บทที่ 3

ผล และ วิจารณ์

1. เตรียมเนยโกโก้เทียมและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของเนยโกโก้เทียม และเนยโกโก้

เตรียมน้ำมันดัดแปรโดยใช้น้ำมันปาล์มผสมแล้วดัดแปรคุณสมบัติด้วยเอนไซม์ไลเปสชนิดที่มีความจำเพาะเจาะจงตรงตำแหน่งที่ 1 และ 3 เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชัน จากการทดลองเห็นได้ว่าน้ำมันดัดแปรที่เตรียมได้มีรูปแบบการหลอมเหลวและจุดหลอมเหลวของน้ำมันปาล์มดัดแปรจะใกล้เคียงกับเนยโกโก้ ซึ่งน้ำมันปาล์มผสมก่อนการดัดแปรจะมีช่วงการหลอมเหลว 2 ช่วงอย่างชัดเจนซึ่งเป็น peak ของ PO และ PS เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 8 - 10 องศาเซลเซียส และ 50 - 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 9) ซึ่งจะให้ค่าใกล้เคียงกับรายงานของ ชาดริต ทองอุไร และคณะ (2541) คือ PO และ PS จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 8-10 และ 48-52 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งทำให้ PO มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วน PS มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจาก PO จะมีกรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงถึงร้อยละ 46.3 และ 12.5 ตามลำดับ ในขณะที่ PS มีปริมาณของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูงโดยเฉพาะกรดปาล์มิติก (C16:0) (ร้อยละ 45.3) ส่วน C18:2 มีเพียงร้อยละ 7.6 (Kreulen, 1993) โดยจุดหลอมเหลวของไขมันหรือน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ถ้ากรดไขมันที่องค์ประกอบมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลซึ่งแสดงถึงความไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นส่งผลให้จุดหลอมเหลวต่ำลง ในขณะที่กรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้นและมีพันธะเดี่ยวแสดงถึงความอิ่มตัวของกรดไขมันจะส่งผลให้ไขมันนั้นมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นและอยู่ในสถานะของแข็งที่อุณหภูมิห้องอย่างเช่น PS เป็นต้น แต่หลังผ่านการดัดแปรคุณสมบัติพบว่าช่วงการหลอมเหลวจะรวมเป็น peak เดียว และใกล้เคียงกับรูปแบบการหลอมเหลวของเนยโกโก้ โดยจุดหลอมเหลวของน้ำมันดัดแปรจะอยู่ในช่วงคือ 37 - 39 องศาเซลเซียส ในขณะที่จุดหลอมเหลวของเนยโกโก้อยู่ในช่วง 35 - 39 องศาเซลเซียส (แสดงดังตารางที่ 9) เนื่องจากการดัดแปรน้ำมันจะใช้เอนไซม์ที่มีความจำเพาะตรงตำแหน่งที่ 1 และ 3 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันนั้นจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนหมู่เอซิลระหว่างไตรกลีเซอไรด์เฉพาะตำแหน่งที่ 1 และ 3 เท่านั้นโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งที่ 2 ซึ่งทำให้ไขมันหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกิดขึ้นอยู่ในรูป

2-monounsaturateddisaturated triglyceride ที่ได้มีสมบัติทางกายภาพตามต้องการ (Khumolo *et al.*, 2002; MacKenzie and Stevenson, 2000; Zainal and Yusoff , 1999)

เมื่อนำน้ำมันดัดแปรที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่างๆจะให้ผลใกล้เคียงกับเนยโกโก้เช่นกัน คือมีค่าไอโอดีนร้อยละ 40 - 44 และค่าสปอนิฟิเคชันร้อยละ 190 - 193 ซึ่งค่าที่ได้สามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับเนยโกโก้ตามรายงานของ Minifie (1989) และ Wainwright (1996) ซึ่งมีค่าไอโอดีนและสปอนิฟิเคชันอยู่ในช่วงร้อยละ 35 - 40 และ 188 - 198 ตามลำดับ ยกเว้นค่ากรดไขมันอิสระเท่านั้นที่มีค่าสูงกว่าเนยโกโก้มาก อาจเนื่องจากในขั้นการเตรียมทำให้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไลเปสเกิดเป็นกรดไขมันอิสระขึ้นมากจึงส่งผลให้ค่ากรดไขมันที่ได้สูง ซึ่งเป็นตัวชี้ว่าเกิด hydrolytic rancidity ขึ้นในน้ำมัน แสดงดังตารางที่ 9 นอกจากนั้นน้ำมันดัดแปรจะมีค่าไอโอดีนสูงกว่าเนยโกโก้นั้นชี้ให้เห็นว่าน้ำมันดัดแปรมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงและเกิดการหืนชนิด oxidative rancidity ได้ง่าย

ตารางที่ 9 จุดหลอมเหลว ค่าไอโอดีน กรดไขมันอิสระ และ ค่าสปอนิฟิเคชันของเนยโกโก้ น้ำมันปาล์มผสม และน้ำมันปาล์มดัดแปร

Table 9 Melting point, iodine value, free fatty acid and saponification value of cocoa butter, palm oil blend and modified palm oils

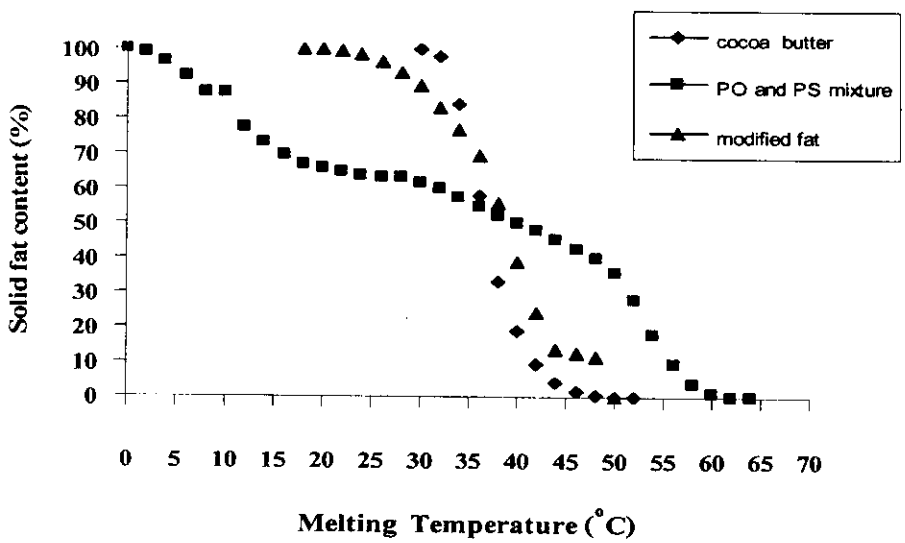
Physical and Chemical properties*	Cocoa butter	Palm oil blend	Modified palm oil
Melting point (^{0}C)	35 – 39	8 – 10 (PO), 50 – 55 (PS)	37 – 39
Iodine value	40.23 ± 0.20	43.87 ± 0.65	44.89 ± 0.84
Free fatty acid (% as palmitic acid)	1.15 ± 0.10	2.94 ± 0.11	9.75 ± 0.41
Saponification value	190.72 ± 0.58	196.78 ± 0.89	193.19 ± 0.78

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำๆ ละ 3 ครั้ง

Note * means ± standard deviation from duplication (3 determinations on each of replication)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณไขมันแข็ง (Solid fat content) ของเนยโกโก้และน้ำมันดัดแปรจะใกล้เคียงกันในทุกช่วงอุณหภูมิของการหลอม โดยปริมาณไขมันแข็งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 8

จากการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีของน้ำมันให้ผลที่ใกล้เคียงและยอมรับได้ ดังนั้นสามารถใช้น้ำมันดัดแปรมาเตรียมเป็นเนยโกโก้เทียมซึ่งสามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้เพื่อผลิตช็อกโกแลตได้ต่อไป



ภาพที่ 8 ปริมาณไขมันแข็งของเนยโกโก้ น้ำมันปาล์มผสมก่อนการดัดแปร และ น้ำมันดัดแปรในช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลว 0-65 องศาเซลเซียส

Figure 8 Solid fat content of cocoa butter, palm oil blend and modified fat during melting temperature at 0-65 ^{0}C

ตารางที่ 10 สมบัติทางเคมีของน้ำมันดัดแปรที่ผ่านการควบคุมการตกผลึกเพื่อเตรียมเป็นเนยโกโก้เทียมที่ 4 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 24 36 48 และ 60 ชั่วโมง

Table 10 Chemical properties of modified fat tempering at 4 °C and 10 °C for 0 24 36 48 and 60 hour

Treatment*	Chemical properties		
	Free fatty acid (% as palmitic acid)	Iodine value	Saponification value
1	10.05[a] **± 0.08	44.85[ab] ± 0.11[1]	192.99[a] ± 1.00
2	10.74[a] ±0.35	45.00[a] ± 0.20	193.41[a] ± 0.74
3	10.79[a] ± 0.32[a]	45.01[a] ± 0.10	193.42[a] ± 0.56
4	10.71[a] ± 0.40	44.99[a] ± 0.17	193.21[a] ± 0.47
5	10.82[a] ± 0.23	44.88[ab] ± 0.20	192.77[a] ± 0.46
6	10.77[a] ± 0.31	44.83[ab] ± 0.13	193.32[a] ± 0.54
7	10.75[a] ± 0.38	44.79[b] ± 0.16	193.54[a] ± 0.80
8	10.79[a] ± 0.28	44.67[b] ± 0.13	193.48[a] ± 0.57
9	10.79[a] ± 0.29	44.66[b] ± 0.16	193.44[a] ± 0.53

หมายเหตุ * 1) น้ำมันดัดแปรก่อนการตกผลึก, 2-5) น้ำมันดัดแปรตกผลึกที่ 4 °ซ เป็นเวลา 24, 36, 48 และ 60 ชม., ตามลำดับ; 6-9) น้ำมันดัดแปรตกผลึกที่ 10 °ซ เป็นเวลา 24, 36, 48 และ 60 ชม., ตามลำดับ

** ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

[1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำๆละ 3 ครั้ง

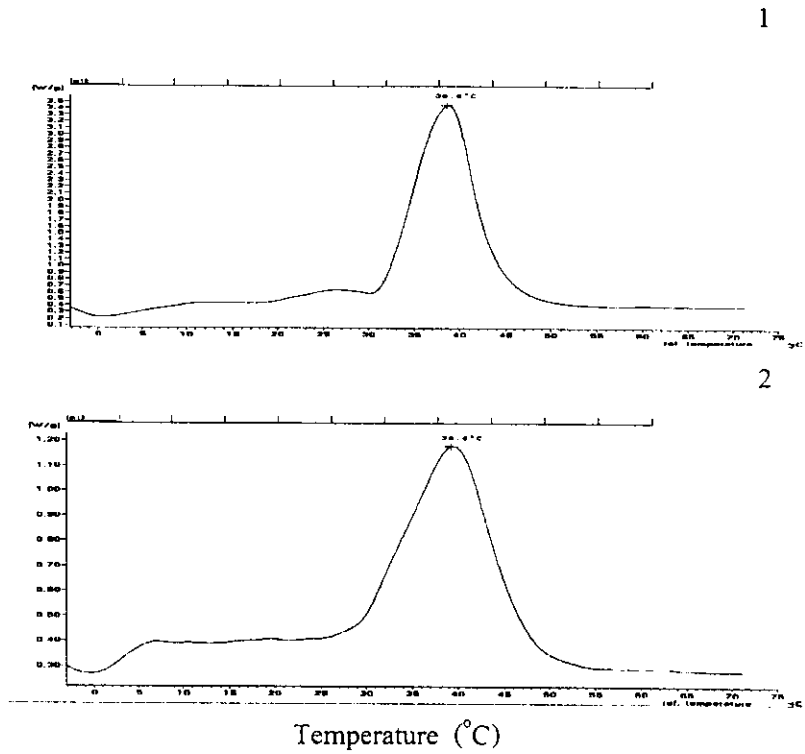
Note: * 1) modified fat before tempering, 2-5) modified fat tempering at 4 °C for 24, 36, 48 and 60 h., respectively., 6-9) modified fat tempering at 10 °C for 24, 36, 48 and 60 h., respectively.

** Values with the same letter in the same column are not significantly different (P>0.05)

สมบัติทางเคมี แสดงตารางที่ 10 พบว่า ค่ากรดไขมันอิสระและค่าสปอนิฟิเคชันของทุกชุดการทดลองจะไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่ค่าไอโอดีนที่มีสภาวะการควบคุมการ ตกผลึกที่ 10 องศาเซลเซียสมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ตกผลึกที่ 4 องศาเซลเซียส และที่ 10 องศาเซลเซียสในเวลาการตกผลึกต่างๆมีค่าไอโอดีนไม่แตกต่างกัน

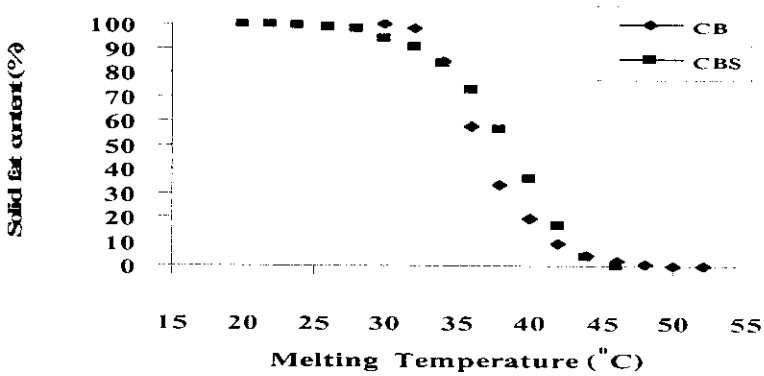
1.2 สมบัติของเนยโกโก้เทียม

เนยโกโก้เทียมที่เตรียมได้จะให้รูปแบบการหลอมเหลวและสมบัติทางเคมีที่ใกล้เคียงกับเนยโกโก้ ยกเว้นค่ากรดไขมันอิสระเท่านั้นที่มีค่ามากกว่าเนยโกโก้เนื่องจากไขมันเกิดการ hydrolysis ด้วยเอนไซม์ ไลเปสระหว่างการเกิดปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงตารางที่ 11 และจากภาพที่ 9 เห็นได้ว่าเนยโกโก้เทียมมีรูปแบบการหลอมเหลวใกล้เคียงกับ เนยโกโก้แต่มีช่วงการหลอมเหลวตั้งแต่เริ่มหลอมจนถึงการหลอมอย่างสมบรูณ์ที่กว้างกว่าเนยโกโก้เล็กน้อย โดยเนยโกโก้เทียมที่เตรียมได้มีจุดหลอมอยู่ในช่วง 37 - 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่ เนยโกโก้มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 35 - 38 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับรายงานของ Chong และคณะ(1992) ผลิตเนยโกโก้เทียมจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ผ่านการดัดแปรคุณสมบัติด้วยวิธี Enzymatic Interesterification พบว่าเนยโกโก้เทียมที่ได้มีจุดหลอมเหลวระหว่าง 38 - 39 องศาเซลเซียส Undurraga และคณะ (2001) ผลิตเนยโกโก้เทียมโดยใช้ palm oil mid fraction (POMF) ผสมกับกรดสเตียริกมาผ่านการดัดแปรโดยใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipozyme™) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชันในสภาวะที่ไม่มีตัวทำละลาย พบว่าเมื่อพิจารณารูปแบบการหลอมเหลวของ POMF จะถูกหลอมเหลวหมดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส ในขณะที่เนยโกโก้เทียมที่ได้จะมีช่วงการหลอมเหลวตั้งแต่เริ่มหลอมจนหลอมเหลวหมดใกล้เคียงกับเนยโกโก้คือ อยู่ในช่วงประมาณ 23 ถึง 39 องศาเซลเซียส ในขณะที่เนยโกโก้จะอยู่ในช่วงประมาณ 22 ถึง 36 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นพบว่า จุดหลอมเหลวของเนยโกโก้เทียมใกล้เคียงกับเนยโกโก้เช่นกันคือประมาณ 31 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นภาพที่ 10 แสดงให้เห็นว่าปริมาณไขมันแข็งทุกๆช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวของเนยโกโก้เทียมจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับเนยโกโก้



ภาพที่ 9 รูปแบบการหลอมเหลวของเนยโกโก้ (1) และเนยโกโก้เทียม (2)

Figure 9 Melting profile of cocoa butter (1) and cocoa butter substitute (2)



ภาพที่ 10 ปริมาณไขมันแข็งของเนยโกโก้ และ เนยโกโก้เทียมในช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลว 20-55 องศาเซลเซียส

Figure 10 Solid Fat Content of cocoa butter (CB) and cocoa butter substitute (CBS) during melting temperature at 20-55 ^{0}C

ตารางที่ 11 จุดหลอมเหลว ค่าไอโอดีน กรดไขมันอิสระ และค่าสปอนิฟิเคชันของเนยโกโก้และเนยโกโก้เทียม

Table 11 Melting point, iodine value, free fatty acid and saponification value of cocoa butter and cocoa butter substitute

Properties	Cocoa butter	Cocoa butter substitute
Melting point (^{0}C)	35 - 38	37 - 40
Iodine value	40.23 ± 0.20^{a} *	44.89 ± 1.11^{b} **
Free fatty acid (% as palmitic acid)	1.35 ± 0.12^{a}	9.87 ± 0.39^{b}
Saponification value	190.72 ± 0.58^{a}	192.02 ± 2.24^{ab}

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำๆละ 3 ครั้ง

** ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

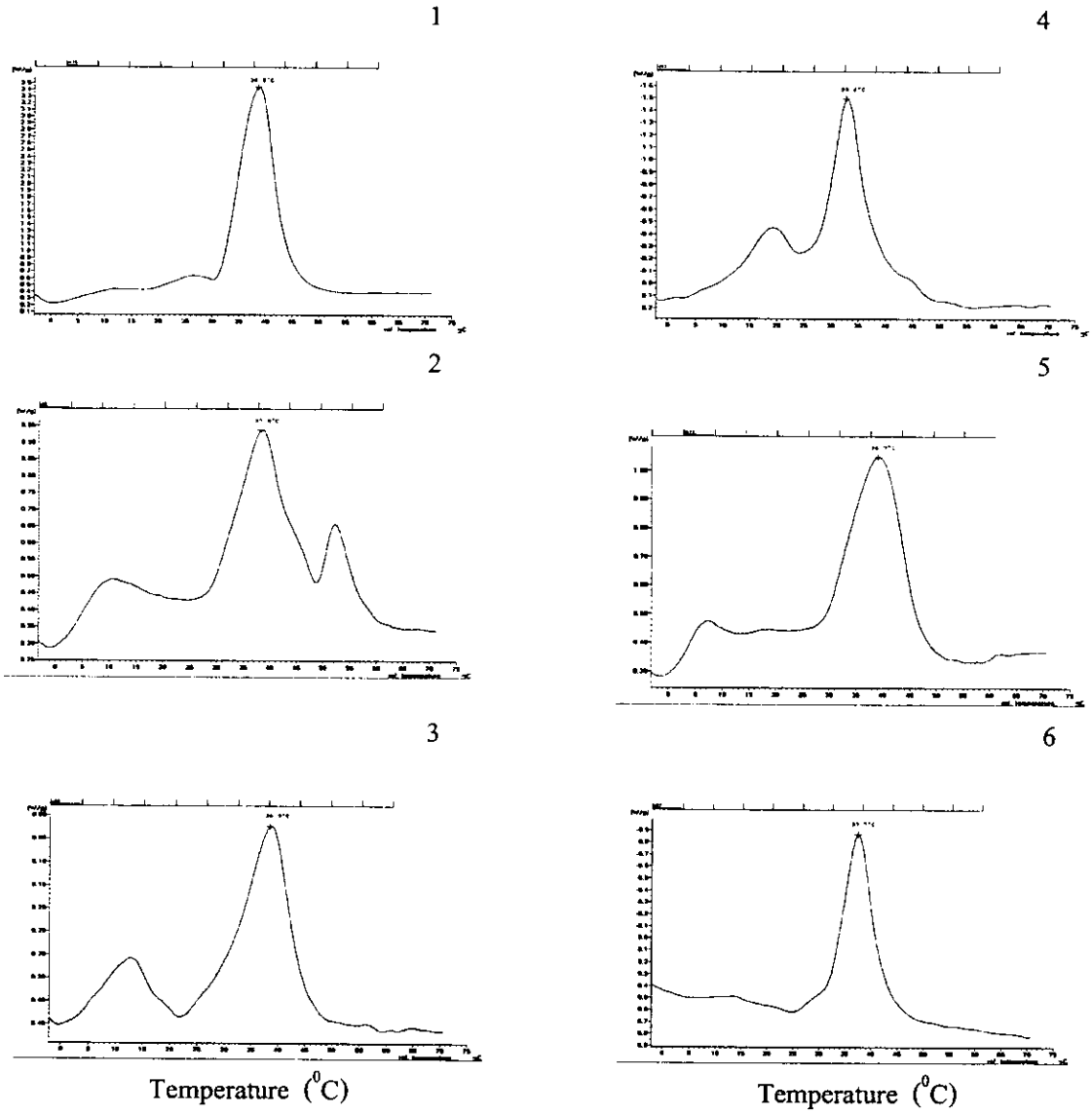
Note * means $\pm$ standard deviation from triplication (3 determinations on each of replications)

** Values with the same letter in the same column are not significantly different ($P>0.05$)

2. อัตราส่วนที่เหมาะสมของเนยโกโก้เทียมที่ใช้ทดแทนเนยโกโก้ในสูตรช็อกโกแลต

นำเนยโกโก้เทียมที่เตรียมได้ตามข้อ 1 มาทดแทนเนยโกโก้ในอัตราส่วนต่างๆคือ ร้อยละ0 20 60 80 และ 100 แล้วนำไปวัดรูปแบบการหลอมเหลวและสมบัติทางเคมีซึ่งแสดงดังภาพที่ 11 และตารางที่ 12 โดยทั่วไปไขมันที่จะผสมกับเนยโกโก้ได้ต้องมีองค์ประกอบของกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์ใกล้เคียงกับเนยโกโก้เช่น 2 - oleo - disaturated triglyceride ซึ่งให้โครงสร้างเป็น triple chain structure จึงไม่ทำให้จุดหลอมเหลวและรูปผลึกเปลี่ยนแปลงไป (Hernqvist, 1988) เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 11 เห็นได้ว่าเมื่อใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ทำให้รูปแบบการหลอมเหลวเปลี่ยนแปลงไปและไม่คงตัวแต่เมื่อใช้เนยโกโก้เทียมสูงขึ้นรูปแบบการหลอมเหลวจะมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 เนื่องจากการใช้ไขมันที่มีความแตกต่างมาผสมกันทำให้เกิดปรากฏการณ์ Eutectic effect ขึ้นทำให้รูปแบบการหลอมเหลว รวมถึงจุดหลอมเหลวของไขมัน

เปลี่ยนแปลงไป (Miquel, 2001; Ziegleder, 1997; Talbot, 1994) นั่นคือใช้ปริมาณเนยโกโก้เทียมในน้ำมันผสมเพิ่มขึ้นทำให้รูปแบบการหลอมเหลวไป และไม่คงที่ แต่เมื่อใช้เนยโกโก้เทียมสูงขึ้นถึง



ภาพที่ 11 รูปแบบการหลอมเหลวของการใช้เนยโกโก้ผสมกับเนยโกโก้เทียมในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเนยโกโก้ ต่อ เนยโกโก้เทียม (ร้อยละ) ดังนี้คือ 100 : 0 80 : 20 60 : 40 40:60 20 : 80 และ 0 : 100 ตามชุดการทดลองที่ 1-6 ตามลำดับ

Figure 11 Melting profile various mixture of CB to CBS: 1) 100 : 0, 2) 80 : 20, 3) 60 : 40, 4) 40:60, 5) 20 : 80 and 6) 0 : 100

ร้อยละ 80 และ 100 จะให้รูปแบบการหลอมเหลวที่ใกล้เคียงกับ เนยโกโก้มากที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ เมื่อนำเนยโกโก้เทียมทดแทน เนยโกโก้ในอัตราส่วนต่างๆมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีจะให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 12 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเนยโกโก้เทียมมากขึ้นค่าไอโอดีนและสปอนิฟิเคชันจะสูงขึ้นแต่จะแตกต่างจากชุดที่ใช้เนยโกโก้ ร้อยละ 100 เพียงเล็กน้อย ($P<0.05$) ในขณะที่ค่ากรดไขมันอิสระจะมีค่าสูงขึ้นมาก ($P<0.01$) เนื่องจาก เนยโกโก้เทียมที่เตรียมได้มีค่ากรดไขมันอิสระสูงถึงร้อยละ 10 ในขณะที่เนยโกโก้มีค่ากรดไขมันอิสระร้อยละ 1 - 2 เท่านั้น ดังนั้นจึงคัดเลือกชุดการทดลองที่ 5 และ 6 คือใช้เนยโกโก้เทียม ร้อยละ 80 และ 100 ในการทดแทนเนยโกโก้เพื่อผลิตช็อกโกแลตต่อไป เนื่องจากให้รูปแบบการหลอมเหลวและสมบัติทางเคมีที่ใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100

ตารางที่ 12 ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าไอโอดีน และค่าสปอนิฟิเคชัน ของเนยโกโก้ (CB) เมื่อผสมกับเนยโกโก้เทียม (CBS) ในอัตราส่วนต่างๆ

Table 12 Free fatty acid , iodine value and saponification value of various mixture of CB to CBS ratios

CB : CBE (%)	Chemical properties		
	Free fatty acid (% as palmitic acid)	Iodine value	Saponification value
100 : 0	1.30^{f} *$\pm$ 0.10	$40.53^{d} \pm 0.15^{22}$	$190.75^{a} \pm 0.74$
80 : 20	$2.71^{e} \pm 0.11$	$45.48^{c} \pm 0.60$	$193.16^{b} \pm 1.02$
60 : 40	$5.02^{d} \pm 0.01$	$46.76^{bc} \pm 0.91$	$193.50^{b} \pm 0.34$
40 : 60	$7.51^{c} \pm 0.07$	$46.93^{b} \pm 1.84$	$193.36^{b} \pm 1.09$
20 : 80	$9.65^{b} \pm 0.19$	$47.66^{ab} \pm 0.81$	$193.98^{b} \pm 0.96$
0 : 100	$11.36^{a} \pm 0.09$	$48.66^{a} \pm 1.10$	$193.52^{b} \pm 0.56$

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำๆละ 3 ครั้ง

* ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

Note: [1] means $\pm$ standard deviation from duplication (3 determinations on each of replication)

* Values with the same letter in the same column are not significantly different (P>0.05)

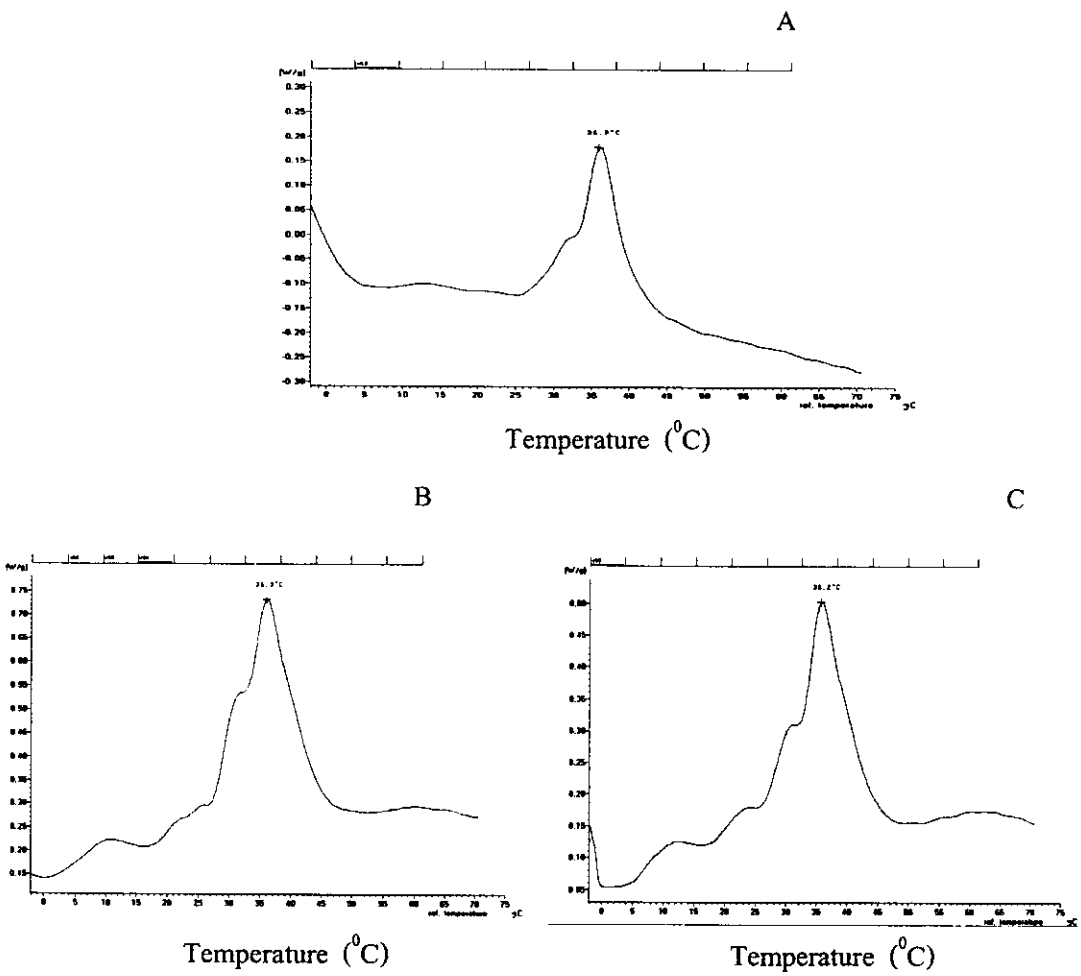
3. สมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลต

นำน้ำมันผสมระหว่างเนยโกโก้และเนยโกโก้เทียมในอัตราส่วน 20 : 80 และ 0 : 100 ซึ่งได้รับการคัดเลือกจากข้อ 2 มาผลิตช็อกโกแลตเปรียบเทียบกับช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 จากนั้นนำช็อกโกแลตที่ผลิตได้ทั้ง 3 ชุดการทดลองมาวัดรูปแบบการหลอมเหลว จุดหลอมเหลว สมบัติทางกายภาพและประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลต

ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 12 13 และตารางที่ 13 ตามลำดับ โดยรูปแบบการหลอมเหลวของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ร้อยละ 80 และ 100 เปรียบเทียบกับช็อกโกแลตผลิตจากเนยโกโก้ร้อยละ 100 แสดงดังภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่า ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ร้อยละ 100 (C) จะมีรูปแบบการหลอมเหลวในช่วงอุณหภูมิต่างๆตั้งแต่เริ่มหลอมจนกระทั่งหลอมหมดให้ผลใกล้เคียงกับการใช้ เนยโกโก้ร้อยละ100 (A) และเมื่อพิจารณาถึงจุดหลอมเหลวพบว่าช็อกโกแลตผลิตจากเนยโกโก้เทียมร้อยละ 100 จะมีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับช็อกโกแลตผลิตจากเนยโกโก้ร้อยละ 100 เช่นกันคือ 35 - 36 องศาเซลเซียส และ 34 – 35 องศาเซลเซียสตามลำดับ (ตารางที่ 12) ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับรายงานของ Ali และคณะ (1998) คือ ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ ร้อยละ 100 จะให้จุดหลอมเหลวสูงกว่าช็อกโกแลตผลิตจากเนยโกโก้ร้อยละ 100 คือ 38.5 และ 35.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ร้อยละ 80 จุดหลอมเหลวจะต่ำกว่าคืออยู่ในช่วง 31 - 33 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิด co - crystallize ระหว่างไตรกลีเซอไรด์ผสมของเนยโกโก้และเนยโกโก้เทียมทำให้จุดหลอมเหลวเปลี่ยนแปลงไป โดย Miquel (2001) กล่าวว่า co - crystallize เกิดจากการใช้เนยโกโก้ผสมกับไขมันอื่นที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่แตกต่างกันจะชักนำให้จุดหลอมเหลว และรูปผลึกของไขมันผสมเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามจุดหลอมเหลวของช็อกโกแลตทั้ง 3 ชนิด มีรูปผลึกอยู่ในรูป β - form ซึ่งมีความคงตัวสูงสุดที่เหมือนกัน เนื่องจากรูปผลึก β - form มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32 - 36 องศาเซลเซียส (Loisel *et al.*, 1998; Wainwright, 1996)

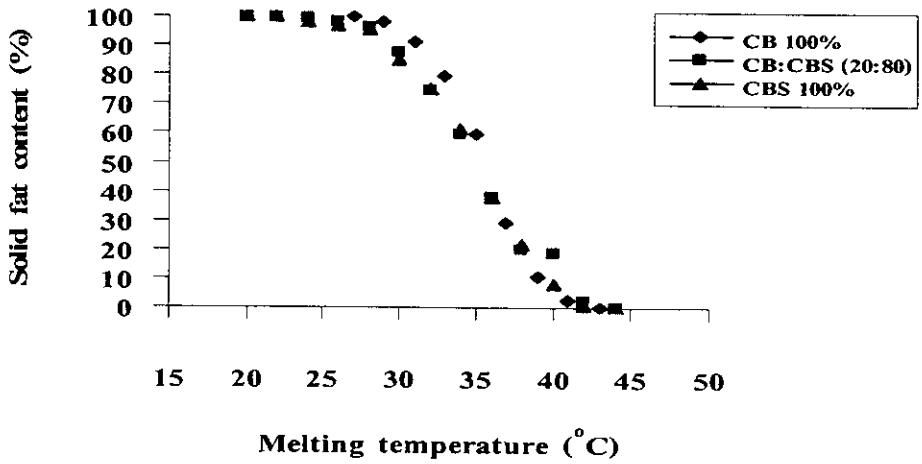
สำหรับปริมาณไขมันแข็งของช็อกโกแลตทั้งที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ แสดงดังภาพที่ 13 พบว่า ปริมาณไขมันแข็งในทุกช่วงอุณหภูมิของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้และเนยโกโก้เทียมร้อยละ 100 จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกันคือ ที่ 25 องศาเซลเซียส ไขมันแข็งจะมีปริมาณสูงสุดเนื่องจากค่าการหลอมเป็นร้อยละ 0 และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณไขมันแข็งจะลดลงจนกระทั่งถึงที่

อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส ช็อกโกแลตทั้งสองตัวอย่างจะถูกหลอมหมดร้อยละ 100 ในขณะที่ตัวอย่างช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 ปริมาณไขมันแข็งจะลดลงเร็วกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับรูปแบบการหลอมเหลวของช็อกโกแลต (ภาพที่ 12) จะให้ผลในทางเดียวกัน



ภาพที่ 12 รูปแบบการหลอมเหลวของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียม (CBE) ทดแทนเนยโกโก้ (CB) ในอัตราส่วนต่างๆ (ร้อยละ) ระหว่าง CB : CBE ดังนี้ คือ 100 : 0 20 : 80 และ 0 :100 (A-C) ตามลำดับ

Figure 12 Melting profile of chocolate produce from 100% CB (A), the mixture of CB and CBS (20 : 80) (B) and 100% CBS (C)



ภาพที่ 13 ปริมาณไขมันแข็งของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียม (CBS) ทดแทนเนยโกโก้ (CB) ในอัตราส่วนต่างๆ (ร้อยละ) ระหว่าง CB : CBS ในช่วงอุณหภูมิการหลอมเหลว 20-45 องศาเซลเซียส

Figure 13 Solid fat content of chocolate and CBS chocolate at various ratios. during melting temperature at 20-45 ^{0}C

นอกจากนั้นเมื่อนำช็อกโกแลตที่ได้ไปวัดการเกิดสีขาว (Whiteness Index) และความแข็ง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 13 พบว่า ชุดที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 ค่าการเกิดสีขาวจะมีความแตกต่าง ($P<0.05$) (ตารางภาคผนวก จ3) กับชุดเนยโกโก้เทียมร้อยละ 100 ส่วนความแข็งทั้งสามชุดการทดลองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) (ตารางภาคผนวก จ3) เช่นกัน ซึ่งเมื่อสังเกตเห็นได้ว่าถ้าใช้ปริมาณเนยโกโก้เทียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ช็อกโกแลตที่ได้มีระดับการเกิดสีขาวสูงขึ้นในขณะที่ความแข็งจะลดลง เนื่องจากในระบบที่มีไขมันผสมทำให้สัดส่วนระหว่างของเหลวและของแข็งแตกต่างกันทำให้เกิด Eutectic mixture ขึ้นแล้วจะเกิดการเคลื่อนย้ายระหว่าง ไขมันเหลวและไขมันแข็ง ส่งผลให้ไขมันแข็งเกิดการหลอมเหลวแล้วรวมตัวกับไขมันเหลวเป็นสาเหตุให้ช็อกโกแลตเกิดการอ่อนตัวลง นอกจากนั้นการที่ไขมันรวมตัวกันจะทำให้รูปผลึกของเนยโกโก้เปลี่ยนไปจากรูปผลึกที่มีความเสถียรไปเป็นรูปผลึกที่ไม่เสถียร แล้วจะเกิดการเคลื่อนย้าย (fat migration) มาอยู่บริเวณผิวหน้าช็อกโกแลตทำให้ฝ้าขาว (fat bloom) บนผิวหน้าช็อกโกแลต ซึ่งจะให้ผลเช่นเดียวกับรายงานของ Ali และคณะ (2001) Ziegleder (1997) และ Nesaretnam และ Razak (1992) คือช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้จะมีความแข็งน้อยกว่าและเกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าช็อกโกแลตเร็วกว่าช็อกโกแลตจากเนยโกโก้

ตารางที่ 13 สมบัติทางกายภาพของช็อกโกแลตที่ใช้ CB ผสม CBS ในอัตราส่วนต่างๆ

Table 13 Physical properties of chocolate produced from CB and CBS at various ratio

Treatment	Physical properties		
CB : CBS (%)	Melting point (^{0}C)	Whiteness Index (%)	Hardness (g)
100 : 0	34 – 35	18.94 ^{a}*± 0.15	1347.26 ^{c} ± 28.73 ^{1}
20 : 80	32 – 33	19.10 ^{ab}±0.18	509.68 ^{b}±12.21
0 : 100	35 – 36	19.28 ^{b}±0.14	386.89 ^{a}±36.58

หมายเหตุ * ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

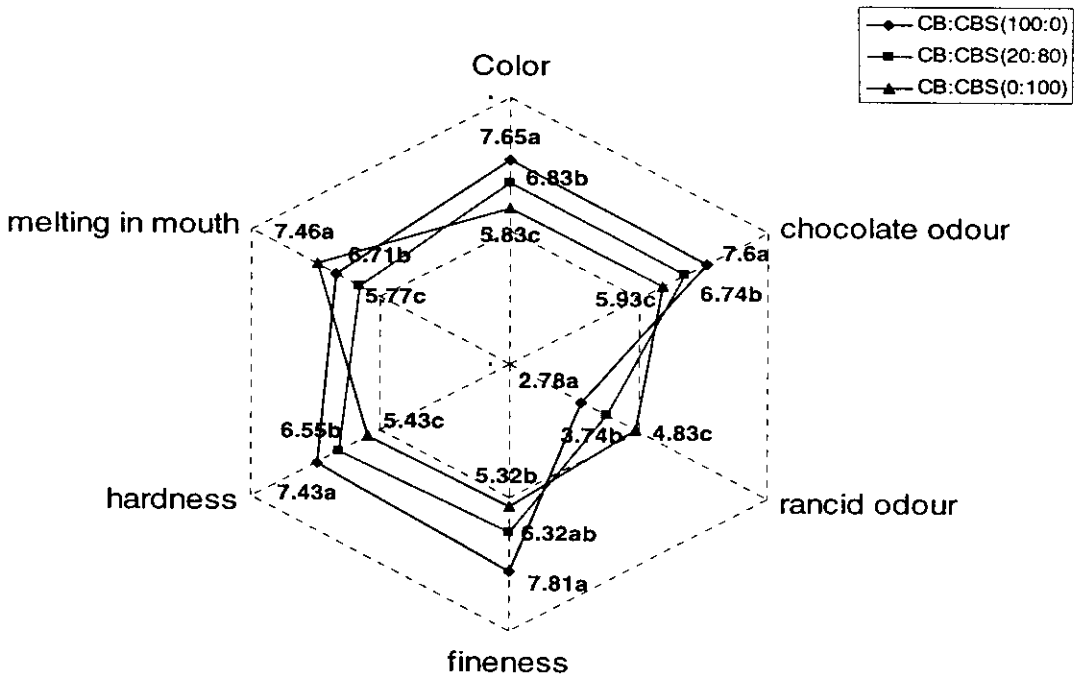
^{1} ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำๆละ 3 ครั้ง

Note: * Values with the same letter in the same column are not significantly different (P>0.05)

^{1} means ± standard deviation from duplication (3 determinations on each of replication)

3.3 ประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลต

ผลการประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ในสัดส่วนต่างที่ได้รับการคัดเลือก โดยใช้การทดสอบแบบพรรณนาเชิงปริมาณ (Quatitive descriptive analysis ; QDA) (แสดงดังภาคผนวก ง) แสดงดังภาพที่ 14 พบว่าสีของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 มีสีน้ำตาลเข้มกว่าช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้และเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณเนยโกโก้เทียมสูงขึ้นคะแนนเฉลี่ยของสีช็อกโกแลตจะมีแนวโน้มลดลง (P<0.05) เมื่อพิจารณาควบคู่กับค่าการเกิดสีขาว (ตารางที่13) เห็นได้ว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือเมื่อเพิ่มปริมาณเนยโกโก้เทียมสูงขึ้นทำให้ค่าการเกิดสีขาวสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้ช็อกโกแลตที่ได้มีสีอ่อนลง นอกจากนั้นรูปผลึกของเนยโกโก้เทียมจะอยู่ในรูป β' ในขณะที่เนยโกโก้มีผลึกอยู่ในรูป β ซึ่งเป็นรูปผลึกที่มีความคงตัวและมีขนาดเล็กกว่ารูป β' ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงหรือการสะท้อนของแสงน้อยกว่า ส่งผลให้เมื่อสังเกตตัวช็อกโกแลตทำให้เห็นสีเข้มกว่าช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียม



ภาพที่ 14 กราฟในแมงมุมของคะแนนทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ในอัตราส่วนต่างกัน ประเมินด้วยวิธีพรรณนาเชิงปริมาณ (QDA)

Figure 14 Spider plot of sensory scores of chocolate and CBS chocolate as evaluated by Quantitative Descriptive Analysis (QDA)

หมายเหตุ [1] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

Note [1] Values with the same letters in the same attribute are not significantly different (P>0.05)

นอกจากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเนยโกโก้เทียมสูงขึ้นทำให้ค่าความแข็งลดลง เนื่องจากการนำเนยโกโก้เทียมซึ่งมีปริมาณไขมันแข็งที่แตกต่างกับเนยโกโก้มาผสมกันทำให้เปอร์เซ็นต์ของของแข็งในไขมันผสมเกิด eutectic behavior ทำให้การควบคุมการตกผลึกของเนยโกโก้ไม่สมบูรณ์จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลง โดย Schuleva (1989 อ้างโดย Bouzas และ Brown, 1995) รายงานว่าการอ่อนตัวของช็อกโกแลตเกิดจากการเติมไขมันที่มีปริมาณ solid fat. ต่างจากเนยโกโก้และเกิด eutectic นอกจากนั้นการเติมสเตียริน หรือ hydrogenate palm kernel oli ร้อยละ 2 - 3 ทำให้กลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง และมีลักษณะเป็นไข (waxiness) ด้วย สำหรับการหลอมละลายในปากของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมร้อยละ 100 จะหลอมละลายช้าที่สุด แต่ตัวอย่างช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 จะหลอมละลายในปากได้เร็วที่สุดและเร็วกว่าช็อกโกแลต

ที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 เนื่องจากช็อกโกแลตที่ได้มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าตัวอย่างอื่นคืออยู่ในช่วง 29 - 32 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เมื่อรับประทานจะหลอมละลายได้เร็วมาก ส่วนความละเอียดของเนื้อช็อกโกแลตพบว่าช็อกโกแลตทั้งสามชุดการทดลองมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ($P<0.05$) เพราะในการผลิตช็อกโกแลตในการทดลองนี้ไม่สามารถบดน้ำตาลให้ละเอียดมากได้เมื่อรับประทานจึงมีความรู้สึกหยาบ เนื่องจากโดยทั่วไป ขนาดของอนุภาคของน้ำตาลทรายและโกโก้จะมีความสำคัญต่อคุณภาพของช็อกโกแลตในด้านเนื้อสัมผัสและความรู้สึกในปาก (mouth feel) ที่ดี ซึ่งต้องบดให้ขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 20 - 30 ไมครอน ถ้าขนาดอนุภาคใหญ่เกินไปทำให้มีความรู้สึกหยาบเมื่อรับประทาน และเนื้อสัมผัสเป็นทรายอย่างชัดเจน (Minifie, 1989)

4. การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาของช็อกโกแลตสูตรที่ใช้เนยโกโก้เทียมที่ได้รับการ คัดเลือกแล้วเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้เนยโกโก้

นำช็อกโกแลตที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 3 ได้แก่ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 และตัวอย่างผสมระหว่างเนยโกโก้และเนยโกโก้เทียมในอัตราส่วนร้อยละ 20:80 มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (~30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุกๆ 2 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (เนยโกโก้ร้อยละ100) ที่เตรียมขึ้นมาใหม่ ซึ่งผลการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพ

นำช็อกโกแลตที่ได้มาวัดรูปแบบการหลอมเหลวเพื่อดูจุดหลอมเหลว การเกิดสีขาว และความแข็ง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 14 พบว่าเมื่อเก็บรักษาช็อกโกแลตเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 และตัวอย่างช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 และ เนยโกโก้ร้อยละ 20 จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นชุดที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 33.2-35.3 องศาเซลเซียส ในขณะที่ชุดที่ใช้เนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าก็ตามคือ 35.8-36.9 องศาเซลเซียส แสดงว่าช็อกโกแลตที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ไม่ทำให้จุดหลอมเหลวของช็อกโกแลตเปลี่ยนแปลงไป แสดงว่ารูปผลึกของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 และเนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อนำช็อกโกแลตมาวัดการเกิดสีขาวพบว่าในสัปดาห์ที่ 8 ของการเก็บรักษาค่าการเกิดสีขาวของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 จะมีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) กับสัปดาห์ที่ 0 ของการเก็บในขณะที่ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนร้อยละ 80 ค่าการเกิดสีขาวจะมีความแตกต่างในสัปดาห์ที่ 6 สัปดาห์ของการเก็บรักษา นอกจากนั้นเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าการเกิดสีขาวจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน แสดงว่าเมื่อเก็บรักษา

ช็อกโกแลตที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานานขึ้นส่งผลให้ช็อกโกแลตมีสีอ่อนลง เนื่องจากที่อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาช็อกโกแลต ประมาณ 30 องศาเซลเซียส สูงเกินไปซึ่งการรวมตัวของไขมันทำให้รูปผลึกของไขมันเปลี่ยนแปลงไปจากรูปเสถียรไปอยู่ในรูปไม่เสถียรจึงส่งผลให้เกิดลักษณะฝ้าสีขาว (fat bloom) บริเวณผิวหน้าช็อกโกแลตเมื่อนำไปวัดค่าการเกิดสีขาวจึงมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเก็บรักษาช็อกโกแลตเป็นเวลานานขึ้นฝ้าขาวจะเกิดขึ้นตลอดเวลาจนเต็มผิวหน้าช็อกโกแลต ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ไม่ดีไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สำหรับความแข็งของช็อกโกแลตทั้งสองตัวอย่างจะมีความแตกต่างสถิติ ($P<0.05$) คือช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 จะมีความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 ในขณะที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่ทำให้ความแข็งมีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

ตารางที่ 14 จุดหลอมเหลว (^{0}ซ) การเกิดสีขาว และ ความแข็งของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้และเนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 สัปดาห์

Table 14 Melting point (^{0}C), whiteness index and hardness of chocolate with 100% CB (A) and the mixture of CB and CBS (20:80) (B) during storage at room temperature for 12 weeks

Storage time (weeks)	Melting point (^{0}C)		Whiteness index		Hardness	
	A	B	A	B	A	B
0	33.8	35.8	18.92 ^{a,A}*	18.96 ^{a,A}	1348.38 ^{a,A}	509.68 ^{a,B}
2	33.2	36.9	18.96 ^{a,A}	19.11 ^{a,A}	1347.83 ^{a,A}	509.32 ^{a,B}
4	33.5	35.9	19.17 ^{a,A}	20.37 ^{b,B}	1346.71 ^{a,A}	508.33 ^{a,B}
6	34.3	36.5	19.76 ^{a,A}	21.43 ^{c,B}	1345.94 ^{a,A}	508.32 ^{a,B}
8	35.3	36.2	19.98 ^{b,A}	22.39 ^{d,B}	1344.14 ^{a,A}	507.99 ^{a,B}
10	34.8	35.8	21.43 ^{c,A}	23.94 ^{e,B}	1343.95 ^{a,A}	505.56 ^{a,B}
12	33.9	35.9	22.15 ^{d,A}	25.17 ^{f,B}	1342.84 ^{a,A}	503.65 ^{a,B}

หมายเหตุ * ตัวอักษรตัวแรกและตัวที่สองแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างเวลาการเก็บรักษาและชุดการทดลองตามลำดับ

Note * The first and second superscripts indicate the significant differences of means among storage time and treatment, respectively (P>0.05)

4.2 ประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัส

4.2.1 ประเมินการเกิดฝ้าขาว (fat bloom) บนผิวหน้าช็อกโกแลต

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 15 พบว่าช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 จะเริ่มเกิดฝ้าขาวเล็กน้อยบนผิวหน้าช็อกโกแลตเมื่อเก็บรักษาช็อกโกแลตที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในขณะที่ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนร้อยละ 80 จะเริ่มเกิดฝ้าขาวในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 12 สัปดาห์ พบว่าช็อกโกแลตใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 จะเกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าช็อกโกแลตมากคือเกิดฝ้าขาวประมาณครึ่งหนึ่งของผิวหน้าช็อกโกแลตทั้งหมด ซึ่งจะมีระดับคะแนนเท่ากับ 2 ในขณะที่ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนร้อยละ 80 จะเกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าช็อกโกแลตอย่างสมบูรณ์หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งจะมีระดับคะแนนเท่ากับ 1 ผลที่ได้มีความสัมพันธ์กับผลการวัดค่าความขาวแสดงในตารางที่ 14 ซึ่งทำให้ช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 มีค่าความขาวมากที่สุดและมีความขาวมากกว่าชุดการทดลองอื่น

ตารางที่ 15 ระดับคะแนนการประเมินการเกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าช็อกโกแลตระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 สัปดาห์

Table 15 Fat bloom score of chocolate with 100% CB and CB:CBS (20:80) during storage at room temperature for 12 weeks

Treatment	Time (weeks)						
	0	2	4	6	8	10	12
CB 100 %	4.0±0.0*	4.0±0.0	4.0±0.0	3.4±0.5	3.0±0.0	3.0±0.0	2.0±0.0
CB:CBS (20:80)	4.0±0.0	4.0±0.0	3.6±0.5	3.0±0.0	2.3±0.5	2.0±0.0	1.0±0.0

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

note: * means ± standard deviation

จากการทดลองเห็นได้ว่าช็อกโกแลตใช้เนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 จะเกิดฝ้าขาวอย่างรวดเร็วและจะเกิดฝ้าขาวขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับชุดที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 ซึ่งช็อกโกแลตที่ได้สามารถเก็บได้นานประมาณ 10 สัปดาห์โดยผู้บริโภคยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอุณหภูมิการเก็บรักษาช็อกโกแลตสูงประมาณ 30 องศาเซลเซียส ทำให้ไขมันบางส่วนเกิดการหลอมเหลวแล้วรวมตัวกันจะทำให้รูปผลึกของเนยโกโก้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปไม่เสถียรแล้วจะเกิดการเคลื่อนย้าย (fat migration) มาอยู่บริเวณผิวหน้าช็อกโกแลตทำให้ฝ้าขาว (fat bloom) บนผิวหน้าช็อกโกแลต

4.2.2 การประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตระหว่างการเก็บรักษา

ทำการประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 และตัวอย่างทดแทนด้วยเนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (~30 ^{0}ซ) เป็นเวลา 12 สัปดาห์โดยเก็บตัวอย่างมาทดสอบทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยการประเมินจะใช้การทดสอบแบบ QDA ซึ่งผลการศึกษาแสดงดัง ตารางที่ 16 จากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นสีของช็อกโกแลตจะมีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) และชุดที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนร้อยละ 80 คะแนนเฉลี่ยของสีช็อกโกแลตจะมีค่าสีอ่อนลงอย่างรวดเร็วกว่าชุดที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 จะเห็นว่าค่าที่ได้จะสอดคล้องกับค่าการเกิดสีขาว (ตารางที่ 14) โดยชุดที่ใช้เนยโกโก้เทียมทำให้ค่าความขาวสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้ช็อกโกแลตมีสีอ่อนลงในสัปดาห์ที่ 6 ขณะที่ช็อกโกแลตที่ผลิตจากเนยโกโก้ จะมีความแตกต่างใน 8 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างเริ่มต้น ส่วนกลิ่นช็อกโกแลตและกลิ่นหืนเห็นได้ว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทำให้กลิ่นช็อกโกแลตลดลงขณะที่กลิ่นหืนเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ได้แก่ คีโตน อัลดีไฮด์ ซึ่งสารประกอบดังกล่าวจะเป็นสารที่ระเหยได้ให้กลิ่นรสที่ผิดปกติแก่ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ช็อกโกแลตที่มีส่วนผสมของเนยโกโก้เทียมมีค่ากลิ่นหืนสูงกว่าช็อกโกแลตจากเนยโกโก้และช็อกโกแลตทั้งสองตัวอย่างมีความแตกต่างของกลิ่นหืนและกลิ่นช็อกโกแลตในสัปดาห์ที่ 6 และ ที่ 8 ตามลำดับ นอกจากนั้นตัวอย่างที่ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนร้อยละ 80 จะให้คะแนนเฉลี่ยของกลิ่นช็อกโกแลตน้อยแต่ด้านกลิ่นหืนสูงกว่าช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ ทั้งนี้เนื่องจากเนยโกโก้เทียมที่ใช้จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 9.87 ในขณะที่เนยโกโก้มีค่าเพียง 1.35 เท่านั้น (ตารางที่ 11) จึงทำให้ช็อกโกแลตที่ผลิตจากเนยโกโก้เทียมมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดกลิ่นหืนได้เร็วกว่าช็อกโกแลตร้อยละ 100 ในด้านความแข็งของช็อกโกแลตพบว่าที่เตรียมจากเนยโกโก้มีความแข็งสูงกว่าช็อกโกแลตที่เตรียมได้จากเนยโกโก้เทียม และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างทั้งสองมีคะแนนเฉลี่ยของความแข็งลดลง และ แตกต่างจากตัวอย่างเริ่มต้นเมื่อการเก็บรักษาเป็น 8 สัปดาห์ ($P<0.01$) เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาช็อกโกแลต (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) อาจทำให้ไขมันบางส่วนเกิดการหลอม

ส่งผลให้ความแข็งของช็อกโกแลตลดลง และเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้นทำให้การหลอมของไขมันเกิดมากขึ้นทำให้ช็อกโกแลตมีความแข็งลดลงด้วย สำหรับการหลอมในปากจะเริ่มเห็นความแตกต่างเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 10 สัปดาห์ ($P<0.05$)

ตารางที่ 16 คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ร้อยละ 100 เนยโกโก้เทียมร้อยละ 80 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (~30 ^{0}C) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

Table 16 Mean score of sensory properties of chocolate and CBS chocolate during storage time at room temperature (~30 ^{0}C) for 12 weeks

Storage time (weeks)	Color		Chocolate odour		Rancid odour		Hardness		Melting in mouth	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
0	8.6^{a,A}	8.4^{a,A}	7.4^{a,A}	5.7^{a,B}	1.6^{a,A}	3.5^{a,B}	8.3^{a,A}	5.4^{a,B}	5.4^{a,A}	7.3^{a,B}
2	8.4^{a,A}	8.3^{a,A}	7.5^{a,A}	5.6^{a,B}	1.5^{a,A}	3.5^{a,B}	8.3^{a,A}	5.4^{a,B}	5.4^{a,A}	7.2^{a,B}
4	8.1^{a,A}	7.9^{a,A}	7.2^{a,A}	5.3^{a,B}	1.6^{a,A}	4.0^{ab,B}	8.0^{a,A}	5.2^{a,B}	5.5^{a,A}	7.0^{a,B}
6	7.8^{ab,A}	7.4^{b,A}	6.5^{ab,A}	4.9^{ab,B}	2.3^{b,A}	4.3^{b,B}	7.7^{ab,A}	5.0^{ab,B}	5.3^{a,A}	7.0^{a,B}
8	7.4^{b,A}	6.5^{c,A}	6.2^{b,A}	4.8^{b,B}	2.7^{b,A}	4.5^{b,B}	7.5^{b,A}	4.7^{b,B}	4.8^{ab,A}	6.8^{ab,B}
10	6.9^{b,A}	6.22^{c,A}	6.0^{b,A}	4.7^{b,AB}	3.0$^{b\,c,A}$	4.8^{bc,B}	7.2^{b,A}	4.6^{b,B}	4.6^{b,A}	6.7^{ab,B}
12	6.2^{b,A}	5.7^{c,A}	5.8^{b,A}	4.6^{b,AB}	3.2^{c,A}	5.0^{c,B}	6.8^{bc,A}	4.2^{b,B}	4.4^{b,A}	6.6^{ab,B}

หมายเหตุ * ตัวอักษรตัวแรกและตัวที่สองแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างเวลาการเก็บรักษาและชุดการทดลองตามลำดับ

Note * The first and second superscripts indicate the significant differences of means among storage time and treatment, respectively (P>0.05)