

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กรมการค้าต่างประเทศ. (2550). สถานการณ์สินค้ามะม่วงและผลิตภัณฑ์ [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2552, เข้าถึงได้จาก [http://www.dft.moc.go.th/the_files/\\$\\$16/level4/มะม่วง%20ปี%202550\(ม.ค.-ค.ค.\).doc](http://www.dft.moc.go.th/the_files/$$16/level4/มะม่วง%20ปี%202550(ม.ค.-ค.ค.).doc).
- กรมการค้าต่างประเทศ. (2552). สถานการณ์ผลไม้และผลิตภัณฑ์ (สถิติ ม.ค. - ธ.ค. 2552) [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 23 มิถุนายน 2552, เข้าถึงได้จาก [http://www.dft.moc.go.th/level4Frame.asp?sPage=the_files/\\$\\$16/level4/สถานการณ์ผลไม้2551.doc&level4=2091](http://www.dft.moc.go.th/level4Frame.asp?sPage=the_files/$$16/level4/สถานการณ์ผลไม้2551.doc&level4=2091).
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2552). รายงานสถานการณ์มะม่วง [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 4 มิถุนายน 2552, เข้าถึงได้จาก [http://agriman.doae.go.th/home/news/15-28%20February%202009/0004_mango \(1528% 20February%202009\).pdf](http://agriman.doae.go.th/home/news/15-28%20February%202009/0004_mango%20(1528%20February%202009).pdf).
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2547). สถานการณ์มะม่วง [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 4 มิถุนายน 2552, เข้าถึงได้จาก http://job.haii.or.th/moac/index.php?method=subject&action=detail&category_id=2&subcategory_id=4&content_id=167.
- นิธิยา รัตนานนท์. (2548). วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพมหานคร : โอเคียนสโตร์
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ สมาพันธ์พลเมืองฐานรากแห่งประเทศไทยและนิตยสารเมืองไม่ผล. (2552). สัมมนา เรื่อง ศักยภาพมะม่วงไทยในตลาดโลก [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 4 มิถุนายน 2552, เข้าถึงได้จาก <http://same111.blogspot.com/2009/05/12-2552-830-1700-4.html>.
- วิจิตร วังใน. (2529). มะม่วง. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ศรีสมบัติการพิมพ์ จำกัด.
- วินัย คะห์ลัน. (2542). ไขมันไม่อิ่มตัวต่ำ. เนชั่นสุดสัปดาห์. 8(391) [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 6 พฤษภาคม 2553, เข้าถึงได้จาก http://www.elib-online.com/doctors/food_fat01.html.
- สุวรรณา สุกิมารส. (2543). เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกแลต. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาต่างประเทศ

- Afoakwa, E. O., Paterson, A. & Fowler, M. (2008). Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *European Food Research and Technology*, 226, 1259-1268.
- Afolabi, I. S. (2008). Chemical qualities of oils from some fresh and market vegetable crops within Kwara State of Nigeria. *Nigerian Society for Experimental Biology*, 20(2), 71-75.
- Ahmadi, L. & Marangoni, A. G. (2009). Functionality and physical properties of interesterified high oleic shortening structured with stearic acid. *Food Chemistry*, 117, 668-673.
- Ali, A., Selamat, J., Che Man, Y.b. & Suria, A. M. (2001). Effect of storage temperature on texture, polymorphic structure, bloom formation and sensory attributes of filled dark chocolate. *Food Chemistry*, 72, 491-497.
- Anwer, T., Bhanger, M. I., Anwar, F., Khan, M., Shahaid, R. & Iqbal, S. (2006). A comparative characterization of different non-conventional oilseeds found in Pakistan. *Journal of the Chemistry Society of Pakistan*, 28(2), 144-148.
- AOAC. (2000). Oils and Fats In: H. William, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, vol. 2 (pp. 1-69). Maryland: AOAC International suite 500.
- AOCS. (1989). In: D. Firestone, *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*, Champaign: American Oil Chemists' Society.
- Armstrong, W. P. (2004). Fruits Called Nuts: Mango, Pistachio & Gum Mastic: Sumac Family (Anacardiaceae) [Online]. Accessed 23 July 2009. Available from <http://waynesword.palomar.edu/ecoph8.htm>.
- Awad, T. & Sato, K. (2002). Acceleration of crystallization of palm kernel oil in oil-in-water emulsion by hydrophobic emulsifier additives. *Colloid and Surface B*, 25, 45-53.
- Bailey, A.E. (1950). *Melting and Solidification of Fats and Fatty Acids*, New York: Interscience.
- Bannon, C. D., Craske, J. D., Hai, N. T., Harper, N. L. & O'Rourke, K. L. (1982). Analysis of fatty acid methyl esters with accuracy and reliability. *Journal of Chromatography*, 247, 63-69.
- Beckett, S. T. (2000). *The Science of Chocolate*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Caprette, D. R. (2005). Experimental Biosciences: Introduction laboratory-Bios 211 [Online]. Accessed 2 March 2010. Available from <http://www.ruf.rice.edu/~bioslabs/methods/microscopy/dfield.html>.

- Chong, C. L., Omar, Z., Kamaruddin, Z., Ahmad, R. & Puteh, J. (2006). Polymorphic determination of crystals of palm oil and its products using TTRAX III rotating anode diffractometer. *Malaysian Palm Oil Board*, 11.
- Czerniak, A. S., Karlovits, G., Lach, M. & Szlyk, E. (2005). X-ray diffraction and differential scanning calorimetry studies of $\beta' \rightarrow \beta$ transitions in fat mixtures. *Food Chemistry*, 92, 133-141.
- Dutrow, B. L. & Clark, C. M. (2009). Geochemical Instrumentation and Analysis: X-ray powder diffraction (XRD) [Online]. Accessed 24 February 2010. Available from http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html.
- Foubert, I., Dewettinck, K., Janssen, G. & Vanrolleghem, P. A. (2006). Modelling two-step isothermal fat crystallization. *Journal of Food Engineering*, 75, 551-559.
- Ghotra, B. S., Dyal, S. D. & Narine, S. S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International* 35, 1015-1048.
- Golden, D. C., Ming, D. W. & Morris, R. V. (2010). Spherulitic growth of hematite under hydrothermal conditions: Insights into the growth mechanism of hematite spherules at Meridiani planum, Mars. *Lunar and Planetary Science Conference: NASA-JSC*.
- Gordon, M. H., & Rahman, I. A. (1991). Effects of minor component on the crystallization of coconut oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68(8), 577-579.
- Hamm, W. (1995). Trends in edible oil fractionation. *Trends in Food Science & Technology*, 6, 121-126.
- Hartel, R. W. (1999). Chocolate: Fat bloom during storage-The Influence of Structural Elements. [Online]. Accessed 14 May 2010. Available from http://www.pmca.com/firstpage/1999_13.pdf.
- Henry, D., Eby, N., Goodge, J. & Mogk, D. (2007). Geochemical Instrumentation and Analysis: X-ray reflection in accordance with Bragg's Law [Online]. Accessed 1 April 2010. Available from http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/BraggsLaw.html
- Himawan, C., Starov, V. M. & Stapley, A. G. F. (2006). Thermodynamic and kinetic aspects of fat crystallization. *Advances in Colloid and Interface Science*, 122, 3-33.
- Kaneko, F. (2001). Polymorphism and Phase Transitions of Fatty Acids and Acylglycerols. *Crystallization Processes in Fats and Lipid Systems*. New York: Marcel Dekker Inc.

- Kellens, M., Gibon, V., Hendrix, M. & Greyt, W. D. (2007). Palm oil fractionation. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109, 336-349.
- Koay, G. F. L., Guan, C. T., Abidin, S. Z., Ahmad, S. & Choong, T. S. Y. (2009). Habit and morphology study on the palm oil-based 9,10-dihydroxystearic acid (DHSA) crystals. *Materials Chemical and Physics*, 114, 14-17.
- Koyano, T., & Sato, K. (2002). Physical Properties of Fats in Food. In: K. K. Rajah, *Fats in Food Technology* (pp. 1-29). Sheffield: Sheffield Academic Press.
- Lakshminarayana, G., Chandrasekhara, T. R., & Ramalingaswamy, P. A. (1983). Varietal variation in content, characteristics and composition of mango seeds and fat. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 60(1), 12-13.
- Lipp, M. & Anklam, E. (1998). Review of cocoa butter and alternative fats for use in chocolate--Part A. Compositional data. *Food Chemistry*, 62(1), 73-97.
- Lipp, M., Simoneau, C., Ulberth, F., Anklam, E., Crews, C., Brereton, P., de Greyt, W., Schwack, W. & Wiedmaier, C. (2001). Composition of genuine cocoa butter and cocoa butter equivalents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14, 399-408.
- Maleky, F. & Marangoni, A. G. (2008). Process development for continuous crystallization of fat under laminar shear. *Journal of Food Engineering*, 89, 399-407.
- Marangoni, A. G. & Narine, S. S. (2002). Identifying key structural indicators of mechanical strength in networks of fat crystals. *Food Research International*, 35, 957-969.
- Marangoni, A. G. & MCGauley, S. E. (2003). Relationship between crystallization behavior and structure in cocoa butter. *Crystal Growth & Design*, 3(1), 95-108.
- Marty, S. & Marangoni, A. G. (2009). Effects of cocoa butter origin, tempering procedure, and structure on oil migration kinetics. *Crystal Growth & Design*, 9(10), 4415-4423.
- Minific, B. W. (1989). *Chocolate, Cocoa, and Confectionery*. New York: Science and Technology.
- Mullin, J. W. (1993). *Crystallization*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Myerson, A. S. (2002). *Handbook of Industrial Crystallization*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Narine, S. S. & Humphrey, K. L. (2004). A comparison of lipid shortening functionality as a function of molecule ensemble and shear: microstructure, polymorphism, solid fat content and texture. *Food Research International*, 37, 28-38.
- Narine, S. S. & Marangoni, A. G. (1999). Relating structure of fat crystal networks to mechanical properties: a review. *Food Research International*, 32, 227-248.

- Nopens, I., Foubert, I., Graef, V. D., Laere, D. V., Dewettinck, K. & Vanrolleghem. (2008). Automated image analysis tool for migration fat bloom evaluation of chocolate coated food products. *Food Science and Technology*, 41, 1884-1891.
- Omar, Z., Let, C. C., Seng, C. C. & Rashid, N. A. (2005). Crystallisation and rheological properties of hydrogenated palm oil and palm oil blends in relation to crystal networking. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(9), 634-640.
- Pajin, B. & Javanovic, O. (2005). Influence of high-melting milk fat fraction on quality and fat bloom stability of chocolate. *European Food Research and Technology*, 220, 389-394.
- Pearson, S. M., Karobliene, S., Skurkiene, J. & Zsigmond, I. (2006). Heat resistant confectionery. U.S. Patent No. 12106833
- Perez-Martinez, D., Alvarez-Salas, C., Charo-Alonso, M., Dibildox-Alvarado, E. & Toro-Vazquez, J. F. (2007). The cooling rate effect on the microstructure and rheological properties of blends of cocoa butter with vegetable oils. *Food Research International* 40, 47-62.
- Podmore, J. (2002). Bakery Fats. In: K. K. Rajah, *Fats in Food Technology*. (pp. 30-68). Sheffield: Sheffield Academic Press.
- PORIM. (1995). *Palm oil Research Institute of Malaysia (PORIM) Test Method*. Bangi.
- Puravankara, D., Boghra, V. & Sharma, R. S. (2000). Effect of antioxidant principles isolated from mango seed kernels on oxidative stability of buffalo ghee, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 522-526.
- Sabariah, S., Ali, A. R. M. & Chong, C. L. (1998). Chemical and physical characteristics of cocoa butter substitutes, milk fat and Malaysian cocoa butter blends. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 75(8), 905-910.
- 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.
- Sato, K. (1999). Solidification and phase transformation behavior of food fats - a review. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 101, 467-474.
- Sato, K. (2001). Molecular Aspects in Fat Polymorphism. *Crystallization and Solidification Properties of Lipids*. Illinois: AOCS Press.
- Sato, K. (2001). Crystallization behaviour of fats and lipids - a review. *Journal of Chemical Engineering Science* 56, 2255-2265.

- Simoneau, C., Hannaert, P. & Anklaam, E. (1998). Detection and quantification of cocoa butter equivalents in chocolate model systems: analysis of triglyceride profiles by high resolution GC. *Food Chemistry*, 65, 111-116.
- Smith, K. W. (2005). *Fat Crystallization - Fundamentals*. Bedford: Unilever Research Colworth.
- Solis-Fuentes, J. A., & 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(1), 71-78.
- Solis-Fuentes, J. A., & Duran-de-Bazua, M. C. (2005). Recovery fats and oils from agro-industrial wastes and by-products for use in industrial applications. *Journal of Applied Sciences*, 5(6), 983-987.
- Solis-Fuentes, J. A., Hernandez-Medel, M. R. & Duran-de-Bazua, M. C. (2005). Determination of the predominant polymorphic form of mango almond fat by DSC and XRD. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107, 395-401.
- Sonwai, S. & Mackley, M. R. (2006). The effect of shear on the crystallization of cocoa butter. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 83(7), 583-596.
- Sonwai, S. & Rousseau, D. (2006). Structure evolution and bloom formation in temperd cocoa butter during long-term storage. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108, 735-745.
- Stewart, I., & Kristott, J. (2004). European union chocolate directive defines vegetable fats for chocolate. *Journal of Lipid Technology*, 16, 11-14.
- Stewart, I. M. & Timms, R. E. (2002). Fats for Chocolate and Sugar Confectionery. In: K. K. Rajah, *Fats in Food Technology*. (pp. 159-191). Sheffield: Sheffield Academic Press.
- Talbot, G. (1999). Vegetable Fats. In: S. T. Beckett, *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. (pp. 307-322). Oxford: Blackie Academic & Professional.
- Timms, R. E. (1994). Physical Chemistry of Fats. In: D. P. J. Moran, & K. K. Rajah, *Fats in Food Products*. (pp. 1-28). London: Blackie Academic & Professional.
- Undurraga, D., Markovits, A., & Erazo, S. (2001). Cocoa butter equivalent through enzymic interesterification of palm oil midfraction. *Journal of Process Biochemistry*, 36(10), 933-939.
- Wikipedia encyclopeda. (2009). Slip melting point [Online]. Accessed 27 August 2009. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Slip_melting_point.

Wikipedia encyclopedia. (2010). Dark field microscopy [Online]. Accessed 2 March 2010. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Dark_field_microscopy.

Wikipedia encyclopedia. (2010). X-ray scattering techniques [Online]. Accessed 24 February 2010. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_scattering_techniques

Wolniak, S. M. (2004). Principles of Microscopy [Online]. Accessed 2 March 2010. Available from <http://www.life.umd.edu/CBMG/faculty/wolniak/wolniakmicro.html>.

Zaidul, I. S. M., Nik Norulaini, N. A., Mohd Omar, A. K., & Smith, J. R. L. (2007). Blending of supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) extracted palm kernel oil fractions and palm oil to obtain cocoa butter replacers. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1397-1409.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การให้น้ำมันบริสุทธิ์ตามวิธีของ Wesson method

การให้น้ำมันบริสุทธิ์ตามวิธีของ Wesson method (Mehlenbacher, 1970)

ละลายน้ำมัน (crude fat) ที่สกัดได้ใน petroleum ether ด้วยอัตราส่วนของ

น้ำมัน : petroleum ether เท่ากับ 1 : 5 (w/v)



เติม 14% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 ml : 1 กรัมของน้ำมัน



คนอย่างรุนแรงเป็นเวลา 3 นาที



เติม 50% เอทานอล ในอัตราส่วนของ

น้ำมัน : เอทานอล เท่ากับ 1:2.5 (w/v) ขณะคน



ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้น โดยชั้นบนเป็นชั้นของอีเทอร์ที่มีน้ำมันละลายอยู่



เติมอีเทอร์เพื่อสกัดซ้ำ



ตั้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นใช้ส่วนบน



ระเหยสารละลายอีเทอร์โดยเครื่อง rotavapour



เก็บน้ำมันที่ได้ที่ 5°C ให้พ้นจากแสงจนกว่าจะทำการวิเคราะห์

ที่มา : Solis-Fuentes และ Duran-de-Bazua (2004)

ภาคผนวก ข
การเตรียมเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

การเตรียมเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

(Preparation of methyl esters; Boron trifluoride method)

ชั่งตัวอย่างลง flask ประมาณ 0.4000 g เติม NaOH/MtOH 6 ml และ boiling chip



ต่อเข้ากับ condenser และ reflux จนกระทั่งหยดน้ำมันหายไป 10 นาที



เติม BF_3 7 ml ผ่าน condenser ค้างต่อ 2 นาที



เติม heptane 5 ml ผ่าน condenser ค้างต่อ 1 นาทีหรือนานกว่า



ทิ้งให้เย็นเพื่อให้เกิดการควบแน่น



เติมสารละลายเกลืออิ่มตัวประมาณ 15 ml



ปิด flask และเขย่าอย่างรุนแรงเป็นเวลา 15 วินาที ขณะที่สารละลายยังอุ่นอยู่



เติมสารละลายเกลืออิ่มตัวจนชั้นของ heptane ขึ้นมาที่คอ flask



ปิเปตสารละลายส่วนบนไปใส่ glass stopper test tube



เติม anhydrous Na_2SO_4 เล็กน้อยเพื่อกำจัด H_2O



ถ้าจำเป็นให้เจือจางสารละลายให้มีความเข้มข้น 5-10% สำหรับ GC

ที่มา : AOAC (2000)



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ค่าสปอนนิฟเคชันตามวิธีของ PORIM test method

การวิเคราะห์ค่าสaponification index ตามวิธีของ PORIM test method no. p 3.1, 1995

ละลายตัวอย่างที่อุณหภูมิ 70-80°C และทำการ homogenize และกรองด้วยกระดาษกรอง
เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกก่อน



ชั่งตัวอย่างเหลวให้มีน้ำหนักแน่นอน 2 ± 0.005 กรัม ลงใน conical flask



เติมสารละลายเอทานอลิกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 25 ml และ boiling aids เล็กน้อย



ต่อ conical flask กับ reflux condenser จากนั้นต้มเพื่อ reflux อย่างช้า ๆ เป็นเวลาอย่างน้อย 60 นาที
เขย่า flask เป็นระยะตลอดการต้ม



conical flask กับ reflux condenser ถูกทำให้เย็นลงเล็กน้อยก่อนล้างภายใน condenser
ด้วยน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อย



เติม Phenolphthalein 1 ml แล้วไตเตรตด้วยสารละลาย 0.5 N HCl

จนกระทั่งสีชมพูหมดไป

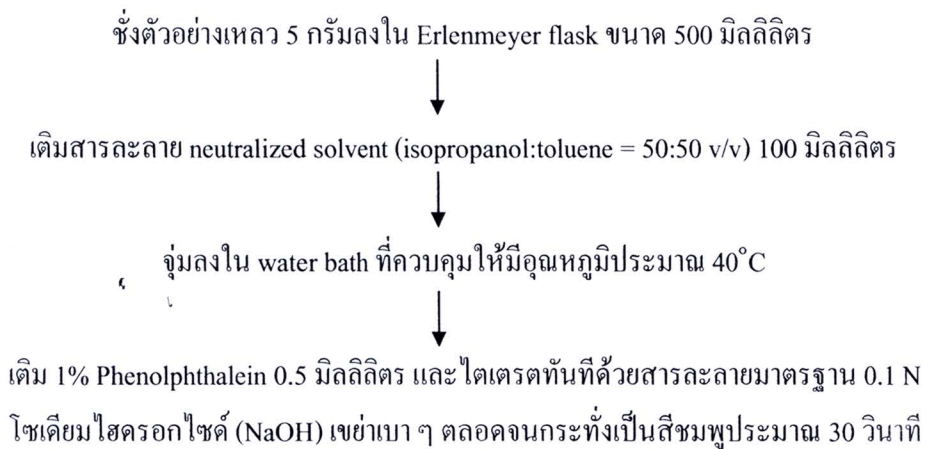
ที่มา : Zaidul และคณะ (2007)

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดโดยประยุกต์ใช้วิธีของ AOCS

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด
โดยประยุกต์ใช้วิธีของ AOCS Methods Cd 3a-63

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดโดยประยุกต์ใช้วิธีของ AOCS Methods Cd 3a-63 (1989) ดังนี้



หมายเหตุ ทำตัวอย่างละ 2 ขั้ว พร้อมกับทำ blank ไปด้วยภายใต้สภาวะเดียวกัน

ที่มา : AOCS (1989)

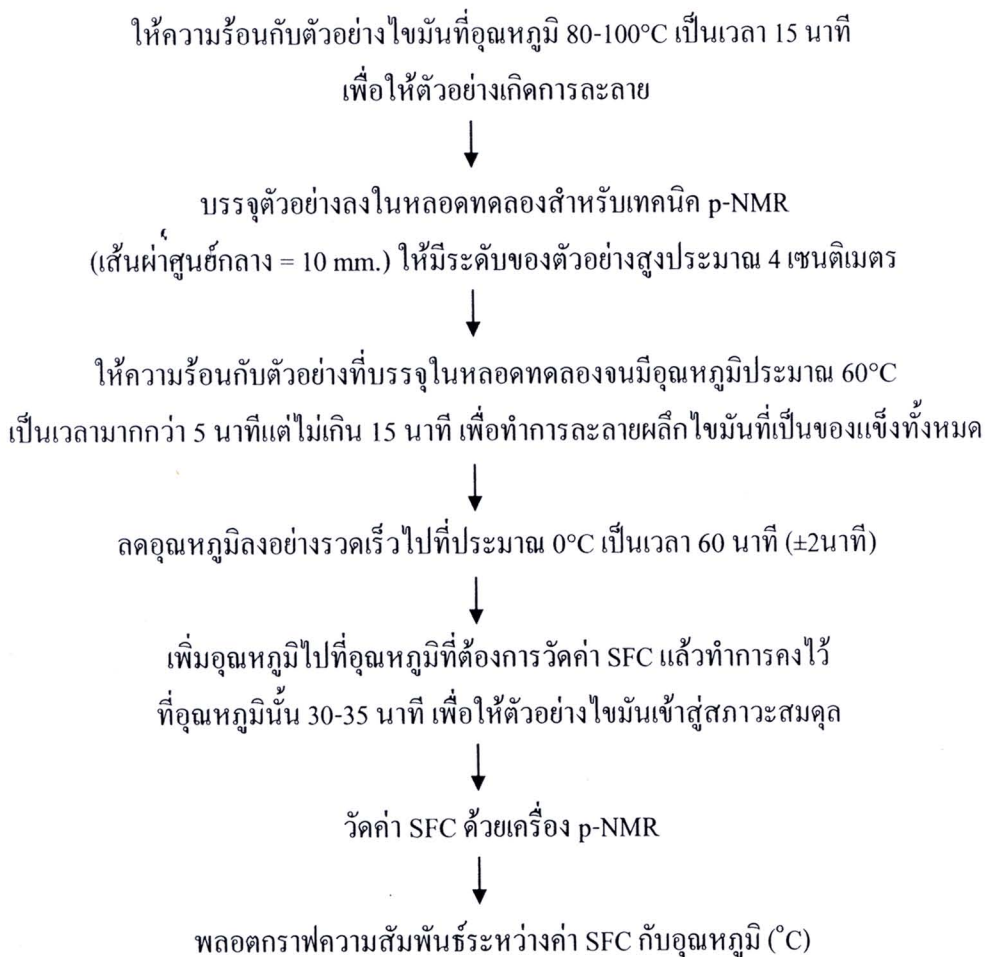
ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้ pulse-Nuclear Magnetic Resonance

การวิเคราะห์ค่า SFC ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

โดยใช้ pulse-Nuclear Magnetic Resonance หรือ p-NMR

ทำการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนการวัดค่า SFC ด้วยเครื่อง p-NMR ตามกรรมวิธีของ AOCS Cd 16b-93 revised in 2000; Direct Method ดังนี้

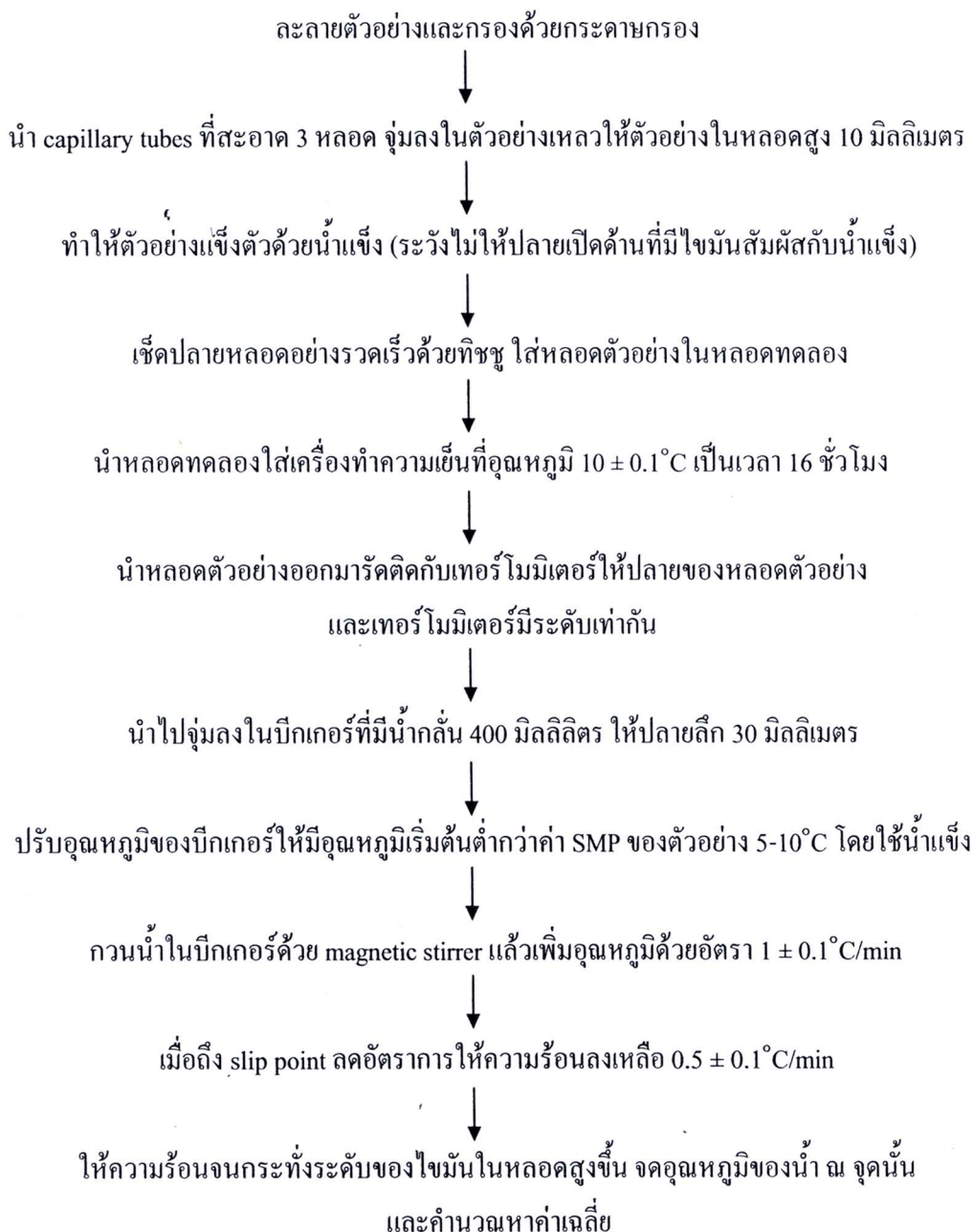


ที่มา : AOCS (2000)

ภาคผนวก ฉ
การหาค่า Slip Melting Point (SMP)

การหาค่า Slip Melting Point (SMP)

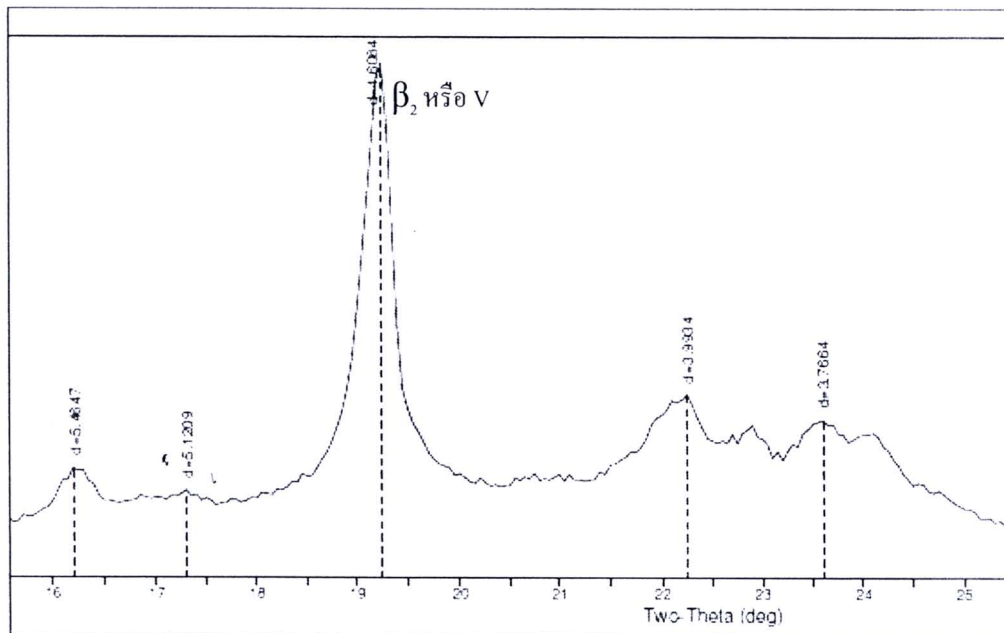
เป็นการหาอุณหภูมิที่ตัวอย่างเกิดการหลอมเหลวอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน แล้วเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นภายใน capillary tubes ซึ่งเป็นหลอดสำหรับบรรจุตัวอย่าง โดยมีขั้นตอนตาม PORIM test method no. p 4.2, 1995 (Zaidul และคณะ, 2007) ดังนี้



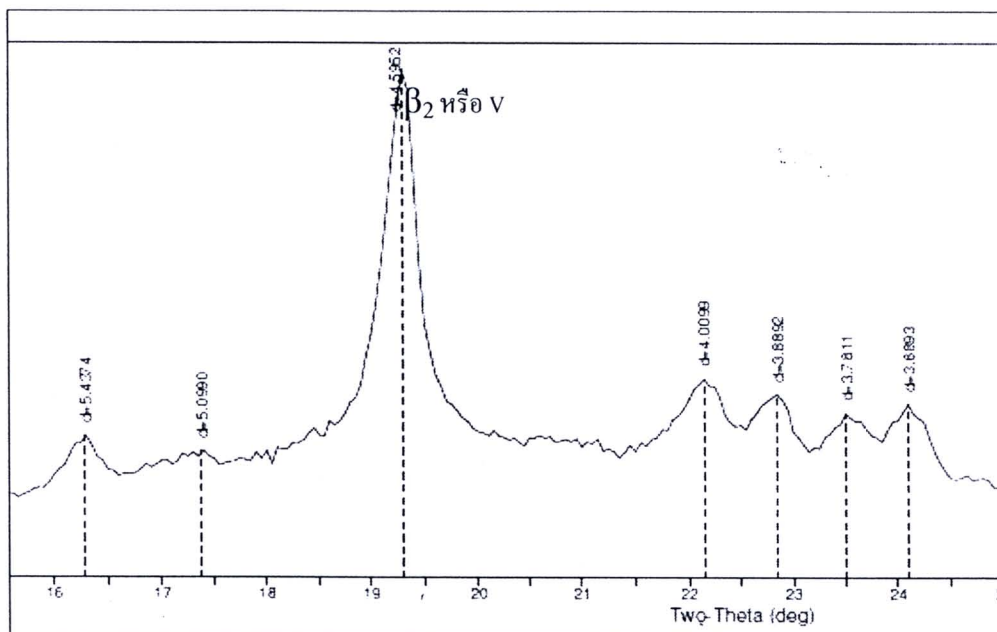
ภาคผนวก ข

X-ray diffraction pattern จากการทำ tempering ตัวอย่างไขมัน

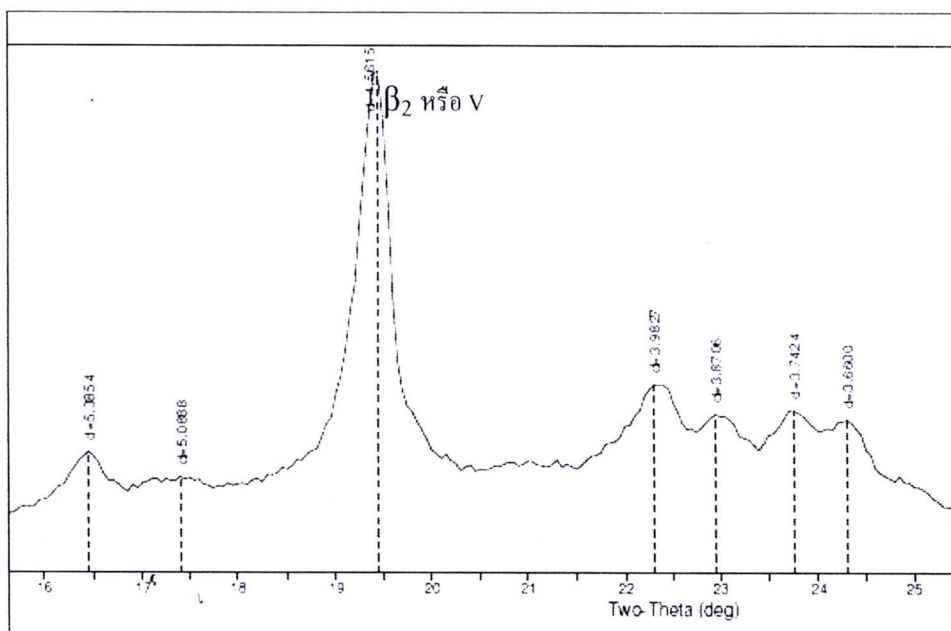
X-ray diffraction pattern จากการทำ tempering ตัวอย่างไขมัน



ภาพที่ 27 X-ray diffraction pattern จากการทำ tempering ตัวอย่างเนยโกโก้



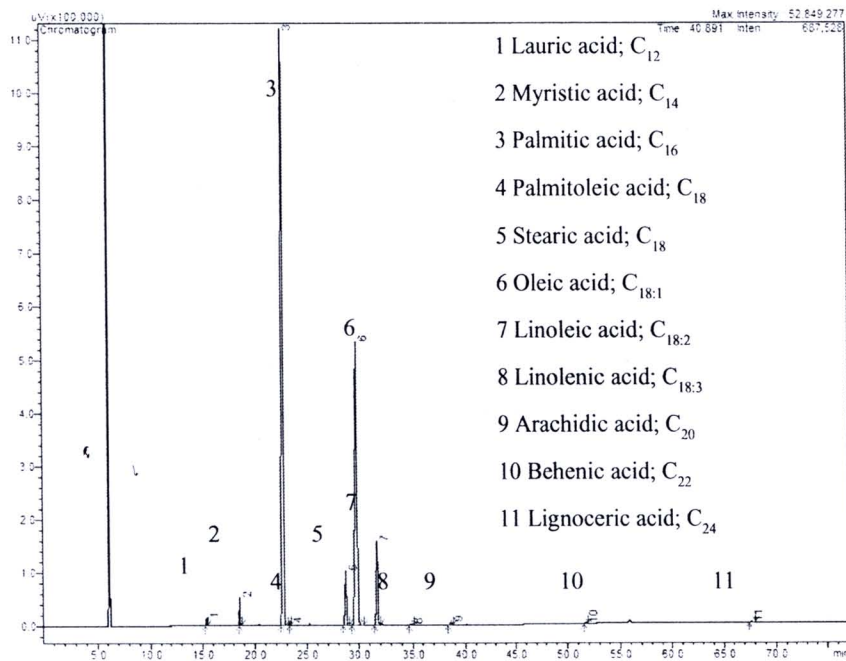
ภาพที่ 28 X-ray diffraction pattern จากการทำ tempering ตัวอย่าง CBE



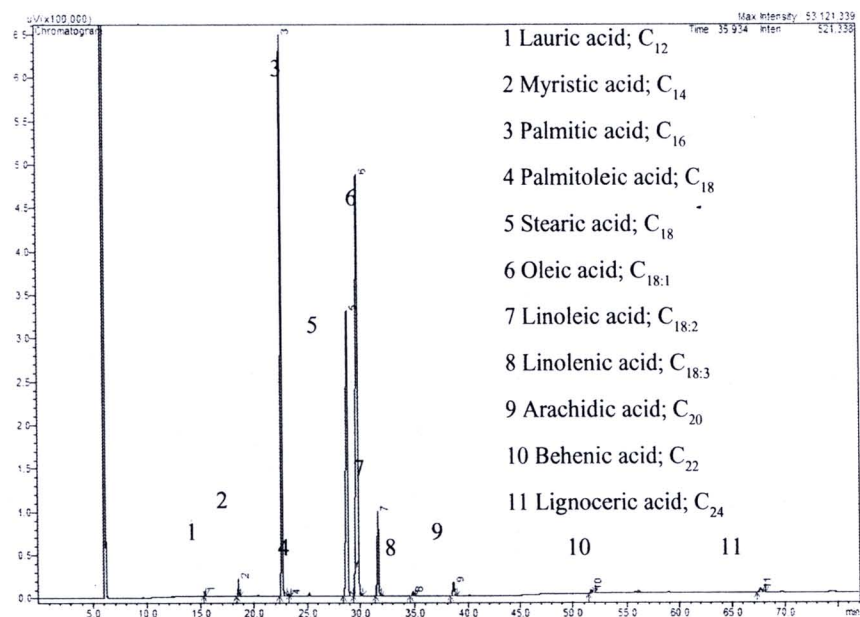
ภาพที่ 29 X-ray diffraction pattern จากการทำ tempering ตัวอย่างไขมันผสมระหว่าง CEB และ CB ในอัตราส่วน 1:5.64 (w/w) หรือ MIX

ภาคผนวก ข
โครมาโตแกรมของไขมันผสมและเนยโกโก้

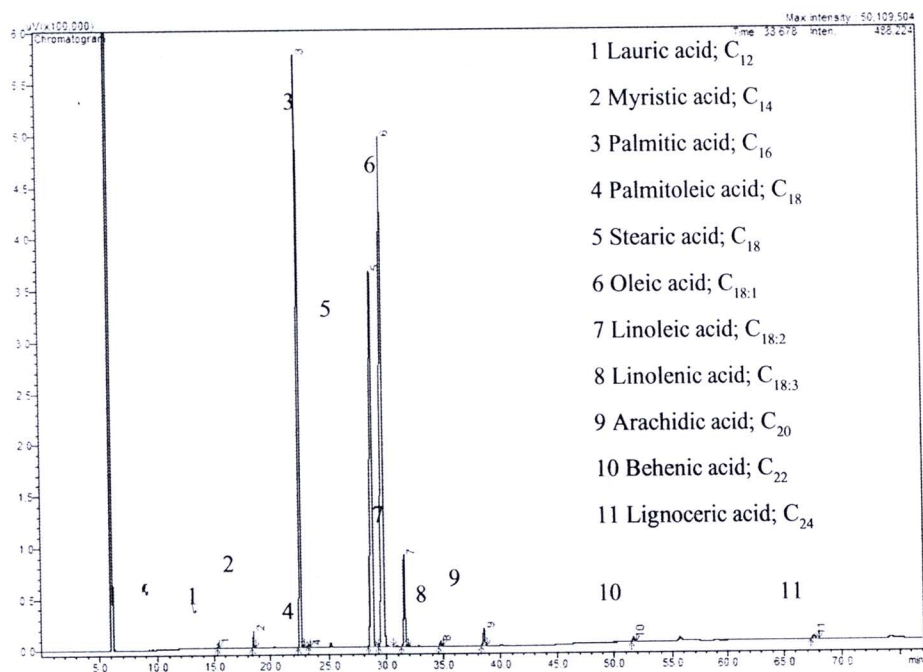
โครมาโตแกรมของไขมันผสมและเนยโกโก้



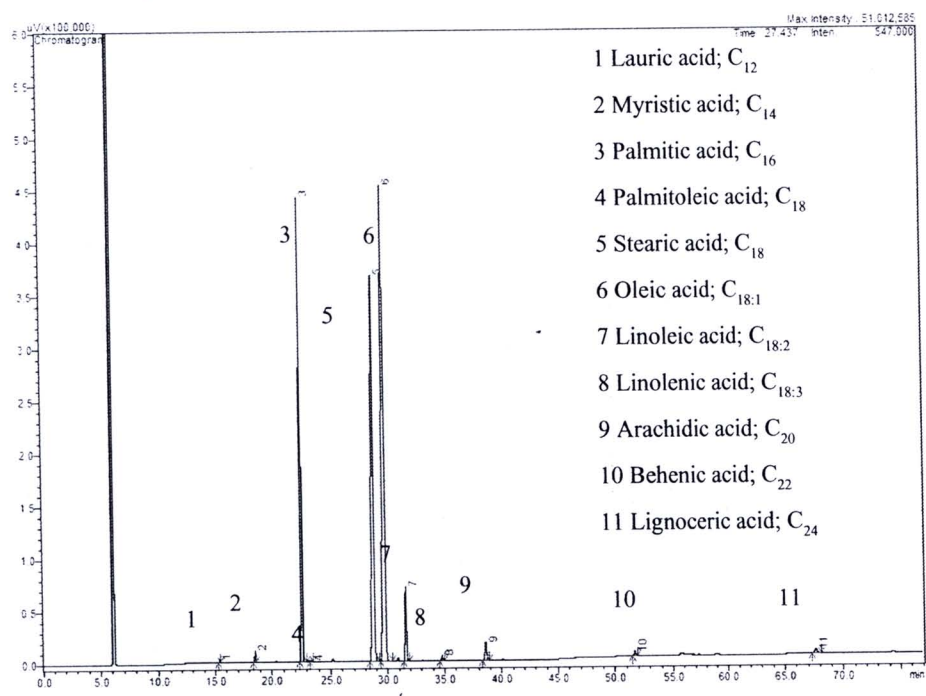
ภาพที่ 30 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันผสมอัตราส่วน 0:100 (w/w)



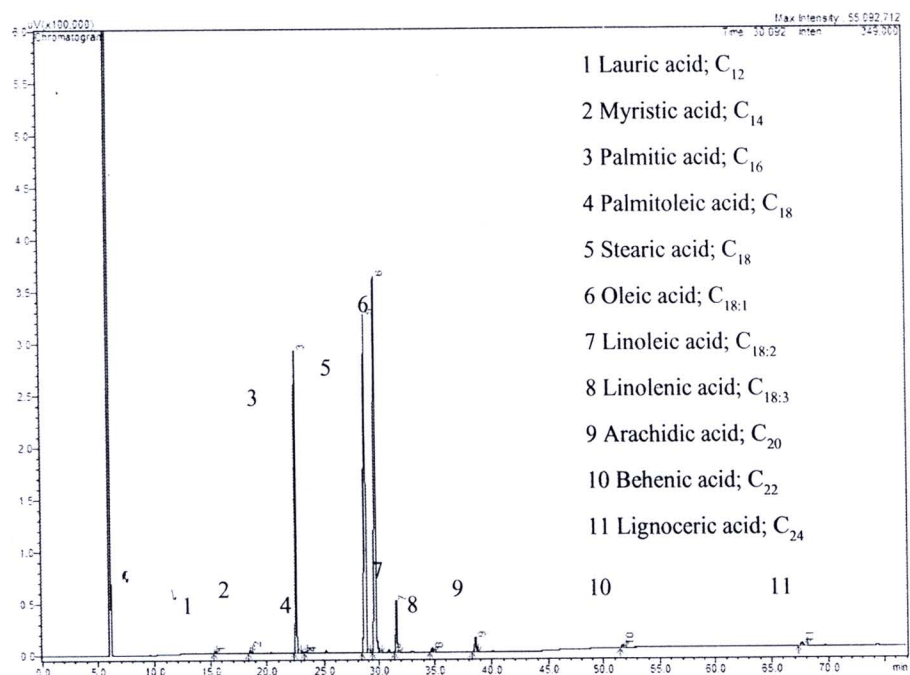
ภาพที่ 31 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันผสมอัตราส่วน 50:50 (w/w)



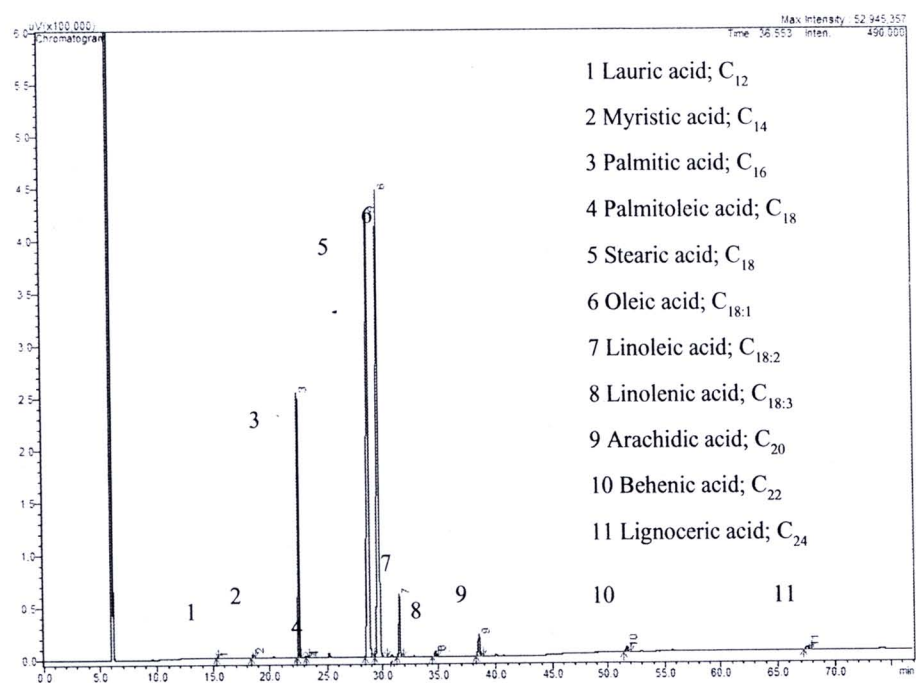
ภาพที่ 32 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันผสมอัตราส่วน 60:40 (w/w)



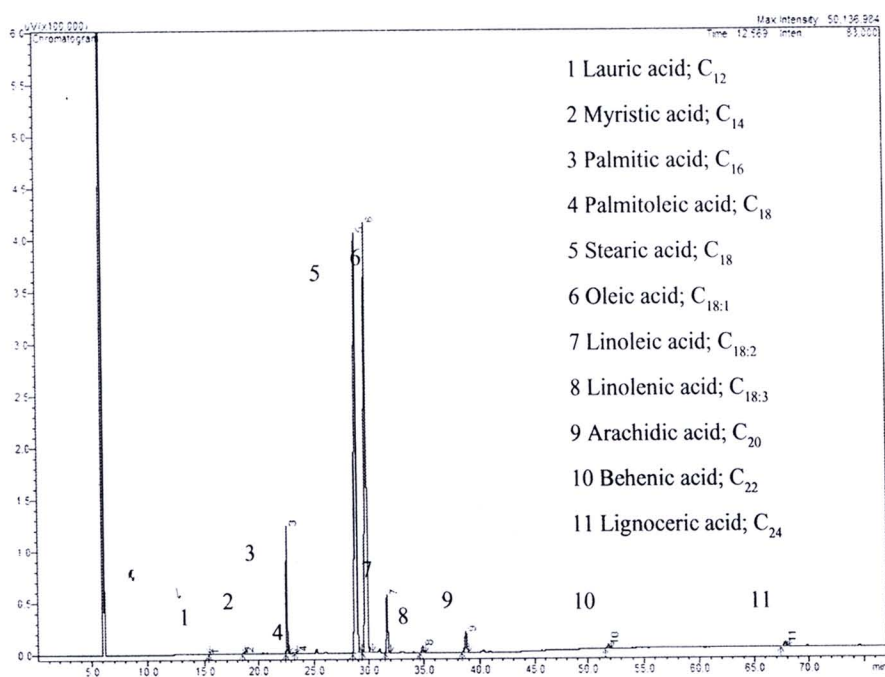
ภาพที่ 33 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันผสมอัตราส่วน 70:30 (w/w)



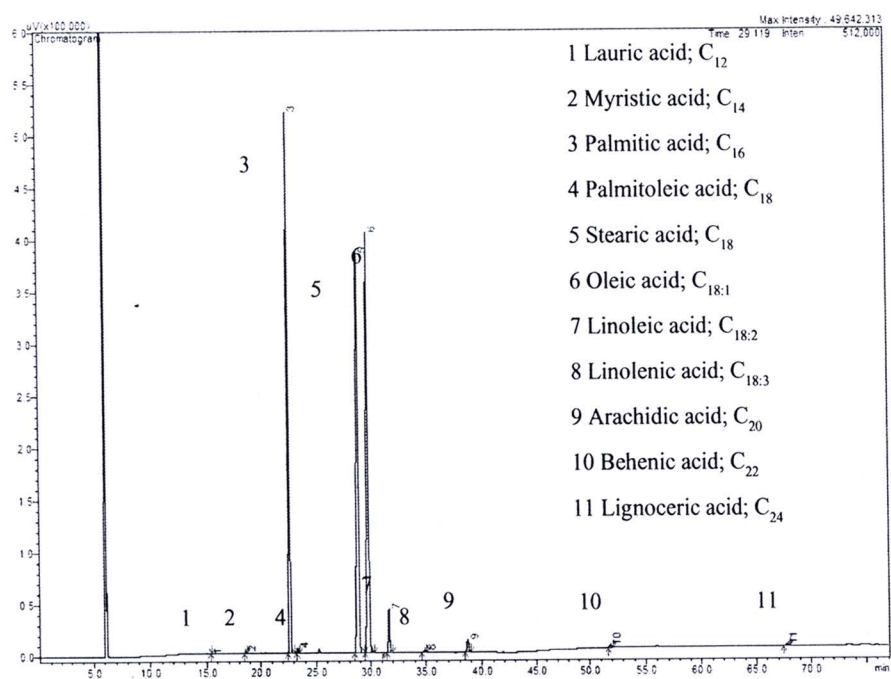
ภาพที่ 34 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันผสมอัตราส่วน 80:20 (w/w)



ภาพที่ 35 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันผสมอัตราส่วน 90:10 (w/w)



ภาพที่ 36 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันผสมอัตราส่วน 100:0 (w/w)



ภาพที่ 37 โครมาโตแกรมของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเนยโกโก้

ภาคผนวก ฉ

ตารางแสดงร้อยละของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ
ไขมันผสมอัตราส่วนต่าง ๆ และเนยโกโก้

ตารางที่ 11 ตารางแสดงร้อยละของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันผสมอัตราส่วนต่าง ๆ และเนยโกโก้

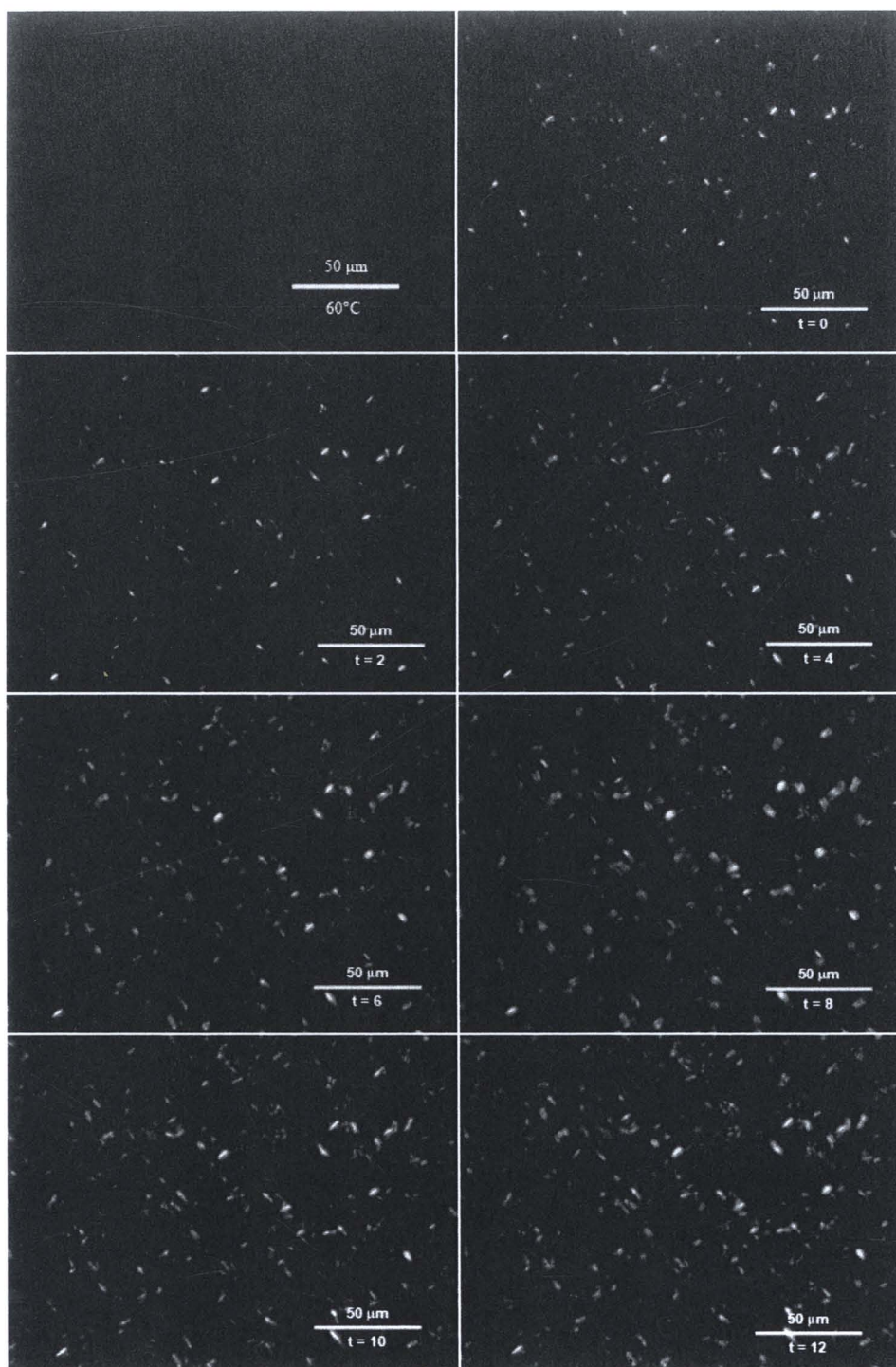
ชนิดของกรดไขมัน	ร้อยละของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ							
	MAF (100:0)	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	PMF (0:100)	เนยโกโก้
กรดลอริก (C12)	0.011 ± 0.001	0.047 ± 0.002	0.080 ± 0.002	0.090 ± 0.004	0.122 ± 0.004	0.134 ± 0.000	0.245 ± 0.004	-
กรดไมริสติก (C14)	0.033 ± 0.001	0.138 ± 0.003	0.258 ± 0.003	0.327 ± 0.008	0.432 ± 0.003	0.516 ± 0.001	1.000 ± 0.007	0.072± 0.002
กรดปาล์มมิติก (C16)	5.387 ± 0.026	10.338 ± 0.096	16.264 ± 0.071	19.844 ± 0.148	24.926 ± 0.051	29.112 ± 0.051	51.645 ± 0.134	25.816 ± 0.133
กรดปาล์มโทเลอิก (C16:1)	0.045 ± 0.036	0.044 ± 0.000	0.081 ± 0.000	0.070 ± 0.001	0.056 ± 0.001	0.053 ± 0.002	0.092 ± 0.000	0.169 ± 0.001
กรดสเตียริก (C18)	46.551 ± 0.090	42.837 ± 0.073	37.249 ± 0.051	33.932 ± 0.056	28.641 ± 0.067	24.673 ± 0.027	4.211 ± 0.014	36.531 ± 0.036
กรดโอเลอิก (C18:1)	41.094 ± 0.088	40.022 ± 0.114	39.604 ± 0.024	39.217 ± 0.031	39.121 ± 0.074	38.691 ± 0.050	35.632 ± 0.084	33.485 ± 0.101
กรดลิโนเลอิก (C18:2)	3.779 ± 0.010	3.578 ± 0.010	3.942 ± 0.009	4.160 ± 0.016	4.608 ± 0.011	5.039 ± 0.008	6.636 ± 0.025	2.447 ± 0.007
กรดลิโนเลนิก (C18:3)	0.508 ± 0.003	0.389 ± 0.002	0.359 ± 0.001	0.324 ± 0.001	0.283 ± 0.002	0.269 ± 0.008	0.104 ±0.001	0.142 ± 0.001
กรดอาราคิดิก (C20)	1.699 ± 0.008	1.609 ± 0.051	1.371 ± 0.016	1.282 ± 0.017	1.110 ± 0.008	0.969 ± 0.012	0.277 0.004±	0.931 ± 0.004
กรดบีฮีนิก (C22)	0.351 ± 0.029	0.425 ± 0.087	0.314 ± 0.011	0.312 ± 0.041	0.281 ± 0.033	0.223 ± 0.040	0.054 ±0.003	0.202 ± 0.007
กรดลิกโนเชริก (C24)	0.544 ± 0.132	0.573 ± 0.153	0.479 ± 0.038	0.444 ± 0.068	0.421 ± 0.058	0.322 ± 0.070	0.104 ±0.016	0.201 ± 0.016

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟของโครมาโตแกรม (ค่าเฉลี่ยของ triplicates ± standard deviation (SD))

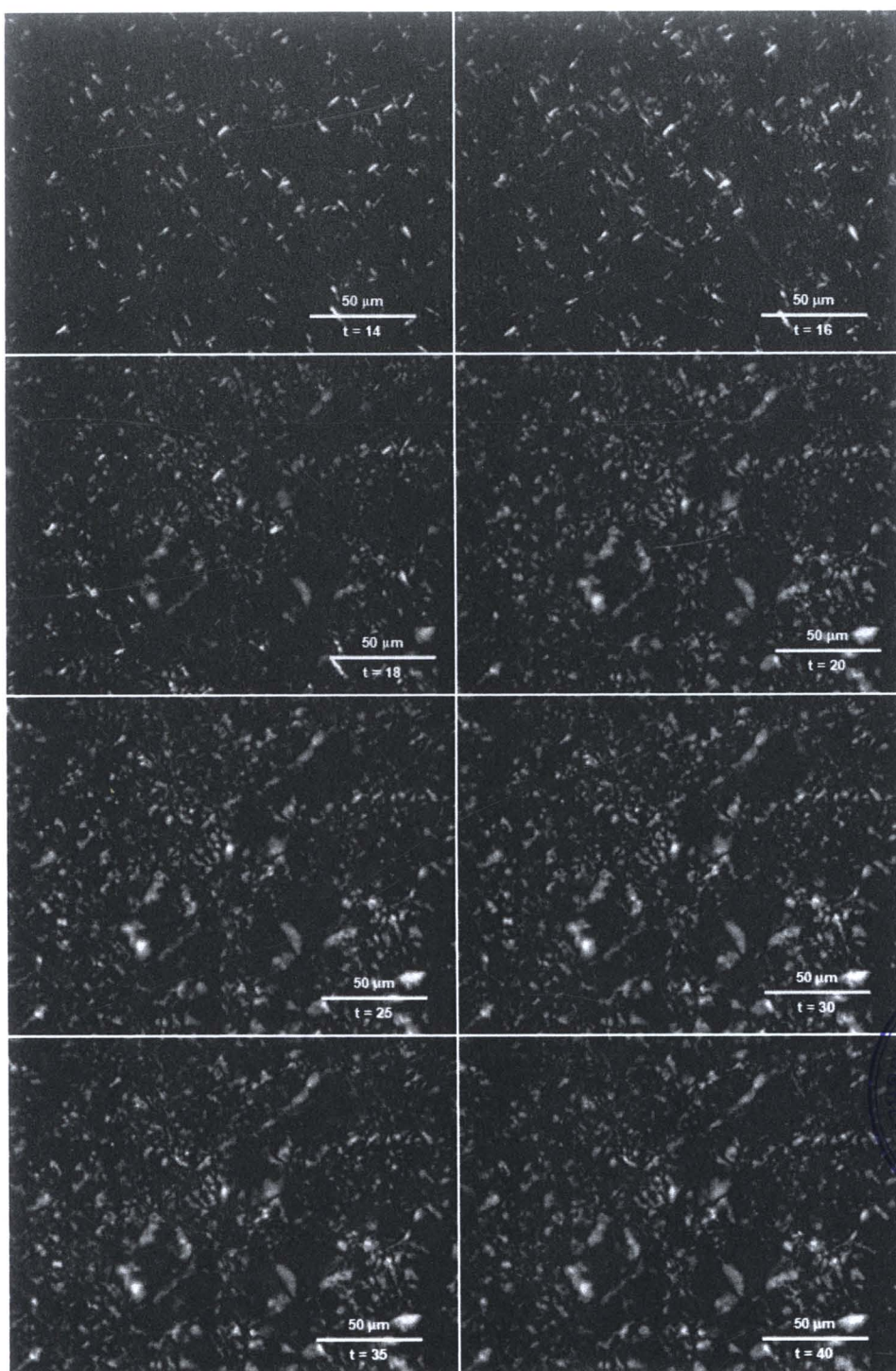
ภาคผนวก ญ

ภาพถ่ายพฤติกรรมการตกผลึกของไขมันจากกล้องจุลทรรศน์

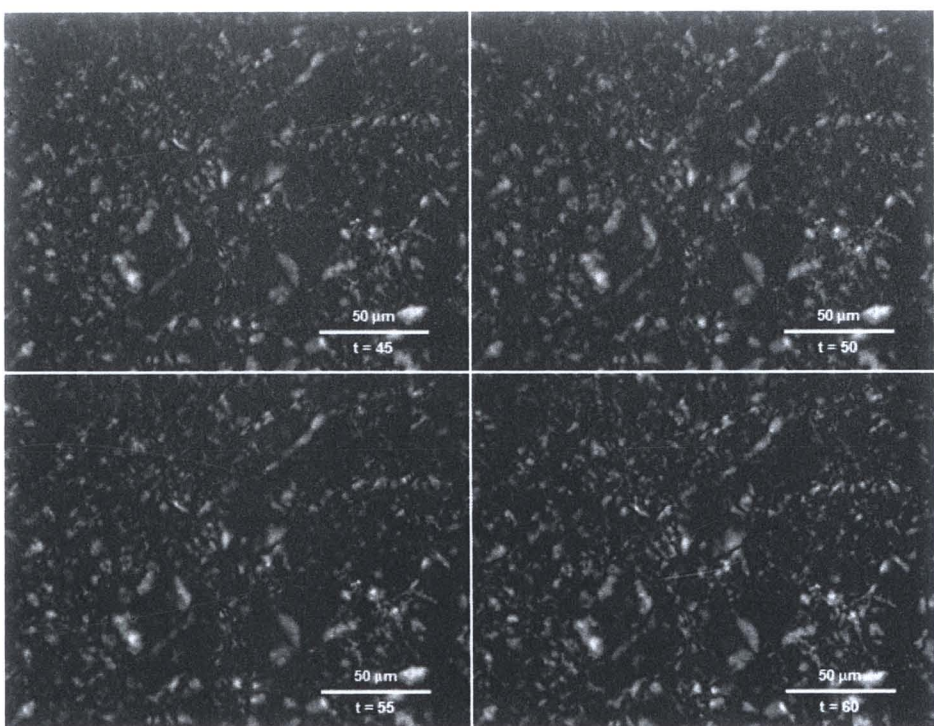
ภาพถ่ายพฤติกรรมการตกผลึกของไขมันจากกล้องจุลทรรศน์ (Polarized light microscopy)



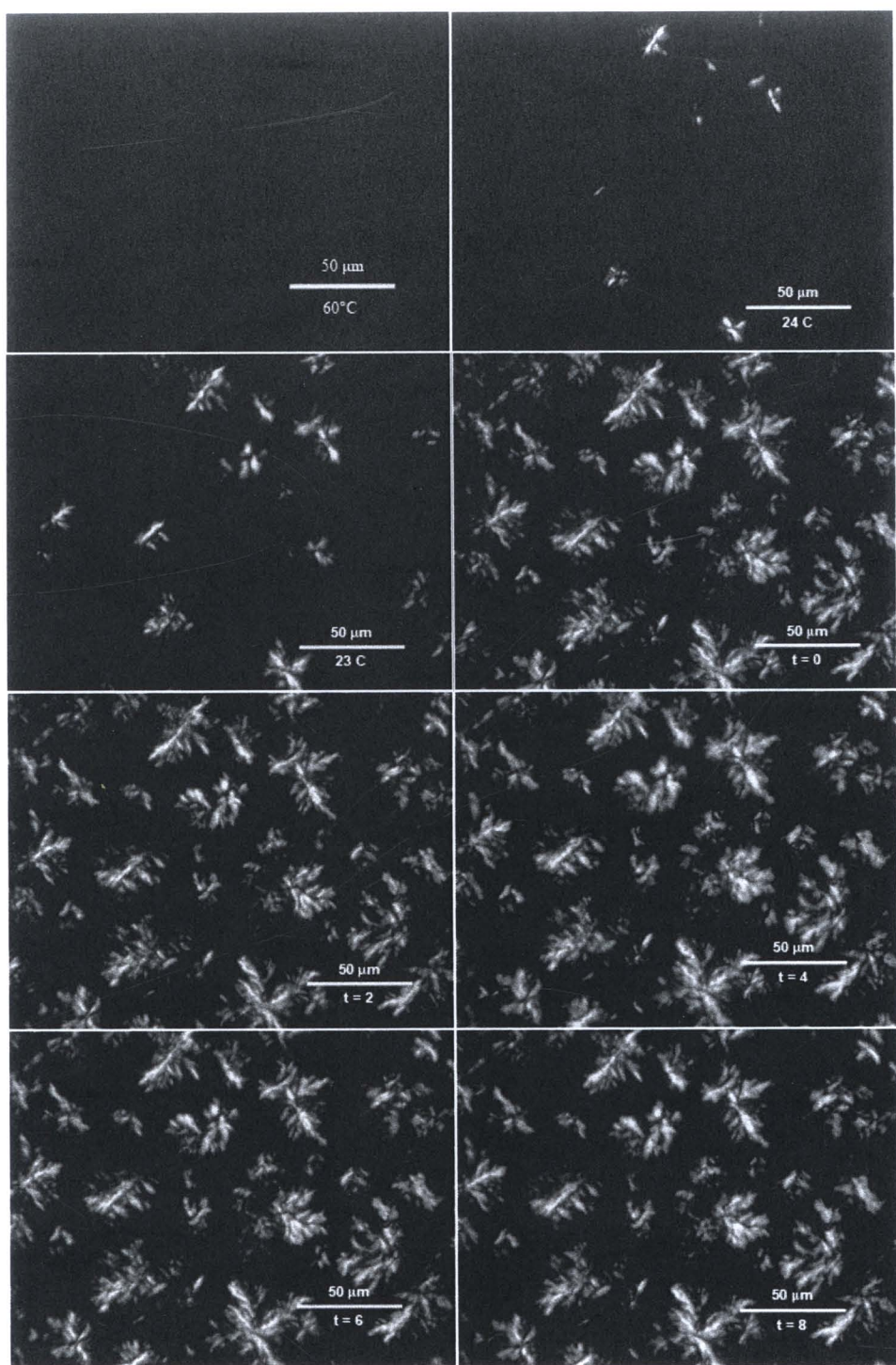
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ MAF ตั้งแต่วันที่ 0-12 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



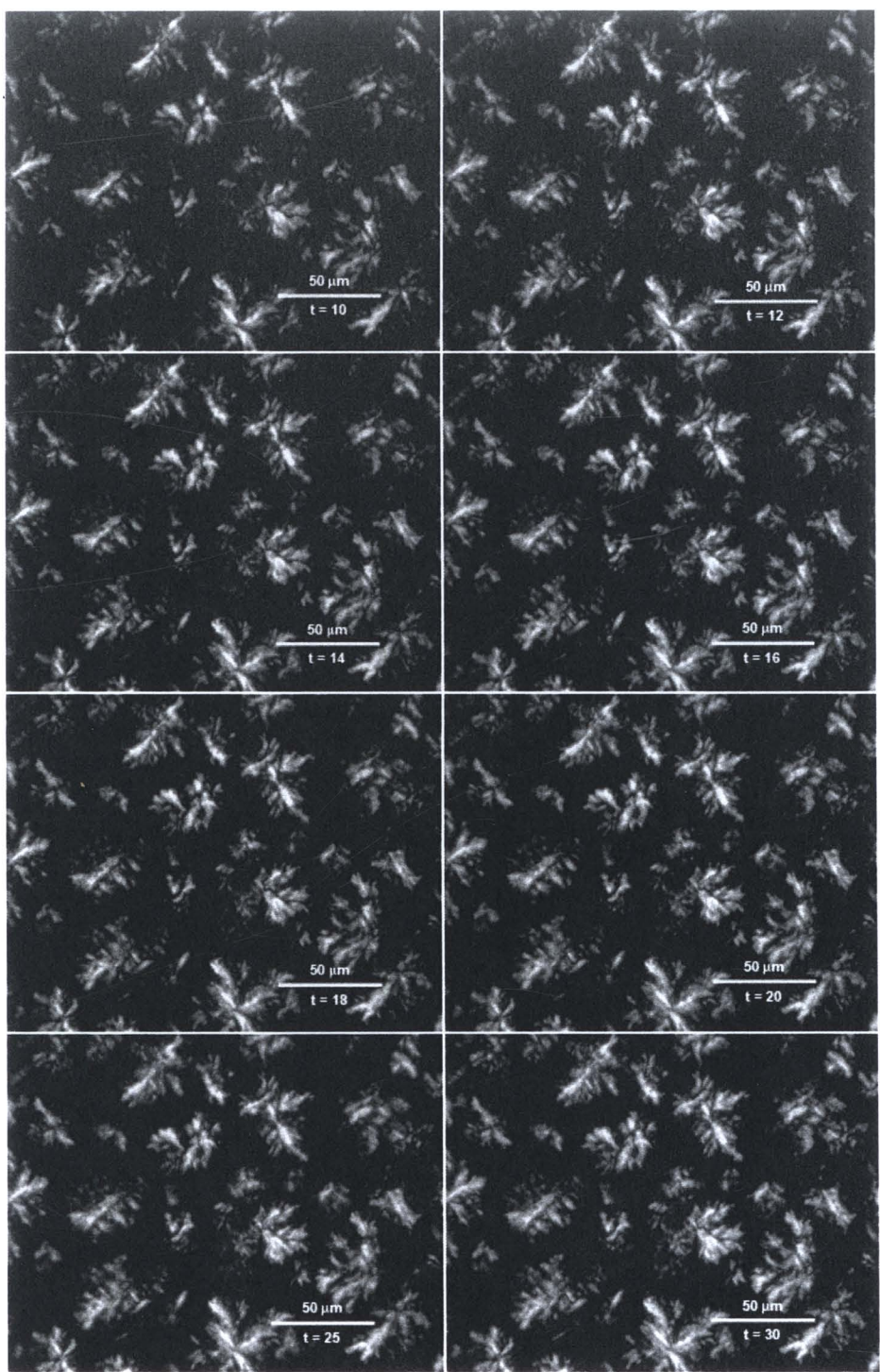
ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ MAF ตั้งแต่เวลาที่ 14-40 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



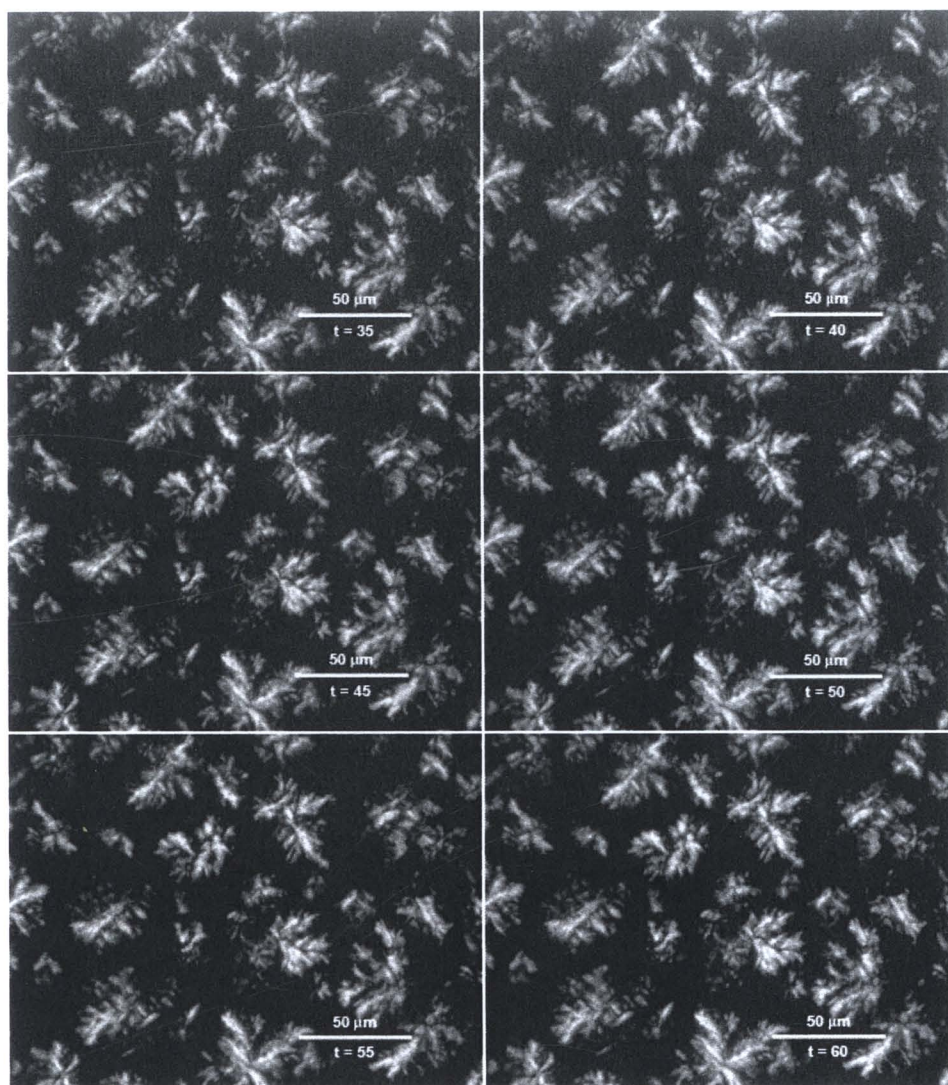
ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ MAF ตั้งแต่วันที่ 45-60 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



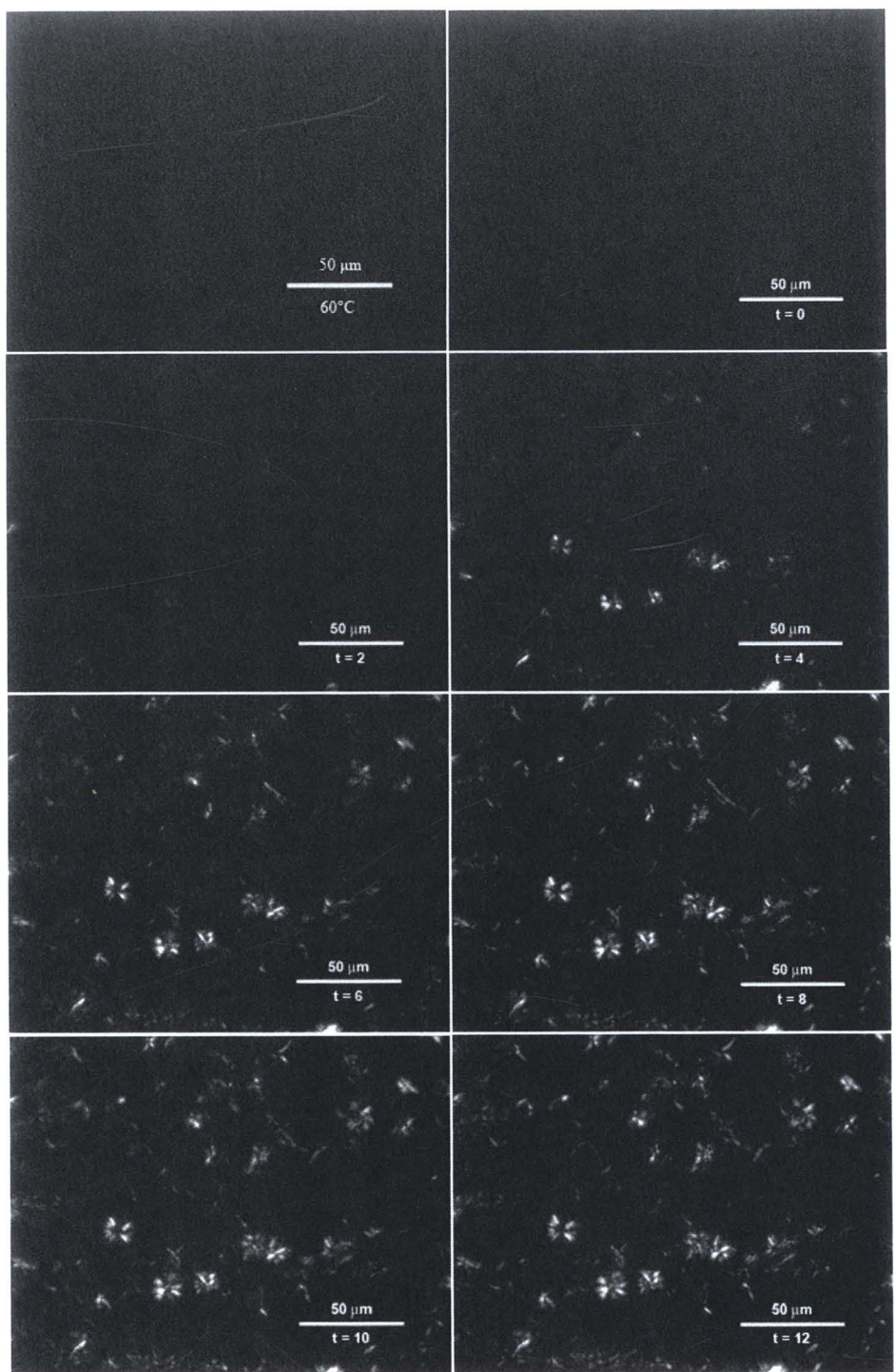
ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ PMF ที่อุณหภูมิ 24°C, 23°C, 21°C และเวลาที่ 0-8 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



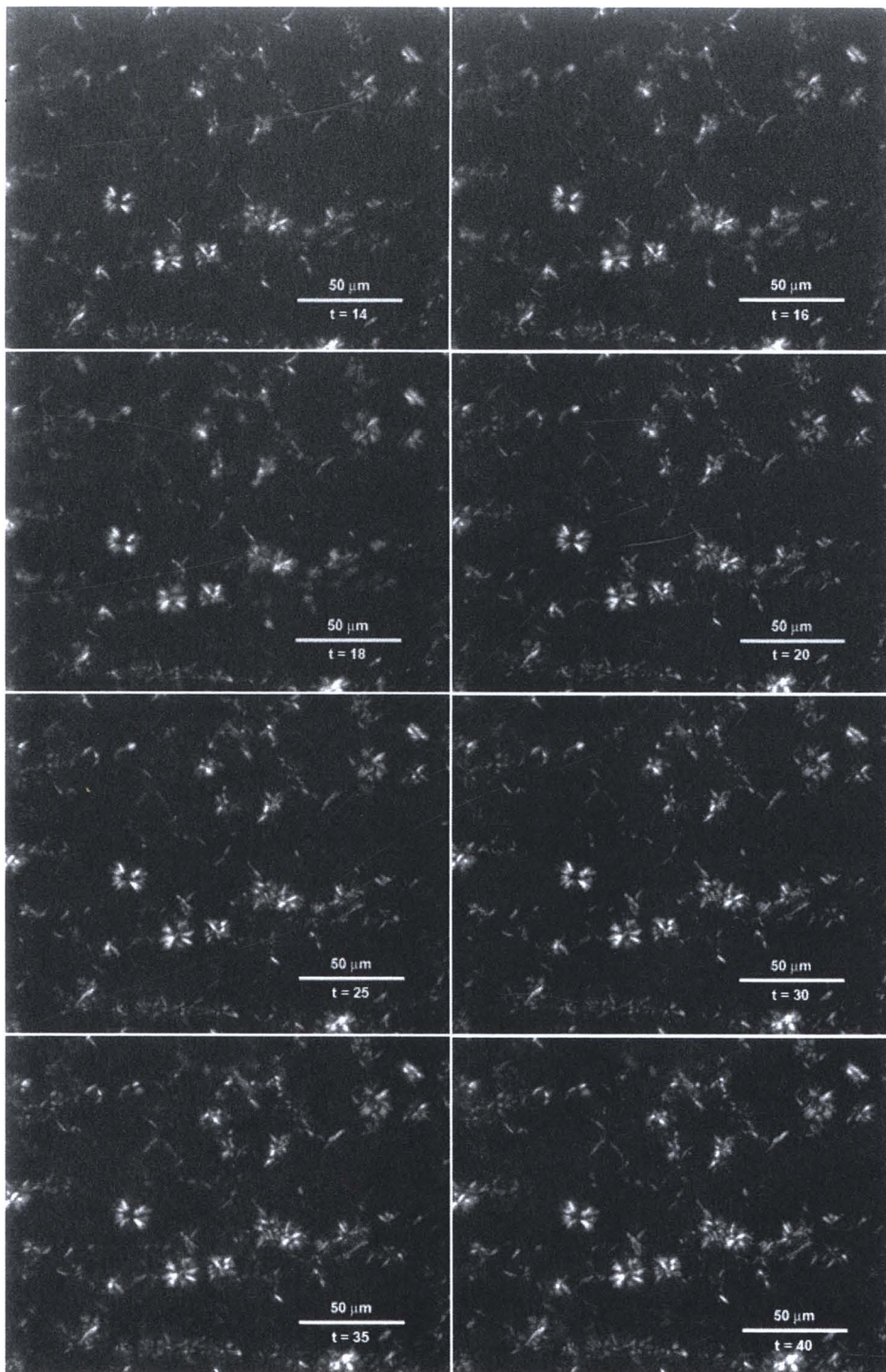
ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ PMF ตั้งแต่เวลาที่ 10-30 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



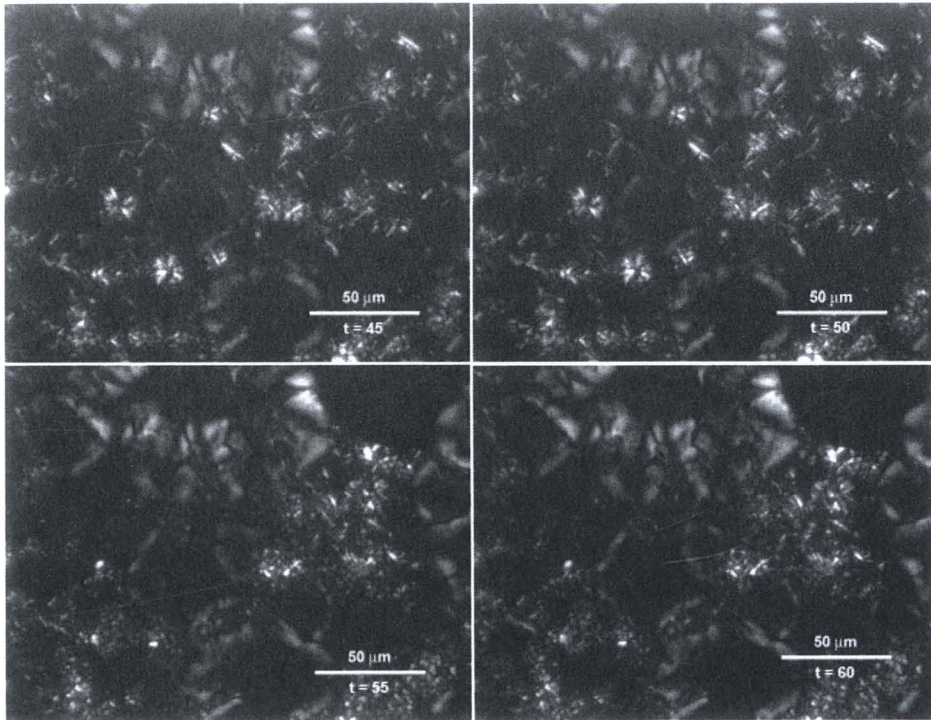
ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ PMF ตั้งแต่เวลาที่ 35-60 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



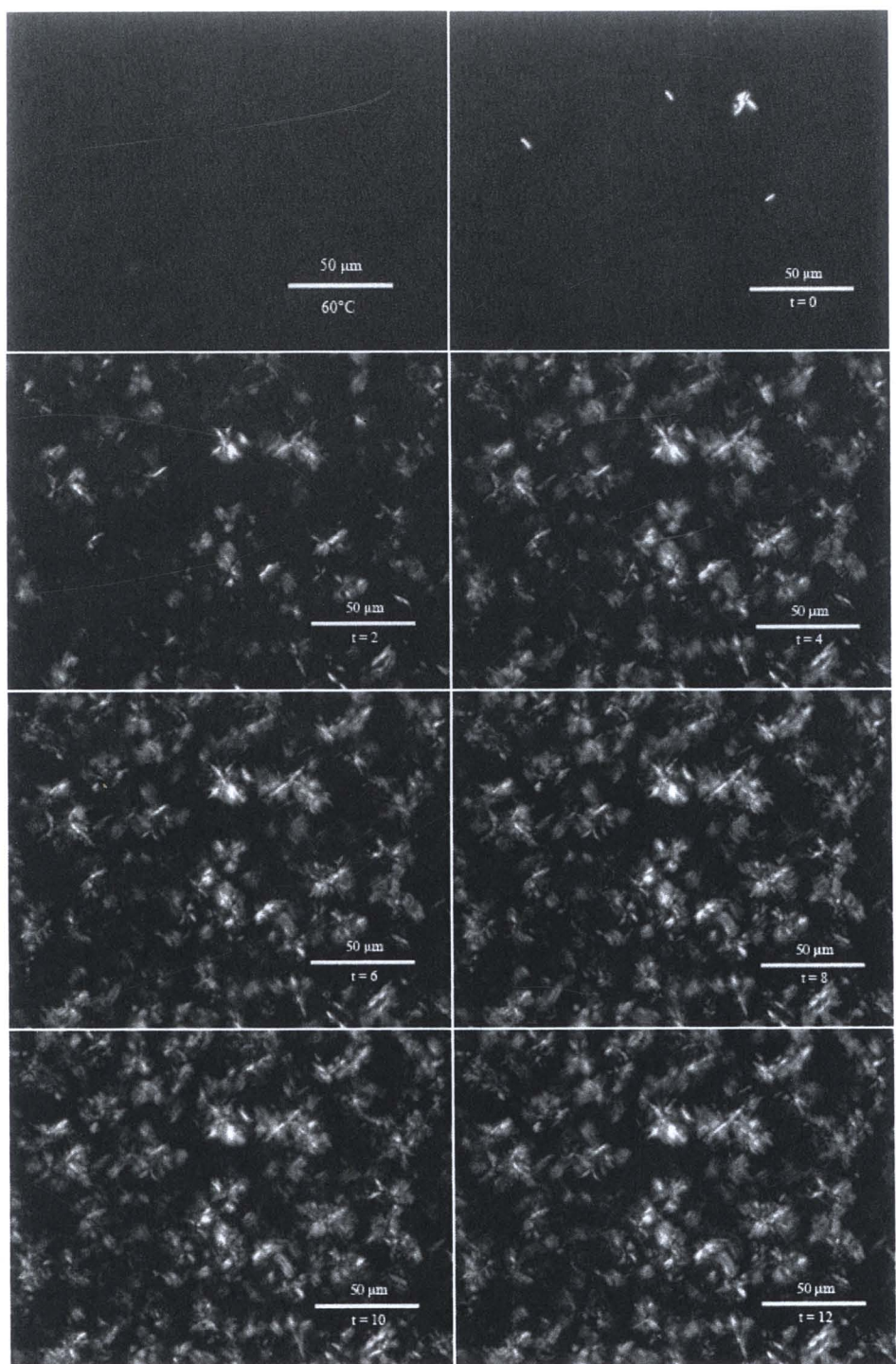
ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CBE ตั้งแต่นาทีที่ 0-12 ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



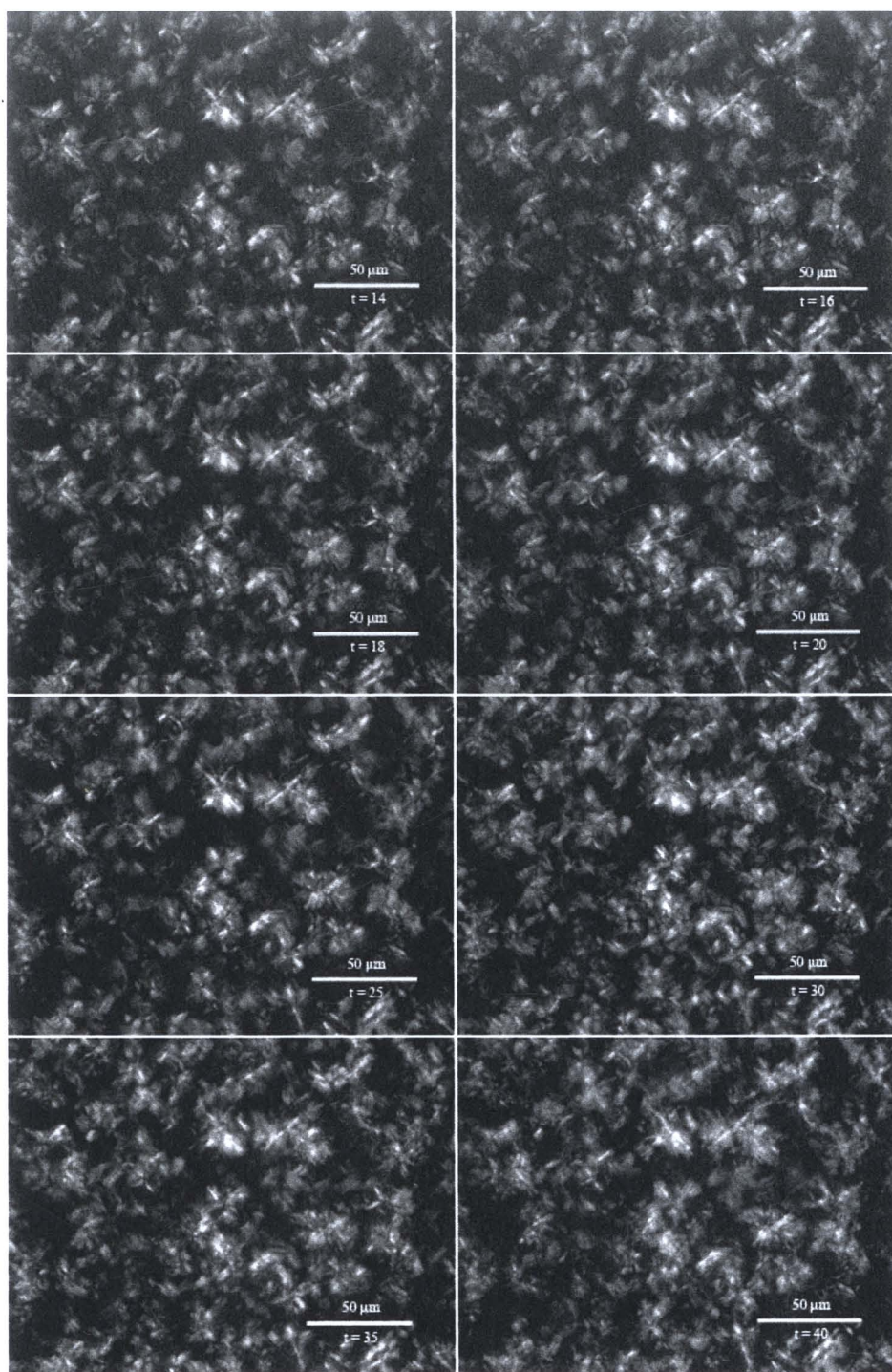
ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CBE ตั้งแต่วันที่ 14-40 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



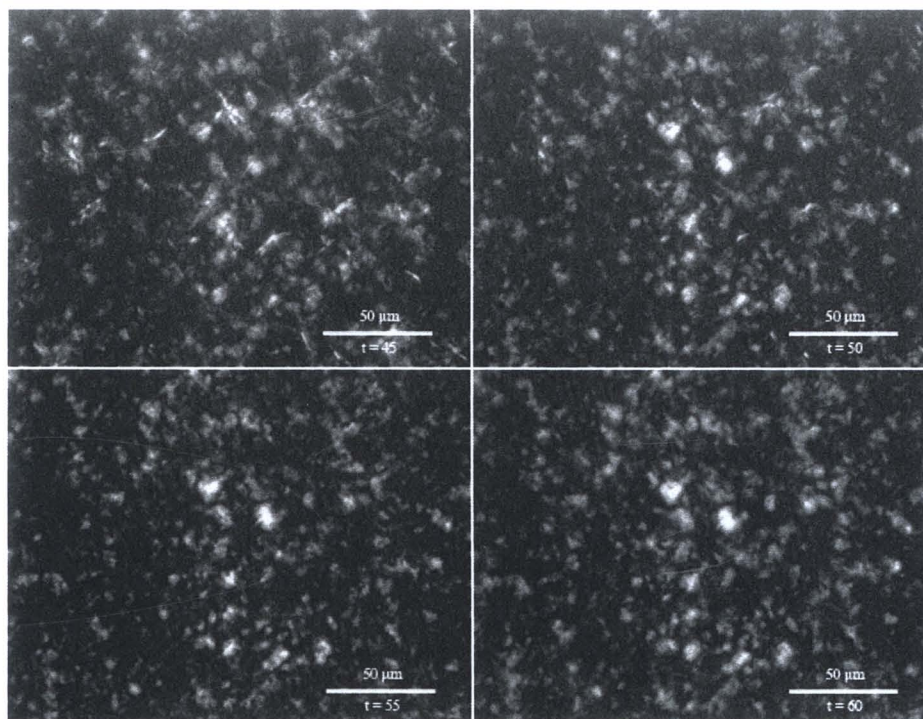
ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CBE ตั้งแต่เวลาที่ 45-60 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



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

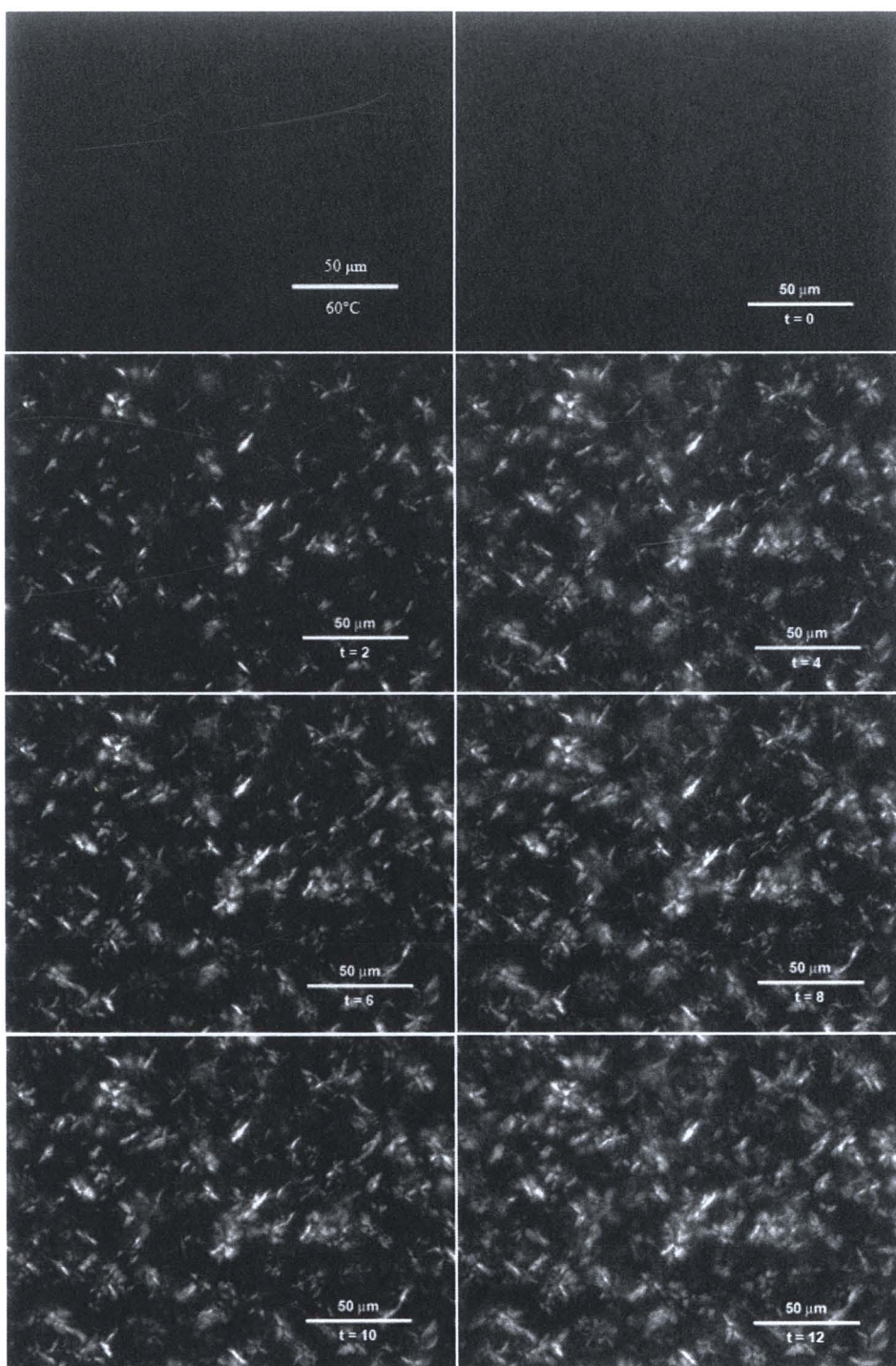


ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CB ตั้งแต่นาทีที่ 14-40 ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า

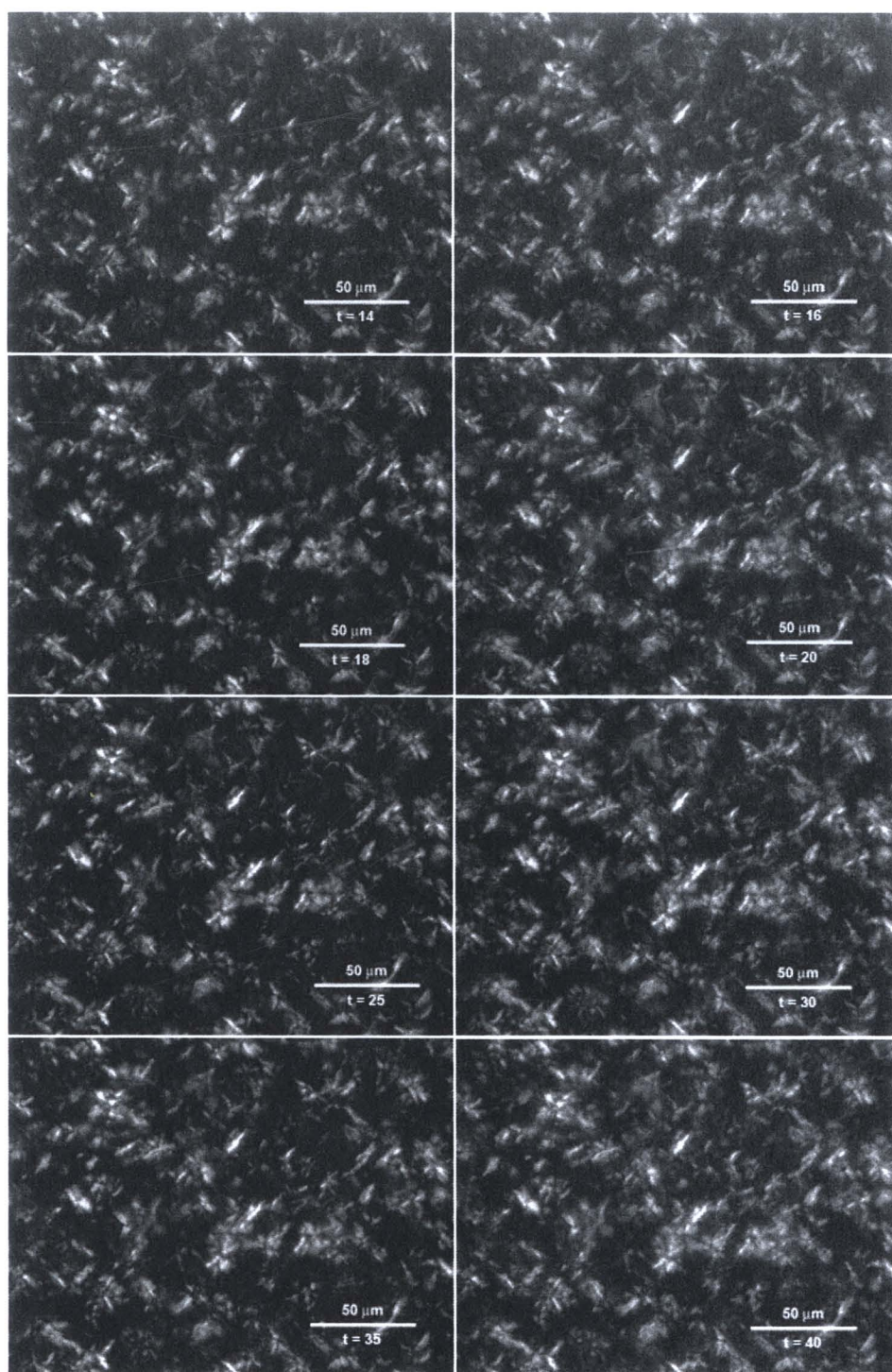


ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ CB ตั้งแต่นาทีที่ 45-60 ที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า

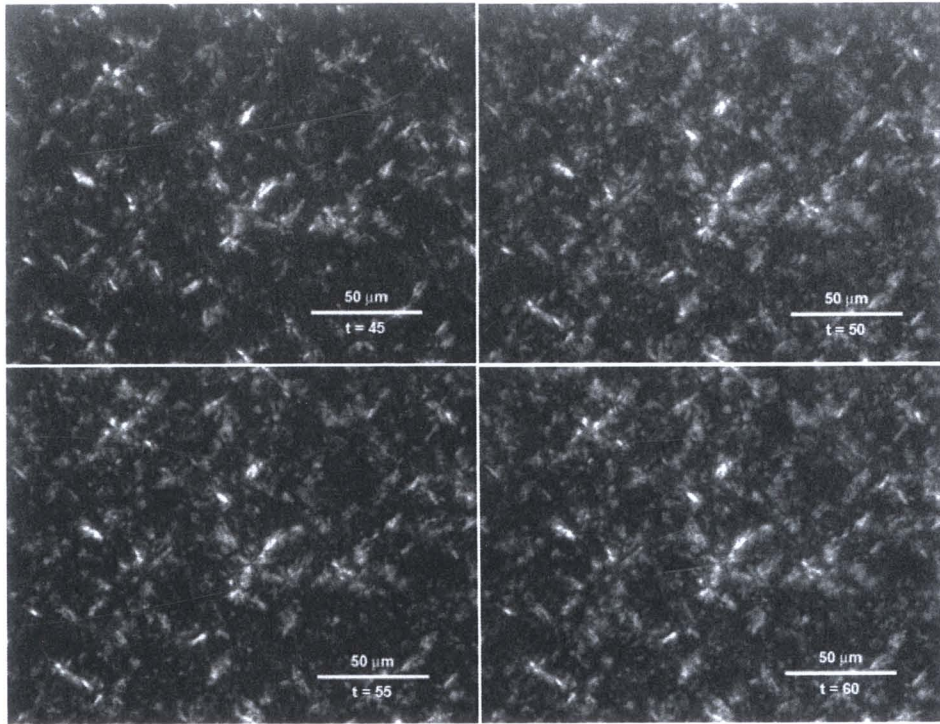




ภาพที่ 50 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาดและรูปร่างของผลึกของ MIX ตั้งแต่นาทีที่ 0-12 ที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



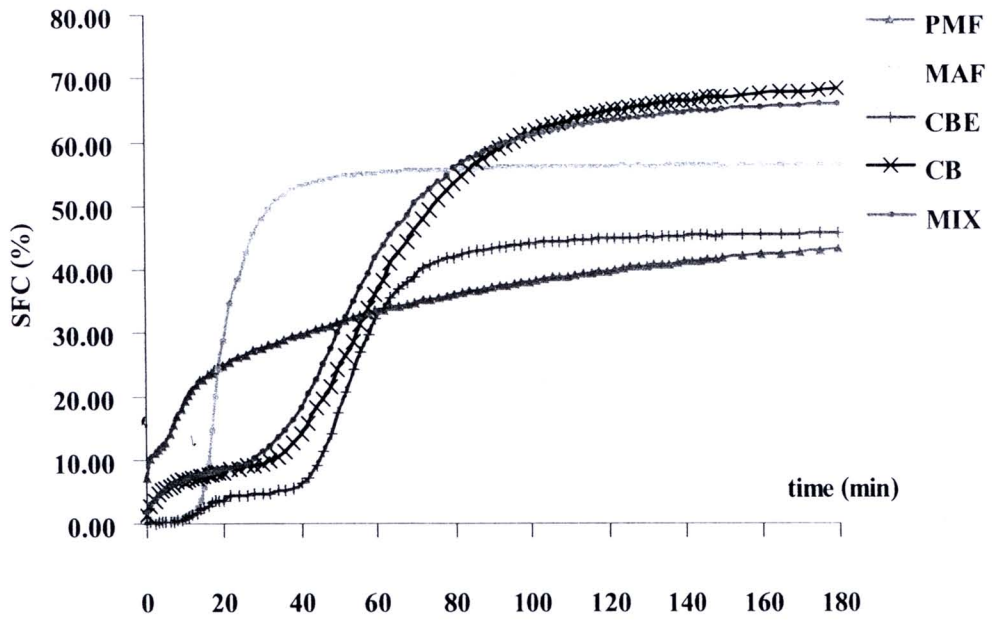
ภาพที่ 51 การเปลี่ยนแปลง จำนวน ขนาด และรูปร่างของผลึกของ MIX ตั้งแต่นาทีที่ 14-40 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายของกล้องเท่ากับ 500 เท่า



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

ภาคผนวก ก
กลไกการตกผลึกของไขมันตัวอย่าง

กลไกการตกผลึกของไขมันตัวอย่าง

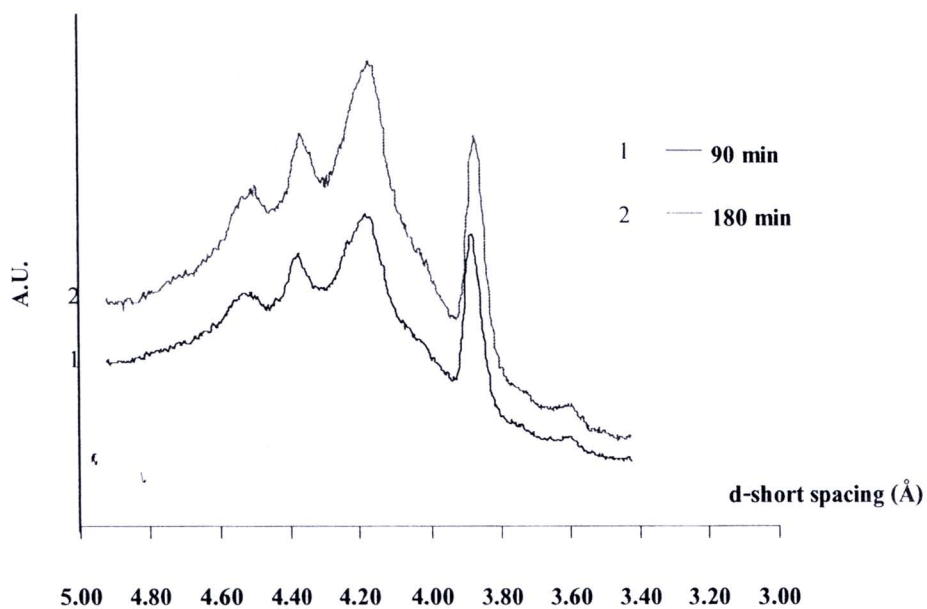


ภาพที่ 58 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นของแข็งในรูปผลึก (SFC) ของไขมันชนิดต่าง ๆ ตามเวลาในระหว่างการตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ที่ 20°C ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

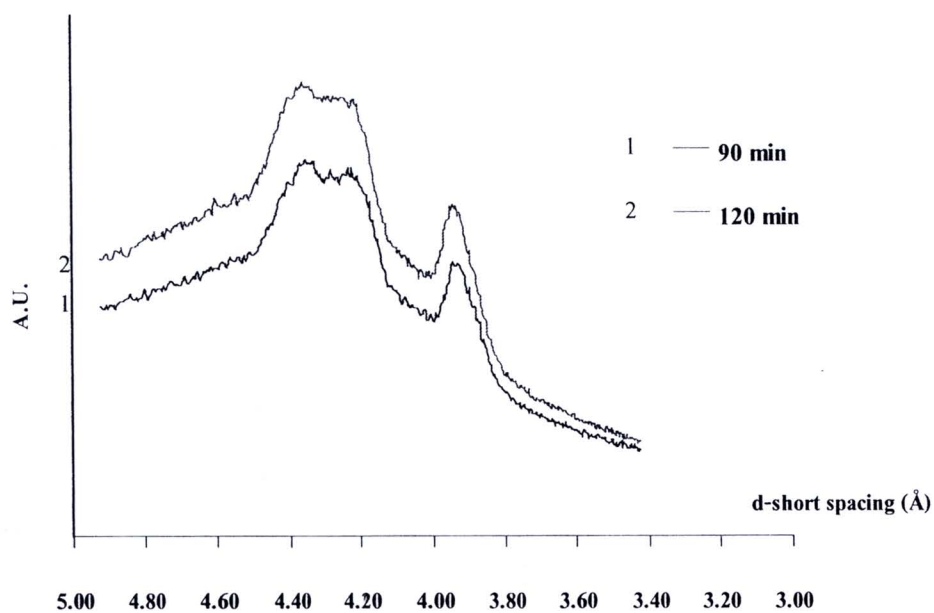
ภาคผนวก ฏ

X-ray diffraction pattern ที่ได้จากวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer

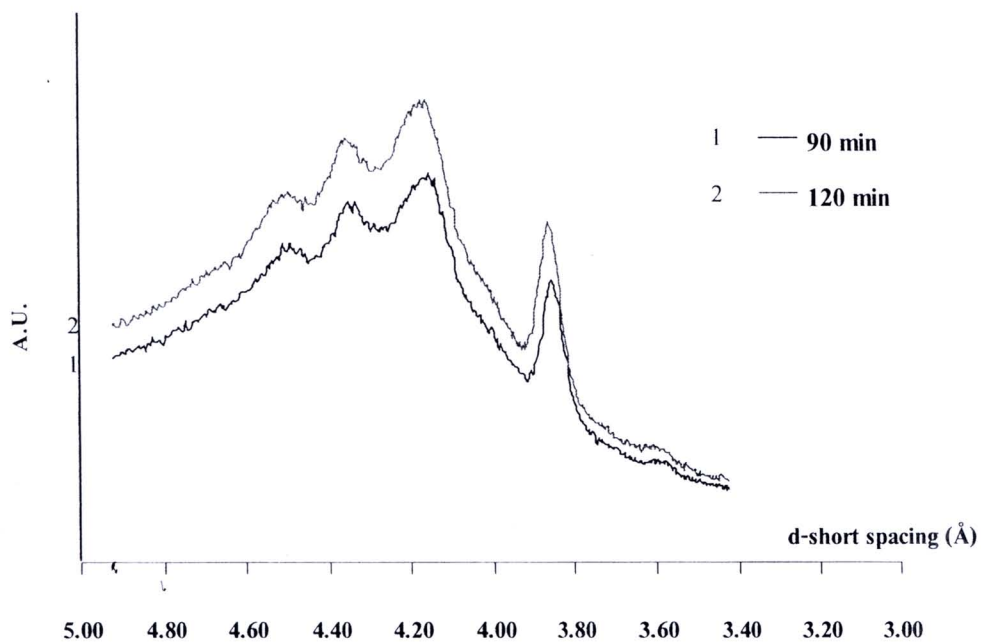
X-ray diffraction pattern ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer



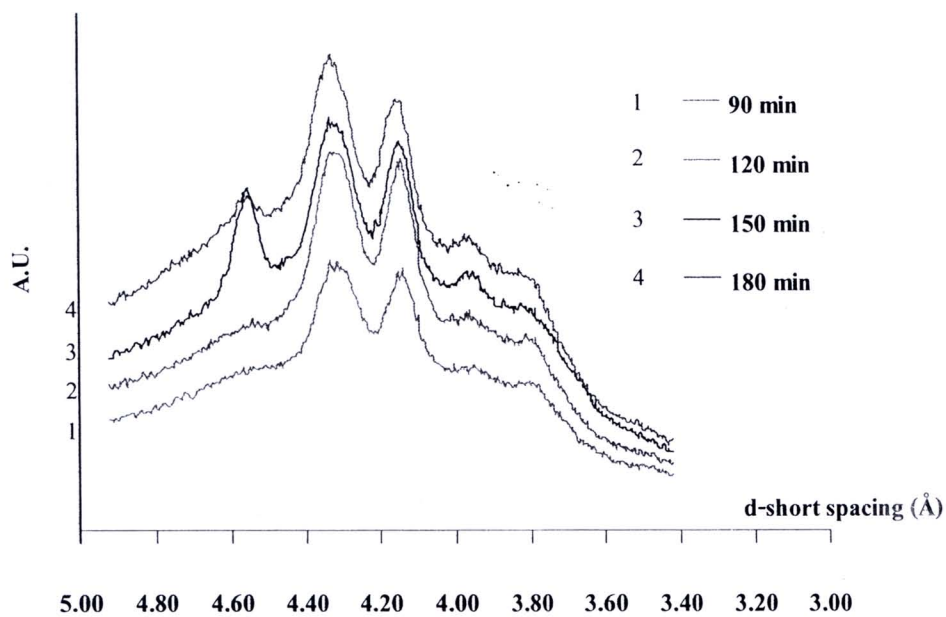
ภาพที่ 53 X-ray diffraction pattern ของ MAF ซึ่งตกผลึกที่ 20°C ที่นานที่ 90 และ 180



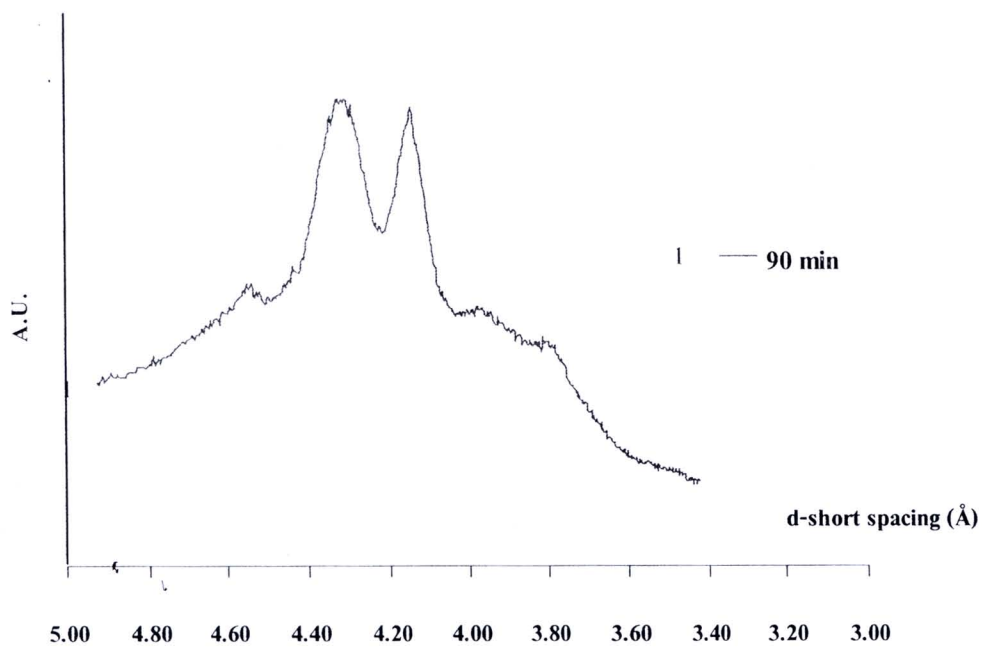
ภาพที่ 54 X-ray diffraction pattern ของ PMF ซึ่งตกผลึกที่ 20°C ที่นานที่ 90 และ 120



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 จู
ตารางสรุปผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกในระหว่างการตกผลึกที่ 20°C

ตารางสรุปผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกในระหว่างการตกผลึกที่ 20°C

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

ตัวอย่าง	นาฬิกาที่	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	นาที่ที่	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 ตารางสรุปโครงสร้างผลึกในนาที่ที่ 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: 66-34-219-36e 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 Mongkhut'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:

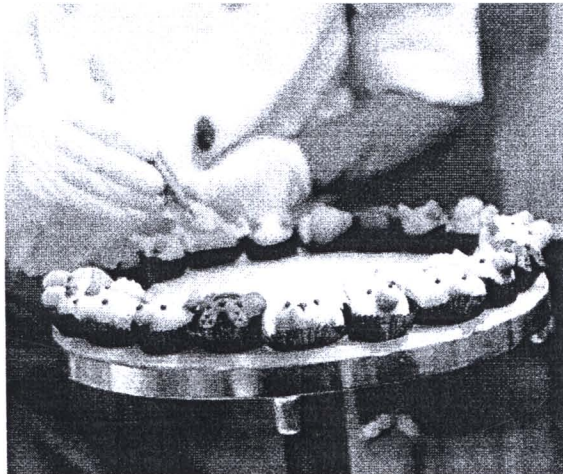
- ▲ Crystallization of cocoa butter replacing fats (e.g. Mango kernel oil, fractionated palm kernel oil)
- ▲ Fat bloom formation in chocolate products
- ▲ Crystallization of edible oils (e.g. coconut oil, palm oil and sesame seed oil)
- ▲ Crystallization of lactose and sucrose

ไอที-นวัตกรรม : นวัตกรรม

วันที่ 12 พฤษภาคม 2553 14:00

ม.ศิลปากรสกัดน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบกสกัด

โดย : กานต์ดา บุญเกื้อน



มหาวิทยาลัยศิลปากรวิจัยสูตรผลิตเนยโกโก้จากน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบก เพิ่มทางเลือกอุตสาหกรรมอาหารไทยใช้วัตถุดิบผลิตช็อกโกแลตที่มีคุณภาพในประเทศ

ผศ.โสภาค สอนวิ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เปิดเผยว่า กล่าวว่าการผลิตเนยโกโก้เลียนแบบ หรือเนยโกโก้เทียมจากน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบกนั้น หากวิจัยแล้วเสร็จจะเพิ่มโอกาสให้ผู้ผลิตช็อกโกแลตไทยสามารถผลิตช็อกโกแลต โดยใช้เนยโกโก้เลียนแบบจากน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบกสำหรับจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศได้

ที่ผ่านมาอุตสาหกรรมการผลิตช็อกโกแลตของไทย มักประสบปัญหาการขาดแคลนเนยโกโก้แท้เข้าที่มีราคาสูง และช็อกโกแลตที่ผลิตจากเนยโกโก้แท้จะมีจุดหลอมเหลวที่ 30-32 องศาเซลเซียส จึงมักจะเกิดการละลายง่ายที่อุณหภูมิห้องของประเทศไทย โดยเฉพาะในฤดูร้อน ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดีและนอกจากนี้ยังเสี่ยงต่อการเกิด fat bloom ซึ่งมีลักษณะเป็นผิวยาวคล้ายราขึ้นบนผิวของผลิตภัณฑ์ โดยเกิด fat bloom เป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดของอุตสาหกรรมการผลิตช็อกโกแลตทั่วโลก

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ จึงมีการใช้น้ำมันจากปาล์มน้ำมันในกระบวนการผลิตช็อกโกแลตทดแทนเนยโกโก้แท้ ส่งผลให้ตลาดโลกไม่นิยมช็อกโกแลตที่ผลิตในไทยมากนัก เนื่องจากช็อกโกแลตที่ผลิตได้นั้น ถึงแม้ว่าจะทนความร้อนได้ดีกว่าช็อกโกแลตที่ผลิตจากเนยโกโก้แท้ แต่จะไม่ละลายได้ดีในปากจึงทำให้เกิดความรู้สึกเป็นไข (waxy mouthfeel) เมื่อรับประทาน” นักวิจัย กล่าว

การศึกษานี้ผลิตเนยโกโก้เลียนแบบจากน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบก นักวิจัยแบ่งการศึกษาเป็น 2 สูตรหลักคือ เนยโกโก้เลียนแบบที่ใช้ไขมันที่สกัดจากเมล็ดมะม่วงห่าบกเป็นส่วนผสม 100% และเนยโกโก้เลียนแบบที่ใช้ไขมันเมล็ดมะม่วงห่าบกกับน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการดกลกแยกส่วน ให้ได้น้ำมันปาล์มส่วนกลาง (palm mid-fraction) ในสัดส่วนต่างๆ เพื่อหาสูตรการผลิตเนยโกโก้เทียมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ขณะนี้การวิจัยได้พัฒนาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะม่วงห่าบกได้แล้ว แต่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้เทียบกับเมล็ดมะม่วงห่าบกยังถือว่าน้อย ทั้งนี้เพราะว่าการสกัดทำในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องสกัดที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการหลอมเหลวของเนยโกโก้เลียนแบบทั้ง 2 สูตรหลักแล้วพบว่าเนยโกโก้เลียนแบบที่ดีที่สุดคือสูตรที่ใช้ไขมันเมล็ดมะม่วงห่าบกอย่างเดียว และสูตรที่มีน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบกกับน้ำมันปาล์มส่วนกลางในสัดส่วน 9 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งเนยโกโก้เลียนแบบทั้ง 2 สูตรมีลักษณะแข็งกว่าเนยโกโก้ที่ช่วงอุณหภูมิ 25-33 องศาเซลเซียส ทำให้ทนต่ออุณหภูมิสูงของประเทศไทยได้ดีกว่าเนยโกโก้ และนอกจากนี้ยังหลอมละลายจนหมดสิ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จึงจะไม่ให้ค ้นไขเมื่อรับประทาน

“ปัจจุบันนี้งานวิจัยอยู่ระหว่างการศึกษาองค์ประกอบกรดไขมันและโครงสร้างโมเลกุล คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพต่างๆ รวมถึงพฤติกรรมในการดกลกของเนยโกโก้เลียนแบบทั้ง 2 สูตรหลัก ส่วนในอนาคตจะมีโครงการการศึกษาต่อคือ การศึกษาเปรียบเทียบน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะม่วงห่าบกชนิดต่างๆ ที่มีปลูกในประเทศไทย เพื่อหาเมล็ดมะม่วงห่าบกชนิดไหนจะให้ไขมันมากที่สุดและมีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปผลิตเป็นเนยโกโก้เลียนแบบ เพื่อนำมาปรับปรุงสูตรค่าเพิ่มต่อไป” นักวิจัย กล่าว

นักวิจัย กล่าวต่อว่า “ผลิตภัณฑ์เซรามิกเคลือบช็อกโกแลตที่วางจำหน่ายในตลาดบ้านเราทุกวันนี้ ส่วนใหญ่ช็อกโกแลตที่ใช้เคลือบไม่ใช่เนยจากโกโก้เป็นส่วนประกอบตามมาตรฐานที่ทางยุโรปกำหนด ซึ่งระบุว่าช็อกโกแลตต้องใช้น้ำมันโกโก้เป็นส่วนผสม หากจะเติมไขมันจากพืชชนิดอื่นก็ห้ามเกิน 5% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ไม่นับนั้นจะไม่เรียกว่าเป็นช็อกโกแลต แต่จะเรียกว่าขนมหวานรสช็อกโกแลตแทน”

ไขมันจากพืชที่ได้รับการยินยอมให้เติมลงไปนช็อกโกแลตตามมาตรฐานของทางทวีปยุโรป มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นคือ น้ำมันเมล็ดมะม่วง ไขมันปาล์ม ไขมันอีลลิป (illipe) จากเกาะบอร์เนียว ไขมันเช (shea) จากประเทศแถบตะวันตกของทวีปแอฟริกา ไขมันแซล (sal) และไขมันโกกัม (kokum) จากประเทศอินเดีย

นักวิจัย กล่าวต่อว่า “เนยโกโก้เลียนแบบที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบกซึ่งมีการปลูกในประเทศไทย จะเป็นส่วนผสมทางเลือกในการผลิตช็อกโกแลตในอนาคต โดยจะมีศักยภาพการแข่งขันไม่แพ้เนยโกโก้แท้ซึ่งมีราคาแพง การผลิตเนยโกโก้เลียนแบบได้เองในประเทศไทยจากน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบกจะช่วยลดปริมาณนำเข้าเนยโกโก้จากต่างประเทศ นอกจากนี้การนำเมล็ดมะม่วงห่าบกไปใช้เป็นตัวเติมในการผลิตน้ำมันเมล็ดมะม่วงห่าบกใช้ในการผลิตเนยโกโก้เลียนแบบยังจะเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งอย่างมีประสิทธิภาพ ถือเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าเพื่อพัฒนาศักยภาพการผลิตให้แก่ประเทศอีกด้วย”

ทั้งนี้งานวิจัยดังกล่าวได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ปี โดยขณะนี้การวิจัยเดินหน้าไปแล้วกว่าครึ่งปี และอยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัย

Tags : ช็อกโกแลต • มหาวิทยาลัยศิลปากร • อาหาร

Asian Journal of Food and Agro-Industry

ISSN 1906-3040

Available online at www.ajofai.info

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 ($p < 0.05$).

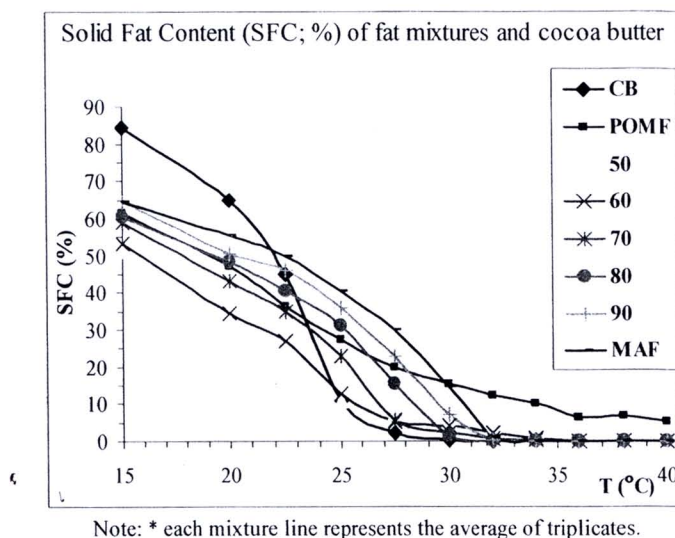


Figure 1. Solid fat content* (%) of the mixtures and cocoa butter at 15 - 40°C.

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-Frntes 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.



