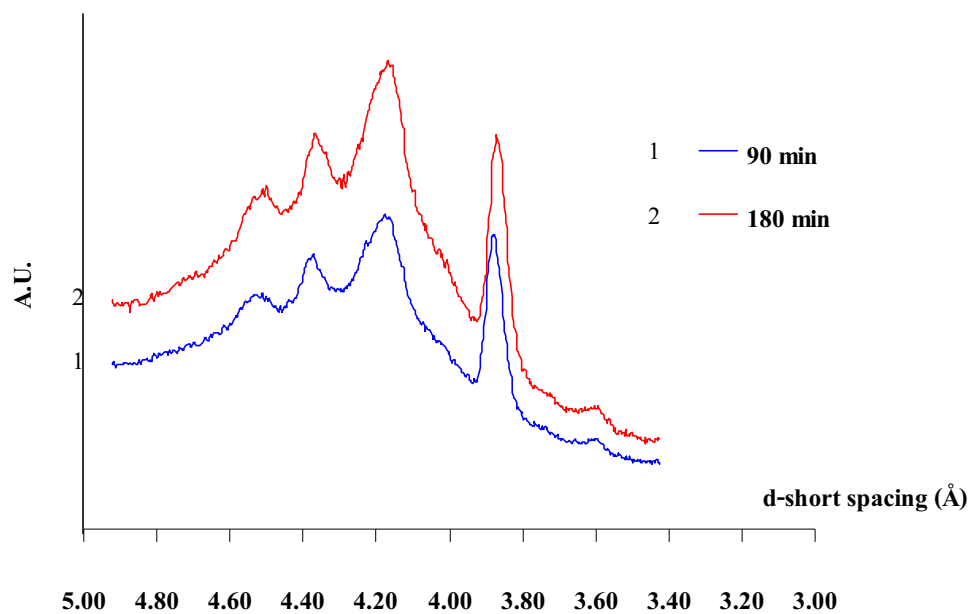


ภาพที่ 58 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นของแข็งในรูปผลึก (SFC) ของไขมันชนิดต่าง ๆ ตามเวลาในระหว่างการตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ที่ 20°C ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

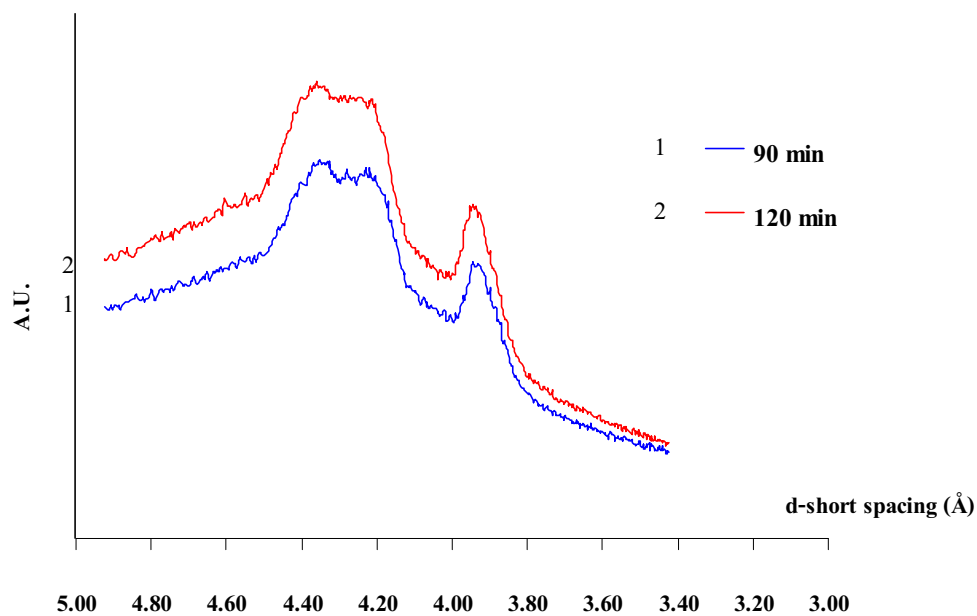
ภาคผนวก ฏ

X-ray diffraction pattern ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer

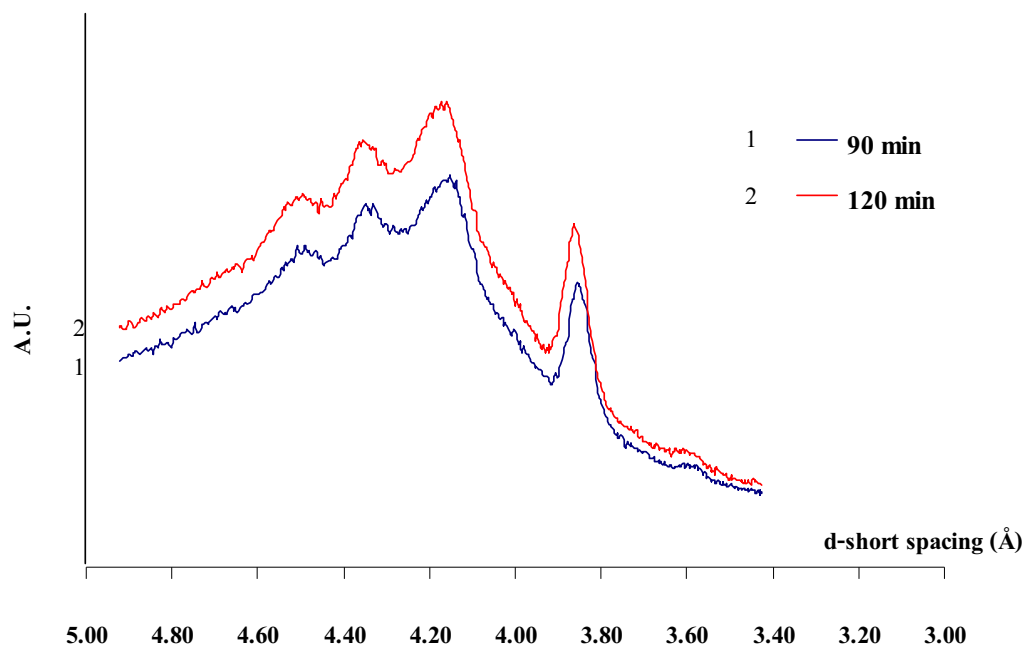
X-ray diffraction pattern ที่ได้จากวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer



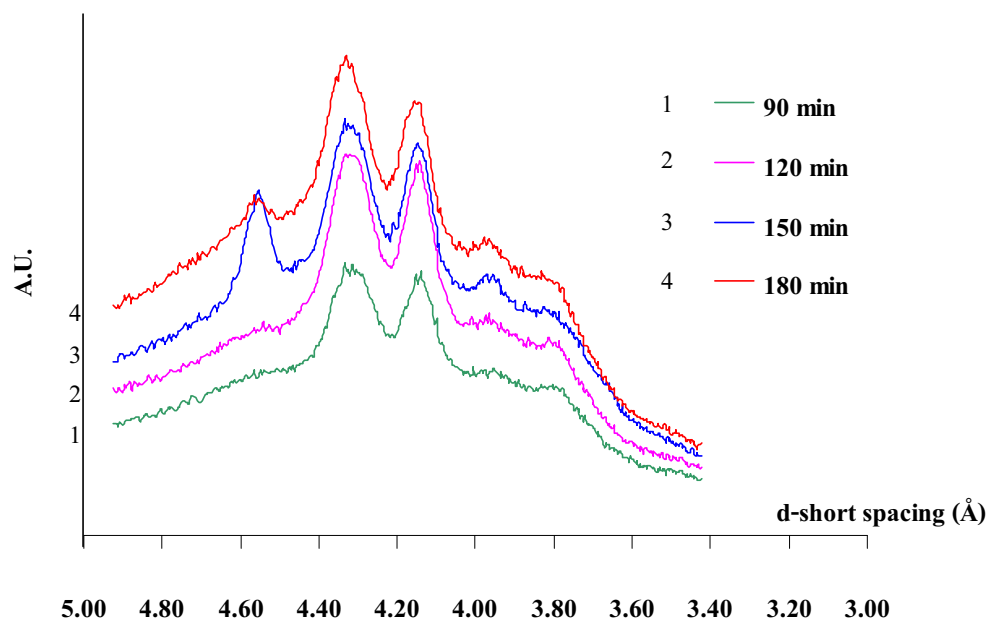
ภาพที่ 53 X-ray diffraction pattern ของ MAF ซึ่งตกผลึกที่ 20°C ที่นานที่ 90 และ 180



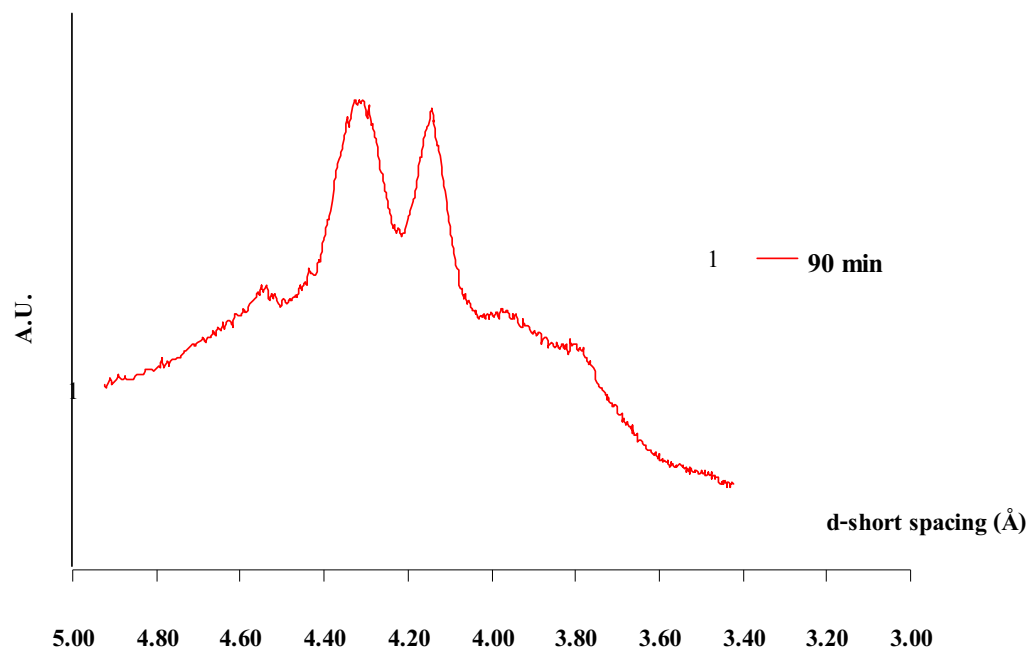
ภาพที่ 54 X-ray diffraction pattern ของ PMF ซึ่งตกผลึกที่ 20°C ที่นานที่ 90 และ 120



ภาพที่ 55 X-ray diffraction pattern ของ CBE ซึ่งตกผลึกที่ 20°C ที่นาที่ที่ 90 และ 120



ภาพที่ 56 X-ray diffraction pattern ของ CB ซึ่งตกผลึกที่ 20°C ที่นาที่ที่ 90 ถึง 120



ภาพที่ 57 X-ray diffraction pattern ของ MIX ซึ่งตกผลึกที่ 20°C ที่นานที่ 90

ภาคผนวก ฐ

ตารางสรุปผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกในระหว่างการตกผลึกที่ 20°C

ตารางสรุปผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกในระหว่างการตกผลึกที่ 20°C

ตารางที่ 12 ตารางแสดงค่า d-short spacing (Å) ของโครงสร้างผลึกแต่ละรูปแบบที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในระหว่างการตกผลึก

ตัวอย่าง	นาที่ที่	ค่า d-short spacing (Å) ของ				
		α (II)	β' (IV)	pseudo- β'	β (V)	sub- β
MAF	5	4.19	-	-	-	-
	10	-	4.19, 3.88, 3.72	4.38	4.55	3.61
	15	-	4.18, 3.88, 3.72	4.38	4.54	3.60
	20	-	4.18, 3.88, 3.71	4.38	4.54	3.60
	30	-	4.17, 3.87, 3.73	4.37	4.52	3.60
	40	-	4.18, 3.88, 3.74	4.38	4.53	3.60
	50	-	4.18, 3.87, 3.73	4.37	4.53	3.60
	60	-	4.17, 3.88, 3.73	4.38	4.54	3.60
	90	-	4.18, 3.88, 3.75	4.38	4.53	3.60
	180	-	4.16, 3.87, 3.71	4.37	4.52	3.60
PMF	0	-	3.88	-	-	-
	5	-	4.20, 3.86	4.35	4.55	-
	10	-	4.21, 3.88	4.36	4.57	-
	15	-	4.24, 3.90	4.37	4.58	-
	20	-	4.23, 3.91	4.36	4.57	-
	30	-	4.23, 3.91	4.35	4.59	-
	40	-	4.23, 3.92	4.35	4.62	-
	50	-	4.24, 3.92	4.35	4.58	-
	60	-	4.23, 3.92	4.36	4.59	-
	90	-	4.22, 3.92	4.35	4.59	-
	120	-	4.22, 3.92	4.36	4.62	-

ตารางแสดงค่า d-short spacing (Å) ของโครงสร้างผลึกแต่ละรูปแบบที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในระหว่างการตกผลึก (ต่อ)

ตัวอย่าง	นาฬิกา	ค่า d-short spacing (Å) ของ				
		α (II)	β' (IV)	pseudo- β'	β (V)	sub- β
CBE	20	4.20	-	-	-	-
	30	-	4.18, 3.86	-	-	-
	40	-	4.17, 3.86	4.36	-	4.75, 4.51, 3.59
	50	-	4.16, 3.85	4.35	-	4.75, 4.51, 3.59
	60	-	4.16, 3.85	4.35	-	4.75, 4.51, 3.59
	90	-	4.16, 3.86	4.34	-	4.75, 4.51, 3.59
	120	-	4.17, 3.86	4.36	-	4.75, 4.51, 3.59
CB	5	4.18	-	-	-	-
	10	4.18	-	-	-	-
	15	4.18	-	-	-	-
	20	4.18	-	-	-	-
	30	4.18	-	-	-	-
	40	-	4.34, 4.18, 3.97, 3.81	-	4.54	-
	50	-	4.32, 4.16, 3.97, 3.81	-	4.55	-
	60	-	4.32, 4.16, 3.97, 3.81	-	4.54	-
	90	-	4.31, 4.15, 3.96, 3.80	-	4.56	-
	120	-	4.32, 4.16, 3.97, 3.80	-	4.55	-
	150	-	4.32, 4.16, 3.97, 3.81	-	4.54	-
	180	-	4.32, 4.16, 3.96, 3.81	-	4.54	-
MIX	20	4.19	-	-	-	-
	30	4.19	-	-	-	-
	40	-	4.33, 4.15, 3.97	-	4.55	-
	50	-	4.33, 4.15, 3.97	-	4.55	-
	60	-	4.32, 4.16, 3.96	-	4.55	-
	90	-	4.31, 4.16, 3.96	-	4.53	-

ตารางที่ 13 ตารางสรุปโครงสร้างผลึกในนาฬิกาที่ 60 ของไขมันแต่ละตัวอย่าง

ตัวอย่าง	โครงสร้างผลึก
MAF	β' , pseudo- β' , sub- β และ β
PMF	β' และ pseudo- $\beta' \gg \beta$
CBE	β' , pseudo- β' และ sub- β
CB	$IV(\beta'_1) \gg V(\beta_2)$
MIX	$IV(\beta'_1) \gg V(\beta_2)$

ภาคผนวก ข

คำย่อ

คำย่อ

(Abbreviations)

Av	Acid value
CB	Cocoa butter
CBA	Cocoa butter alternative
CBE	Cocoa butter equivalent
CBR	Cocoa butter replacer
CBS	Cocoa butter substitute
EU	European Union
Iv	Iodine value
MAF	Mango seed almond fat
O	Oleic acid
P	Palmitic acid
PMF	Palm mid-fraction
Pv	Peroxide value
SFC	Solid fat content
SMP	Slip melting point
Spv	Saponification value
St	Stearic acid
WI	Whiteness index

ประวัติผู้วิจัย

Assistant Professor SOPARK SONWAI

Address:

Department of Food Technology
Faculty of Engineering and Industrial Technology
Silpakorn University, Nakornpathom 73000
Telephone: 66-34-219-36 ext. 25314,
66-85-912-9510
Fax: 66-34-219-361
E-mail: ssonwai@su.ac.th, ssonwai@gmail.com



Education:

2003	Ph.D. in Chemical Engineering, University of Cambridge, England <i>Thesis: The effect of shear on the crystallization of cocoa butter</i>
1998	M.Sc. in Advanced Chemical Engineering, Imperial College, University of London, England <i>Dissertation: Pre-dispersed solvent extraction using liquid aphrons</i>
1994	B.Eng. in Food Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand <i>Senior Project: The studies of re-circulation of hot air in conventional drying machines for fruits</i>

Publications:

1. Rousseau D. and **S.Sonwai** (2010). Microscale surface roughening of chocolate viewed with optical profilometry. *Journal of the American Oil Chemists Society*. (Article In Press).
2. **Sonwai S.** and D. Rousseau (2010). Controlling fat bloom formation in chocolate - impact of milk fat on microstructure and fat phase crystallization. *Food Chemistry*. 119(1), 286-297.
3. Kaphueakngam P., A. Flood and **S. Sonwai** (2009). Production of Cocoa Butter Equivalent from Mango Seed Almond Fat and Palm Oil - Mid Fraction. *Asian Journal of Food and Agro - Industry*. 2(04). 441-447.
4. **Sonwai S.** and D. Rousseau (2008). Fat Crystal Growth and Microstructural Evolution in Industrial Milk Chocolate. *Crystal Growth & Design*. 8 (9), 3165-3174.
5. Rousseau D. and **S. Sonwai** (2008). Influence of the Dispersed Particulate in Chocolate on Cocoa Butter Microstructure and Fat Crystal Growth during Storage. *Food Biophysics*. 3, 273-278.
6. **Sonwai S.** and D. Rousseau (2006). Structure Evolution and Bloom Formation in Tempered Cocoa Butter during Long Term Storage. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 108, 735-745.
7. **Sonwai S.** and M. R. Mackley (2006). The Effect of Shear on the Crystallization of Cocoa Butter. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 83(7), 583-596.

Work experience:

March 2003- Now	Lecture at Department of Food Technology Faculty of Engineering and Industrial Technology Silpakorn University
February 2005-May 2006	Postdoctoral Research Fellow at School of Nutrition Ryerson University Toronto, Ontario, Canada

Area of Research:

- ⤴ Crystallization of cocoa butter replacing fats (e.g. Mango kernel oil, fractionated palm kernel oil)
- ⤴ Fat bloom formation in chocolate products
- ⤴ Crystallization of edible oils (e.g. coconut oil, palm oil and sesame seed oil)
- ⤴ Crystallization of lactose and sucrose

Research Article

Production of cocoa butter equivalent from mango seed almond fat and palm oil mid-fraction

Phimnipha Kaphueakngam¹, Adrian Flood² and Sopark Sonwai^{1*}

¹Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang District, Nakhonpathom, 73000, Thailand.

²School of Chemical Engineering, Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhonratchasima, 30000, Thailand.

*Author to whom correspondence should be addressed, email: ssonwai@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was to produce cocoa butter equivalent from the blend of mango seed almond fat (MAF) from “Keaw” variety mango kernels and palm oil mid-fraction (POMF). Seven MAF-POMF blends with different proportions (100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 and 0/100 (%wt) of MAF to POMF) including cocoa butter were characterized using various techniques. Fatty acid composition was determined by Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) and the results showed that all seven blends had palmitic acid, stearic acid and oleic acid as the main fatty acid components similar to cocoa butter, however with varying amounts. The study of solid fat content (SFC) as a function of temperature revealed that all blends except 50/50 and 0/100 melted completely at body temperature (37°C) resulting in no waxy sensation when consumed. However, only the 80/20 blend exhibited a melting behaviour closest to that of cocoa butter ($p < 0.05$), especially between 32°C and 40°C where the fat experienced a sharp decrease in SFC as the temperature increased and approximated the slip melting point (SMP) of cocoa butter. As a result of this, the 80/20 blend had the most potential for future use as cocoa butter equivalent.

Keywords: mango seed almond fat, palm oil mid fraction, cocoa butter equivalent, fatty acid composition, solid fat content, SFC, SMP, POMF, Thailand

Introduction

Cocoa butter (CB) is the fat extracted from the *Theobroma cacao* seeds [1, 2] that is commonly used as an ingredient in several confectionery products, especially in chocolate due to its specific properties. CB is mainly solid at temperatures below 25°C, but it is almost entirely liquid at body temperature (~37°C) [1]. CB is one of the most expensive vegetable fats consisting mainly of palmitic acid (C16), stearic acid (C18:0) and oleic acid (C18:1) and a trace amount of lauric acid (C12) and myristic acid (C14) [3, 4]. As only a few countries cultivate cocoa, supply of CB can be unstable [5, 6], so industries have tried to look for alternative vegetable fats that have chemical and physical properties similar to CB but are cheaper.

Cocoa Butter Equivalents (CBEs) have been used in chocolate products for many years. They are vegetable fats which have chemical and physical properties similar to cocoa butter [7]. They can be added to cocoa butter in any proportion without causing significant softening or hardening effects [1]. Similar to CB, the majority of fatty acids contained in CBEs are palmitic acid, stearic acid and oleic acid. According to the 2003 EU regulations, only six vegetable oils/fats can be used in EU chocolate and mango seed almond fat is one of them.

Mangoes (*Mangifera indica* L.) are one of Thailand's most economically important fruit. Particularly the Keaw variety which has been used as raw material for many canned fruit products. Only the mango flesh is utilized by these factories, resulting in a vast amount of mango peel and seeds being discarded as waste. Mango kernels contain a type of fat called mango seed almond fat (MAF) that is high in stearic acid content.

Palm oil is fractionated in multiple stages giving rise to several fractions that are suitable for different applications [8]. For example, palm oil mid-fraction (POMF) has been extensively used in confectionery products. POMF has an iodine value less than 36 g I₂/ 100 g oil and hence it does not give any waxy taste [7]. Also, POMF has been used to produce CBEs by blending with other vegetable fats in order to increase palmitic acid content.

The aim of this research was to produce CBE for use in chocolate products from the mixtures of MAF and POMF.

Materials and Methods

Materials

Mango seeds, of the Keaw variety, were kindly supplied by a canned fruit factory in Ratchaburi province, Thailand. The seeds were cut open and the seed kernels were removed. The kernels were kept in polyethylene bags at -18°C until further use. Cocoa butter was purchased from Sino-Pacific Trading (Thailand) Co., Ltd. Palm oil mid-fraction was obtained from Morakot Industries PCL (Thailand). The standard fatty acid methyl esters were purchased from AccuStandard, Inc. (USA). Lauric acid (C12), Myristic acid (C14), Palmitic acid (C16), Palmitoleic acid (C16:1), Stearic acid (C18), Oleic acid (C18:1), Linoleic acid (C18:2), Linolenic acid (C18:3), Arachidic acid (C20), Behenic acid (C22) and Lignoceric acid (C24) were used as external standards.

Crude fat extraction and purification

Before fat extraction, mango seed kernels were dried in a vacuum oven, using a method adapted from Solis-Fuentes and Duran-de-Bazua [9], at 65°C until the moisture content was less than 10%. Then the dried kernels were finely ground and stored in polyethylene bags at 4°C until extraction. Crude MAF was extracted using Soxhlet extraction method at 140°C for 6 hours [9] and was purified using an adaptation of the Wesson method [9, 10]. The purified fat was blended with POMF into seven proportions (100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 and 0/100 (%wt) of MAF to POMF). All blends including CB were characterized using various techniques and methods.

Characterization of fatty acid composition

Fat was converted to fatty acid methyl esters using AOAC official method 969.33 [11]. Fatty acid methyl ester analysis was performed in a Shimadzu GC-2010 with flame ionization detector. The system had an ATTM-WAX capillary column (50 m long, 0.25 mm internal diameter and 0.20 mm film thickness.) Compound identification was carried out using external standards of eleven types of fatty acids methyl esters. Helium was the carrier gas. N₂ and air were makeup gases. Column flow was 0.5 ml/min and controlled initial pressure at 120°C of 93.2 kPa. Injection temperature was 210°C. The oven temperature program was held for 3 mins at 120°C, increasing by 10°C/min to 220°C, holding for 30 mins and increasing by 5°C/min to 240°C, holding for a further 30 mins. Split ratio was 100:1 and the detector temperature was 280°C.

Characterization of physicochemical properties

Iodine value was analyzed using an automatic titrator (Mettler Toledo DL58). Saponification value was analyzed using PORIM Test Method no. p3.1 [12]. Slip melting point was analyzed using PORIM Test Method no. p4.2 [12]. Solid fat content (SFC) was determined by pulse Nuclear Magnetic Resonance (pNMR) (Bruker the minispec, mq20) using AOCS Cd 16b-93 revised in 2000; Direct Method. [13].

Results and Discussion***Crude fat extraction***

Crude MAF extracted using Soxhlet extraction method for 6 hours amounted to 7.28 ± 0.19% (dry basis). According to Solis-Fuentes and Duran-de-Bazua [9], crude fat of Manila mango kernels extracted using the same method amounted to 5.28-11.26% (dry basis).

Fatty acid composition

Fatty acid compositions of all mixtures and CB are given in Table 1 and were compared to the percentage area of the GC chromatogram. The results show that, like CB, all fat blends were composed mainly of palmitic acid, stearic acid and oleic acid. The fatty acid compositions of all blends were significantly different ($p < 0.05$) from one another. The amounts of palmitic acid, stearic acid and oleic acid in MAF were 5.39%, 46.55% and 41.09% respectively. Hence, MAF is a good source of stearic acid and oleic acid (mainly SOS triglyceride, where S = Stearic acid and O = Oleic acid), whereas POMF is a source of palmitic acid and oleic acid. (mainly POP triglyceride, where P = Palmitic acid and O = Oleic acid).

Table 1. Fatty acid composition* (%) of the mixtures and cocoa butter.

Mixture ratio	Percent of			
	Palmitic acid (C16)	Stearic acid (C18)	Oleic acid (C18:1)	Other fatty acids
100:0 (MAF)	5.39 ± 0.03	46.55 ± 0.09	41.09 ± 0.09	6.97 ± 0.16 ^c
90:10	10.34 ± 0.10	42.84 ± 0.07	40.02 ± 0.11	6.80 ± 0.28 ^c
80:20	16.26 ± 0.07	37.25 ± 0.05	39.60 ± 0.02	6.88 ± 0.05 ^c
70:30	19.84 ± 0.15	33.93 ± 0.06	39.22 ± 0.03 ^a	7.01 ± 0.12 ^c
60:40	24.93 ± 0.05	28.64 ± 0.07	39.12 ± 0.07 ^a	7.31 ± 0.10 ^b
50:50	29.11 ± 0.05	24.67 ± 0.03	38.69 ± 0.05	7.52 ± 0.11 ^b
0:100 (POMF)	51.65 ± 0.13	4.21 ± 0.01	35.63 ± 0.08	8.51 ± 0.04
Cocoa butter	25.82 ± 0.13	36.53 ± 0.04	33.49 ± 0.10	4.17 ± 0.02

Note: a, b, c mean no significant different at $\alpha = 0.05$ ($p < 0.05$)

* Values represent the average of triplicates ± standard deviation (SD).

Physicochemical properties

Iodine value

Iodine value (IV), which represents the amount of unsaturation contained in fatty acids, of all fat blends and of CB are given in Table 2. The higher the iodine number, the more unsaturated fatty acid bonds are present in a fat. The result showed that IVs of all fat mixtures were not significantly different from one another ($p < 0.05$) but were significantly higher than IV of CB, indicating that CB had the smallest degree of unsaturated fatty acids and hence was the hardest fat. From Table 2 it can be seen that the fat from Kaew mangos had an IV of 36.43 g I₂/ 100 g oil, which was lower than the IV of fat from Manila mangos (47.7 g I₂/ 100 g oil) [9].

Table 2. Iodine value (Iv) of the mixtures and cocoa butter.

Blends	Iv (g I ₂ /100 g oil)
MAF (100:0)	36.43 ± 0.18 ^b
90:10	37.12 ± 0.23 ^b
80:20	37.78 ± 1.19 ^b
70:30	37.47 ± 0.05 ^b
60:40	37.81 ± 0.38 ^b
50:50	36.95 ± 0.43 ^b
POMF (0:100)	37.04 ± 1.36 ^b
CB	29.37 ± 0.90 ^a

Note: a, b indicate no significant difference at $\alpha = 0.05$ ($p < 0.05$)

Saponification value

Saponification value (Spv) represents the number of milligrams of potassium hydroxide or sodium hydroxide required to saponify 1g of fat under the conditions specified. It is a measure of the average molecular weight (or chain length) of all the fatty acids present [14]. Spv increases when molecular weight decreases. From Table 3, it can be observed that pure POMF (0:100) had the highest Spv. As the amount of POMF in the fat blends decreased, Spv decreased proportionally. Compared with all fat blends, Spv of pure MAF (100:0) was the lowest. The Spv of Manila MAF was reported as 189.0 mg KOH/g oil [9]. As can be seen

from the table, Spv of CB was not significantly different from the Spv of 70/30, 60/40 and 50/50 blends ($p < 0.05$).

Table 3. Saponification value (Spv) of the mixtures and cocoa butter.

Blends	Spv (mg KOH/g oil)
MAF (100:0)	185.37 ± 2.79^b
90:10	187.41 ± 1.55^b
80:20	187.79 ± 0.89^b
70:30	190.88 ± 1.04^a
60:40	191.59 ± 1.55^a
50:50	192.37 ± 0.38^a
POMF (0:100)	196.66 ± 0.81
Cocoa butter	190.70 ± 1.13^a

Note: a, b indicate no significant difference at $\alpha = 0.05$ ($p < 0.05$).

Slip melting point

Slip melting point (SMP) is an important value because it was used to consider which of the fat blends was most suitable be used as CBE. Table 4 shows that the SMPs of all mixtures were significantly different from that of cocoa butter ($P < 0.05$). However, the SMP of the 80/20 blend was the closest to CB.

Table 4. Slip melting point* ($^{\circ}\text{C}$) of the mixtures and cocoa butter.

Blends	SMP ($^{\circ}\text{C}$)
MAF (100:0)	35.7 ± 0.1
90:10	30.8 ± 0.0
80:20	29.3 ± 0.0
70:30	32.1 ± 0.1
60:40	32.9 ± 0.1
50:50	33.2 ± 0.1
POMF (0:100)	39.8 ± 0.1
CB	27.8 ± 0.0

Note: * values represent the average of triplicates $\pm$ standard deviation (SD).

Solid fat content

SFC at a given temperature represents the percentage of solid fat crystallized at that particular temperature. A plot of SFC versus temperature generally gives the melting behaviour of fats. The analysis of SFC of the fat mixtures and CB at different temperatures between 15-40 $^{\circ}\text{C}$ provided the results shown in Figure 1. It can be seen from the figure that at 32-40 $^{\circ}\text{C}$ the 80/20 (%wt) blend exhibited the melting behaviour closest to that of cocoa butter ($p < 0.05$).

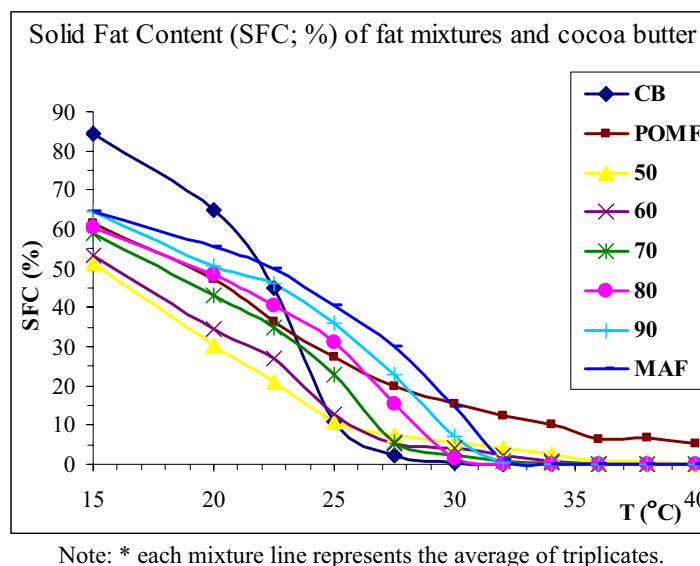


Figure 1. Solid fat content* (%) of the mixtures and cocoa butter at 15 - 40°C.

Conclusions

MAF obtained from the “Keaw” mango kernels could be an alternative source of edible oil. With the right proportion, a fat blend between MAF and POMF could be used as CBE. The 80/20 (%wt) blend mainly consisted of three fatty acids that were also the main fatty acid components of CB. In addition, the melting behaviour and SMP of the 80/20 (%wt) blend were closest to that of CB. As a result of this, the 80/20 (%wt) blend had the most potential for future use as CBE.

Acknowledgments

Funding from Office of the Higher Education Commission and Thailand Research Fund is truly appreciated. The authors would like to thank Bruker Biospin AG (Thailand) Co., Ltd. for the use of their pulse-Nuclear Magnetic Resonance (p-NMR) in this work.

References

1. Beckett S.T. (2000). *The Science of Chocolate*. The Royal Society of Chemistry. Cambridge. 175 p.
2. Minifie B.W. (1989). *Chocolate, Cocoa and Confectionery; Science and Technology*. 3rd en. Chapman & Hall. New York and London.
3. Kheiri M.S.A. (1982). *Formulation, Evaluation and Marketing of Cocoa Butter Replacers Fat*. Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM). Kuala Lumpur.
4. Pease J.J. (1985). Confectionery fats from palm oil and lauric oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 62(2), 426-430.

5. Hassan M., Philippe J.B., Alain P. and Gerard G. (1995). Production of cocoa butter equivalents from prickly-pear juice fermentation by an unsaturated fatty acid auxotroph of *Cryptococcus curvatus* grown in batch culture. **Process Biochemistry**, 30(7), 629-634.
6. Moreton R.S. (1988). Single cell oil, pp. 1-32. In Moreton R.S. (Ed.). Physiology of lipid accumulation yeast. Longman Scientific and Technical. London.
7. Samsudin S., Rahim M.A.A. (1996). Use of palm mid-fraction in white chocolate formulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 71, 483-490.
8. Kellens M., Gibon V., Hendrix M. and Greyt W.D. (2007). Palm oil fractionation. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 109, 336-349.
9. Solis-Frentes J. A. and Duran-de Bazua M. C. (2004). Mango seed uses: thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. **Bioresource Technology**, 92, 71-78.
10. Mehlenbacher V.C. (1970). Analisis de grasas y aceites. Ediciones Urmo. Bilbao.
11. AOAC. (2000). Oils and Fats, pp. 1-69. In H. William, (Eds.). Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC International, Maryland, USA.
12. Zaidul I.S.M., Norulaini N.A., Mohd Omar A.K. and Smith Jr, R.L. (2007). Blending of Supercritical Carbon Dioxide (SC-CO₂) extracted palm kernel oil fractions and palm oil to obtained cocoa butter replacers. **Journal of Food Engineering**, 78, 1397-1409.
13. AOCS. (2000). In D. Firestone, (Eds.). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 6th ed. American Oil Chemists' Society. Champaign, USA.
14. Rattanapanon N. (2005). The Science of Fats and Oils. Odeon Store. Bangkok. 256 p.
15. Rajah K.K. (ed.). (2002). Fats in Food Technology. Sheffield Academic Press Ltd. London. 379 p.