บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตนมแพะผง ได้ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของน้ำนมแพะดิบ และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตนมแพะผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องคือปริมาณของแข็งในน้ำนมแพะและอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งต่อลักษณะทางเคมีกายภาพของนมแพะผง และผลของชนิดวัตถุเจือปนในอาหารคือ สารอิมัลซิไฟเออร์ สารเพิ่มความคงตัว และสารป้องกันการรวมตัวเป็นก้อนต่อคุณภาพของนมแพะผง

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำนมแพะดิบ

4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำนมดิบเบื้องต้นก่อนการผลิตนมผง

น้ำนมแพะที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำนมแพะดิบจาก สลิมฟาร์ม จังหวัดยะลา ขนส่งภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 4±2 องศาเซลเซียส ก่อนการทดลองในทุกขั้นตอนได้มีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้นของน้ำนมแพะตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 6006-2551) โดยน้ำนมแพะดิบที่ใช้ในการทดลอง ต้องไม่มีตะกอนเกิดขึ้นเมื่อทดสอบการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์และการต้ม มีค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 6.6-6.9 ไม่มีการเปลี่ยนสีของเมทิลีนบลูในเวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณไขมันนมไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3.25 และมีค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำนมสูงกว่า 1.028 โดยมีองค์ประกอบอื่นๆ แสดงในข้อ 4.1.2

4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมแพะดิบ

4.1.2.1 ปริมาณ ไขมัน โปรตีน ของแข็งทั้งหมด

องค์ประกอบของน้ำนมแพะในการทดลองครั้งนี้ นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.6006-2551) ซึ่งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 8

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมี พีเอช ค่าความถ่วงจำเพาะและจุดเยือกแข็งของน้ำนมดิบตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2008)

Chemical properties of raw goat milk	Standard		
	Very good	Good	Standard
Fat (%)	> 4	> 3.5-4	3.25-3.5
Protein (%)	> 3.7	> 3.4-3.7	3.10-3.4
Total solid (%)	> 13	> 12-13	11.7-12
pH	-	-	6.6-6.9
Specific gravity (g/cm^3)	-	-	$\geq$ 1.028
Freezing point (^oC)	-	-	$\geq$-0.53

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมี พีเอช ค่าความถ่วงจำเพาะและจุดเยือกแข็งของตัวอย่างน้ำนมแพะ

Chemical properties of raw goat milk	Sample
Fat (%)	3.45±0.04
Protein (%)	3.95±0.01
Total solid (%)	12.53±0.15
pH	6.65±0.05
Specific gravity (g/cm^3)	1.04
Freezing point (^oC)	-0.33

จากมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 6006-2551) พบว่า ปริมาณไขมัน โปรตีนและของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างน้ำนมแพะ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดีมากและดีตามลำดับ มีค่า pH จุดเยือกแข็งและมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน องค์ประกอบของโปรตีนในตัวอย่างน้ำนมแพะมีค่าใกล้เคียงกับ มณฑกานต์ (2553) ที่รายงานว่า พบปริมาณไขมัน โปรตีนและของแข็งทั้งหมดในน้ำนมแพะร้อยละ 4.07, 3.92 และ 12.63 และมากกว่าการทดลองของ Torii *et al.* (2004) ที่พบปริมาณไขมัน โปรตีนและของแข็งทั้งหมดของน้ำนมแพะในประเทศบราซิลอยู่ในช่วงร้อยละ 2.65-2.88, 2.84-2.97 และ 10.04-10.22 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์น้ำนมด้วยเครื่อง มิลค์ อนาไลเซอร์ พบปริมาณแลกโทส ร้อยละ 5.81±0.02 และเกลือแร่ร้อยละ 0.91±0.01

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.2.2 รูปแบบของกรดไขมัน

กรดไขมันในน้ำนมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญเนื่องจากให้พลังงานสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการ กรดไขมันในน้ำนมแพะมีคุณสมบัติพิเศษเหนือกว่าน้ำนมโค คือ สามารถย่อยได้ง่ายกว่าเนื่องจากในน้ำนมแพะ ประกอบด้วยกรดไขมันสายโซ่สั้นและสายโซ่ปานกลาง จำนวนมาก ทำให้ไขมันในน้ำนมแพะกระจายตัวได้ดีกว่า สามารถดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยลดคลอเรสเทอรอลและรักษาสมดุลของระดับของไตรกลีเซอไรด์ในเลือด (Jose, 2011) รูปแบบกรดไขมันในน้ำนมแพะแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 รูปแบบของกรดไขมันของน้ำนมแพะ

Composition	Content (%)
C6:0	2.2±0.2
C8:0	2.9±0.1
C10:0	11.1±0.5
C12:0	8.7±0.7
C14:0	14.0 ±0.5
C15:0	1.1±0.1
C16:0	35.3±0.2
C16:1	1.0±0.9
C18:0	5.6±0.5
C18:1n9c	15.3±0.7
C18:2n6c	2.6±0.3
SCFA	2.2
MCFA	22.8
Saturated FA	82.2
Unsaturated FA	18.9

Mean value ± standard deviation of triplicates

SCFA/ Short Chain Fatty acid, MCFA/ Medium Chain Fatty acid

ตัวอย่างน้ำนมแพะ พบกรดไขมันหลายชนิดทั้งที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยกรดไขมันอิ่มตัวที่พบได้แก่ กรดคาโปรอิก (caproic acid, C:6) กรดคาปริลิก (caprylic acid, C8:0) กรดคาพริก (capric acid: C10:0) กรดลอริก (lauric acid, C12:0) กรดไมริสติก (myristic acid, C14:0) กรดปาล์มิติก (palmitic acid, C16:0) และกรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) โดยพบกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทั้งหมดในปริมาณร้อยละ 82.15 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบมีค่าร้อยละ 18.87 ได้แก่ กรดโอลิอิก (oleic acid, C18:1n9c) กรดลิโนลิอิก (linoleic acid, C18:2n6c) จากการทดลอง ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมีค่ามากกว่ารายงานของ Rodriguez-Alcala *et al.* (2009) โดยรายงานว่าพบร้อยละ 67 และมากกว่าผลการทดลองของ DzUrso *et al.* (2008) ที่พบปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 57.00 - 63.80 จากการทดลองจะเห็นว่า ปริมาณกรดไขมันสายโซ่สั้นรวมกับสายโซ่ปานกลางมีร้อยละ 24.97 กรดไขมันสายโซ่สั้นและสายโซ่ปานกลางในน้ำนมแพะจะส่งผลดีต่อระบบการย่อย เนื่องจากเอนไซม์ย่อยสลายไขมัน (lipase) ที่อยู่ภายในเซลล์สามารถย่อยได้ง่ายกว่าน้ำนมโค (Haenlein, 2004 อ้างโดย Almass *et al.*, 2006) จะย่อยได้กรดไขมันและกลีเซอไรด์ กรดไขมันที่เกิดขึ้นสามารถถูกดูดซึมผ่านเซลล์ของลำไส้เล็ก โดยไม่ต้องอาศัยไคโลไมครอน และจะถูกขนส่งทางหลอดเลือดไปสู่ตับ โดยเกาะไปกับโปรตีนอัลบูมินเพื่อส่งเข้าสู่ตับในรูปของกรดไขมันแล้วย่อยสลายเป็นพลังงานต่อไป

4.1.2.3 ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส

แคลเซียมนับเป็นเกลือแร่หลักที่พบในร่างกายมากที่สุดประมาณร้อยละ 99 จะพบในกระดูก ฟัน เล็บ และผม ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 1 จะมีอยู่ทั่วไปในระบบกล้ามเนื้อ มีความจำเป็นต่อการทำงานของกล้ามเนื้อและประสาท (ศูนย์สุขภาพและโภชนาการไทย, 2554) จากการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม พบว่า ตัวอย่างน้ำนมแพะมีแคลเซียม 114.93 mg/100 ml โดยมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Ljutavac *et al.* (2008) ซึ่งพบปริมาณแคลเซียมในน้ำนมแพะ 126 mg/100 ml

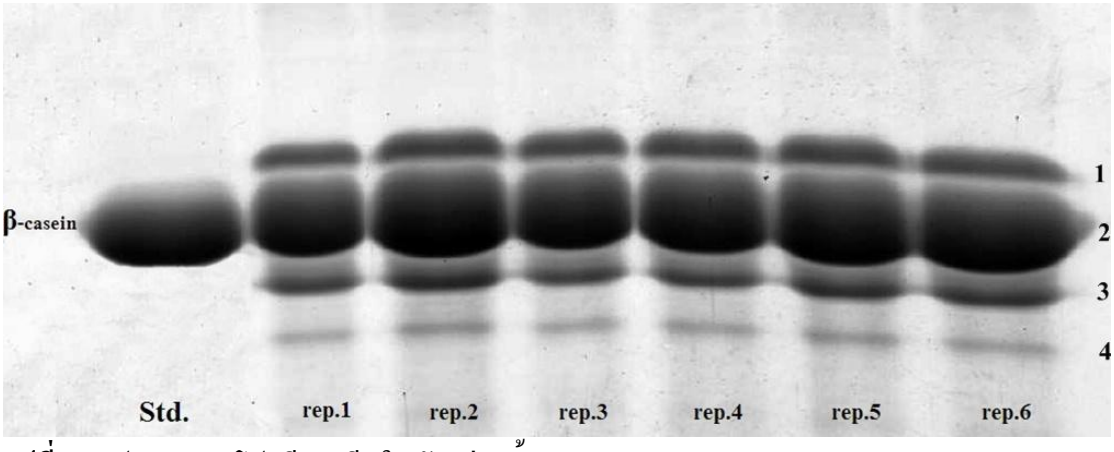
ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่มีมากที่สุดเป็นอันดับสองของร่างกาย เป็นองค์ประกอบของ DNA และ RNA ช่วยทำหน้าที่ในการสร้างเซลล์ เป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟันให้เป็นไปอย่าปกติ ควบคุมการทำงานของไตและควบคุมความเป็นกรด-เบสในเลือดและของเหลวในร่างกายของสิ่งมีชีวิต (Niedziocha, 2011) จากการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส พบว่าน้ำนมแพะมีปริมาณฟอสฟอรัส 98.62 mg/100 ml มากกว่าผลการทดลองของ Bawala *et al.* (2006) ที่พบปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 80.7-94.1 mg/100 ml และพบว่ามีปริมาณค่อนข้างใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Ljutavac *et al.* (2008) ที่พบปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำนมแพะ 92.0 mg/100 ml

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.1.2.4 ชนิดและรูปแบบของเคซีนในน้ำนมแพะ (Profile protein casein assay)

โปรตีนในน้ำนมแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เคซีน (casein) และเวย์โปรตีน (whey protein) เคซีนในน้ำนมมีประมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมด สามารถแยกออกจากน้ำนมได้ง่ายโดยปรับพีเอชของน้ำนมของน้ำนมให้ต่ำลงที่พีเอช 4.6 และแยกชนิดของเคซีนได้โดยวิธี เจลอิเลคโตรโฟรีซีส (gel electrophoresis) (นิธิยา, 2543)

การวิเคราะห์รูปแบบของโปรตีนเคซีนโดยใช้เทคนิคเจลอิเล็กโตรโฟริซิสชนิด SDS-PAGE (รูปที่ 12) พบแถบโปรตีน 4 แถบ จำแนกชนิดเป็น αs2-casein (แถบหมายเลข 1), β-casein (แถบหมายเลข 2), κ-casein (แถบหมายเลข 3) และ αs1-casein (แถบหมายเลข 4) โดยใช้การเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน β-casein และการเปรียบเทียบกับการทดลองในห้องปฏิบัติการเดียวกับผู้วิจัยในงานวิจัยก่อนหน้า (มณฑกานต์, 2553) ร่วมกับการเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนเคซีนแต่ละชนิด ดังนี้ αs2-casein มีน้ำหนักโมเลกุล 25,599 β-casein มีน้ำหนักโมเลกุล 24,500 Da κ-casein มีน้ำหนักโมเลกุล 24,000 Da และ αs1-casein มีน้ำหนักโมเลกุล 23,264 Da (Salem *et al*., 2009 และ Trujillo *et al*., 2000) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณของโปรตีนเคซีนแต่ละชนิดต่อปริมาณโปรตีนเคซีนทั้งหมด พบว่า น้ำนมแพะในการทดลองมีปริมาณโปรตีน β-casein มากถึงร้อยละ 77.40±0.59 โปรตีนชนิดนี้มีสมบัติพิเศษคือ เป็นแหล่งของเปปไทด์ที่มีสมบัติช่วยในการดูดซึมเกลือแร่ (Farrell *et al*., 2004) ต้านภาวะความดันโลหิตสูง ป้องกันโรคเบาหวาน และโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ (Kamiñski *et al*., 2007) พบโปรตีนที่คาดว่าจะเป็นชนิด κ-casein ร้อยละ 2.50±0.17, αs2-casein ร้อยละ 18.40±0.63 และ αs1-casein ร้อยละ 1.55±0.17 ซึ่งการที่พบปริมาณ αs1-casein ปริมาณน้อยจะมีข้อดี เนื่องจาก Lara *et al*. (2005) รายงานว่า โปรตีนชนิด αs1-casein เป็นสาเหตุให้เกิดอาการแพ้โปรตีนจากน้ำนมในเด็ก ซึ่งโปรตีนชนิดนี้จะพบมากในน้ำนมโค แต่พบน้อยมากในน้ำนมแพะ



รูปที่ 13 รูปแบบของโปรตีนเคซีนในตัวอย่างน้ำนมแพะ

1=αs2-casein 2=β-casein 3=κ-casein 4=αs1-casein

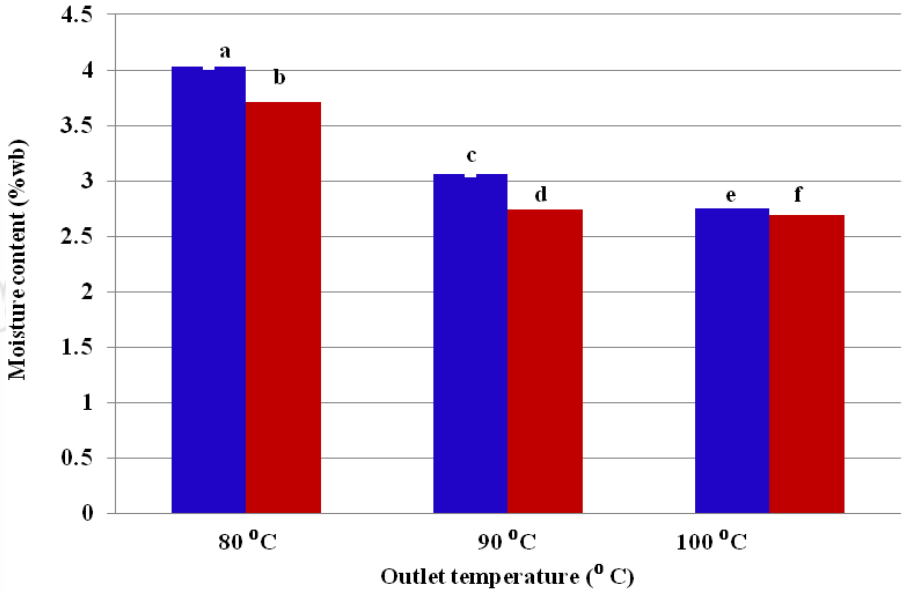
4.2 ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมและอุณหภูมิลมร้อนขาออกต่อคุณภาพของนมแพะผง

ศึกษาผลของปริมาณของแข็งในน้ำนม 2 ระดับโดยที่ระดับของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 12±1 และปรับปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 24±1 ด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โฮโมจิไนซ์น้ำนมด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์แบบ 2 สเตท ที่ความดัน 500 psi และ 2,500 psi พาสเจอไรส์ที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที นำน้ำนมเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยควบคุมอุณหภูมิน้ำนมแพะดิบที่ 50 องศาเซลเซียส กำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมร้อนขาออก 3 ระดับคือ 80±2, 90±2 และ 100±2 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการไหลของน้ำนมที่ระดับ 2.43, 1.69 และ 1.05 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

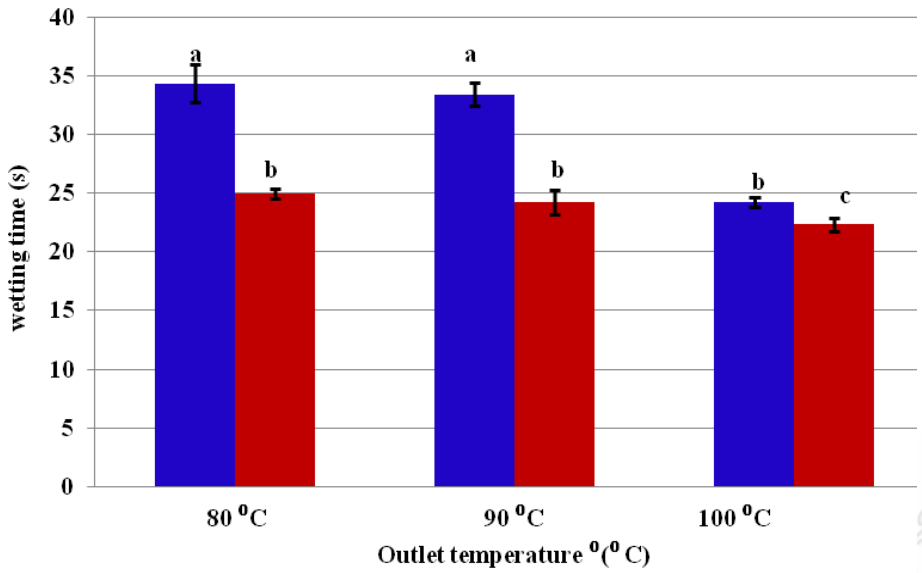
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำนมแพะแบบพ่นฝอย พิจารณาจากสมบัติทางกายภาพบางประการ คือ ความชื้น เวลาในการทำให้เปียก การกระจายตัว ปริมาณไขมันที่ผิว และการละลายของนมแพะผง แสดงดังตารางที่ 9 พบว่า ปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบมีผลต่อสมบัติดังกล่าว โดยนมแพะผงที่ผลิตจากน้ำนมดิบที่มีปริมาณของแข็งสูงระดับร้อยละ 24 มีสมบัติหลายประการที่ดีกว่านมแพะผงที่ผลิตจากน้ำนมดิบที่มีปริมาณของแข็งสูงระดับร้อยละ 12 (รูปที่ 14-18 และตารางภาคผนวกที่ 3) คือ มีการระเหยน้ำที่ดีกว่า นมผงที่ผลิตได้มีความชื้นต่ำกว่า ใช้เวลาที่ทำให้อนุภาคผงเปียกน้อยกว่า มีการกระจายตัวในน้ำที่ดีกว่า ปริมาณไขมันที่ผิวน้อยกว่า ซึ่งส่งผลให้การเปียกและการกระจายตัวดี แต่มีจุดที่ด้อยกว่าเล็กน้อยคือเมื่อละลายนมผงในน้ำ จะมีตะกอนเหลือในปริมาณที่มากกว่า แต่ตะกอนที่เหลืออยู่ก็น้อยกว่า 1 มิลลิลิตร จึงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.391-2524 ซึ่งเมื่อนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อเพิ่มความชัดเจนในการเปรียบเทียบ ตะกอนมีน้ำหนักเพียง 0.09-0.12 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตรของน้ำนม การปรับปริมาณของแข็งจากร้อยละ 12 เป็นร้อยละ 24 ด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศเป็นการระเหยน้ำออกก่อนเข้าทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้มีปริมาณน้ำลดลงจากเดิม เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการทำแห้ง ในระยะเวลาที่เท่ากัน น้ำนมที่มีปริมาณของแข็งสูงกว่า จะถูกระเหยน้ำได้ดีกว่าน้ำนมที่มีปริมาณของแข็งต่ำ แต่ปริมาณไขมันที่ผิวจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น น้ำนมจะมีลักษณะข้นหนืด องค์ประกอบในน้ำนม เช่น ไขมัน โปรตีน เคลื่อนที่ ไปยังผิวอนุภาคยาก จึงส่งผลให้เกิดการกระจายตัวขององค์ประกอบไปยังผิวอนุภาคนมผงต่ำลง (King, 1990)

การเปรียบเทียบอุณหภูมิลมร้อนขาออกในการทำแห้งที่ระดับ 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่า นมผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความชื้นต่ำกว่า ใช้เวลาที่ทำให้อนุภาคผงเปียกน้อยกว่า มีการกระจายตัวในน้ำที่ดีกว่า ปริมาณไขมันที่ผิวน้อยกว่า เนื่องจาก เกิดการฟอร์มตัวของอนุภาคอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ทำให้ระยะเวลาการกระจายตัวของไขมันไปยังผิวน้อยลงและเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคของแข็งขึ้น (Kim *et al*., 2009) กรณีนมผง องค์ประกอบหลักของนมผงคือ

ไขมัน โปรตีน และน้ำตาลแลกโทส ระหว่างการทำแห้งและฟอร์มอนุภาค ถ้าอัตราการระเหยน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว การเคลื่อนย้ายของไขมันไปที่ผิวของอนุภาคจะเกิดขึ้นน้อย ไขมันที่ผิวของอนุภาคผง จะขัดขวางการดูดซับน้ำ ดังนั้นการที่นมผงมีปริมาณไขมันที่ผิวน้อย จะใช้เวลาที่ทำให้เปียกน้อยกว่านมผงที่มีปริมาณไขมันที่ผิวมาก ถ้าพิจารณาจากสมบัติต่างๆในการทดลองนี้ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตนมผงคือการปรับปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบให้มีปริมาณร้อยละ 24 และใช้อุณหภูมิลมร้อนขาออก 100 องศาเซลเซียส นมผงที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดร้อยละ 2.69 ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ร้อยละ 5 นมผงมีการกระจายตัวร้อยละ 76.65 มีระยะเวลาในการเปียกน้อยที่สุดที่ 22.33 วินาที มีค่าการละลายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคือน้อยกว่า 1 มิลลิลิตร ซึ่งสมบัติต่างๆยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นกว่านี้ได้อีกโดยการใช้วัตถุปรุงแต่งอาหารบางชนิด เช่นสารที่ช่วยในการยึดเกาะ และอิมัลซิไฟเออร์

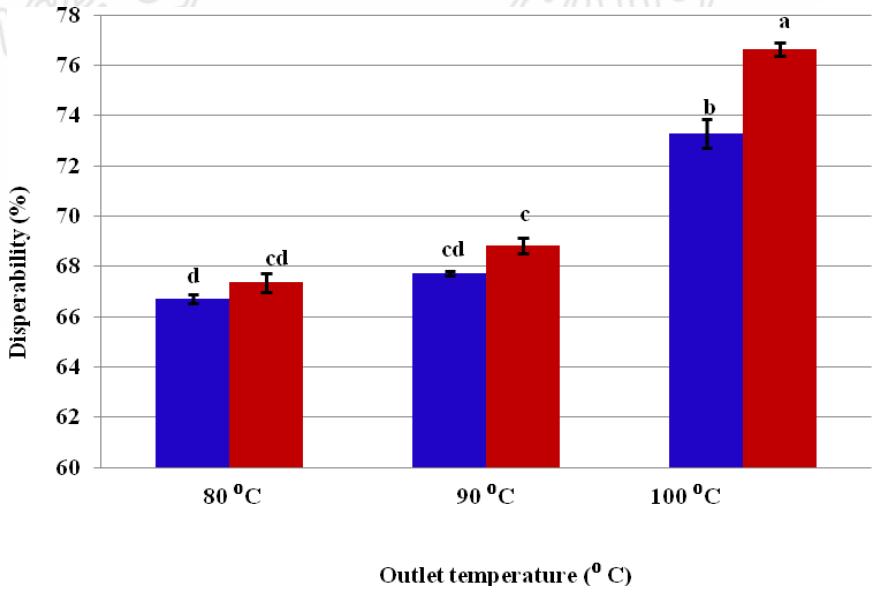


รูปที่ 14 ปริมาณความชื้นของนมแพะผงจากน้ำนมแพะดิบที่มีการปรับปริมาณของแข็งร้อยละ 12 ■ และ 24 ■ ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกระดับต่างๆ (80-100 องศาเซลเซียส)
TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมด
อักษร a-f ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



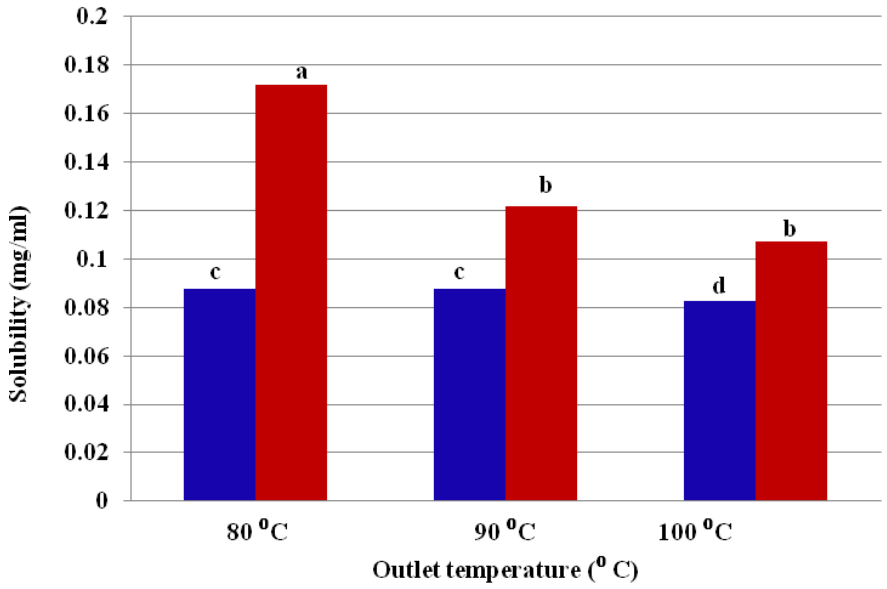
รูปที่ 15 เวลาในการทำให้เปียกของนมแพะผงจากน้ำนมแพะดิบที่มีการปรับปริมาณของแข็งร้อยละ 12 ■ และ 24 ■ ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกระดับต่างๆ (80-100 องศาเซลเซียส) TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมด

อักษร a-c ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



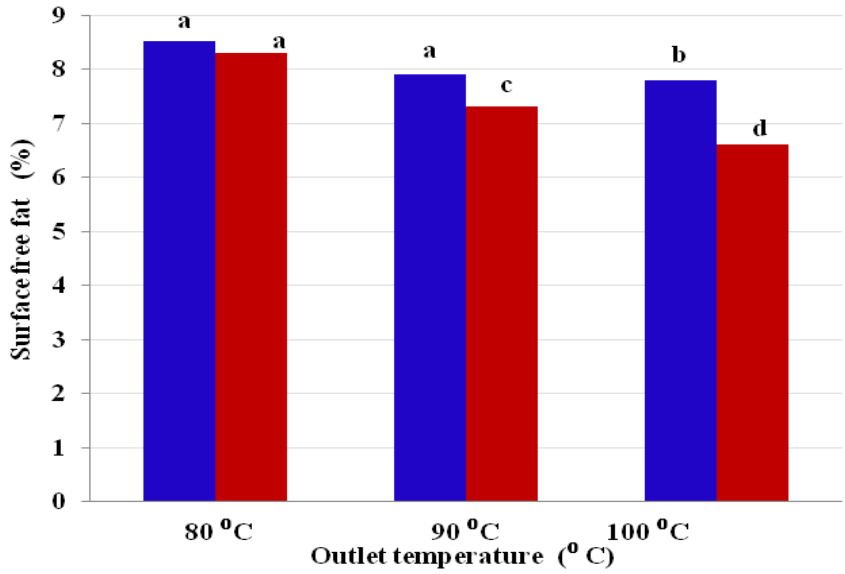
รูปที่ 16 ค่าการกระจายตัวของนมแพะผงจากน้ำนมแพะดิบที่มีการปรับปริมาณของแข็งร้อยละ 12 ■ และ 24 ■ ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกระดับต่างๆ (80 -100 องศาเซลเซียส) TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมด

อักษร a-d ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 17 ความสามารถในการละลายของนมแพะผงจากน้ำนมแพะดิบที่มีการปรับปริมาณของแข็งร้อยละ 12 ■ และ 24■ ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกระดับต่างๆ (80 -100 องศาเซลเซียส) TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมด

อักษร a-d ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 18 ปริมาณไขมันที่ผิวของนมแพะผงจากน้ำนมแพะดิบที่มีการปรับปริมาณของแข็งร้อยละ 12 ■ และ 24■ ทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกระดับต่างๆ (80-100 องศาเซลเซียส) TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมด

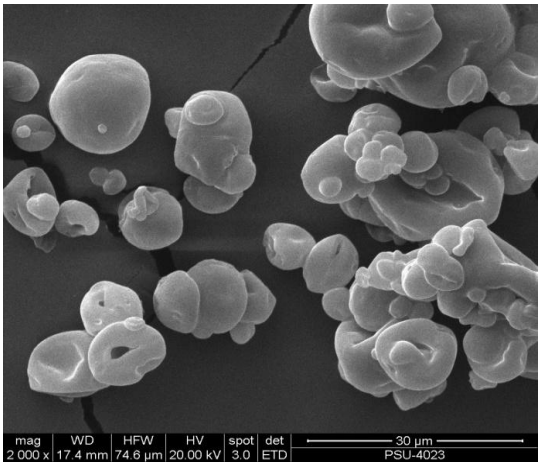
อักษร a-d ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การศึกษาลักษณะของอนุภาคนมแพะผงจากน้ำนมแพะดิบที่มีการปรับปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบร้อยละ 12 และ 24 และทำแห้งที่อุณหภูมิขาออกร้อยละ 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แสดงในรูปที่19 พบว่า ปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบที่แตกต่างกันมีผลต่อขนาดและความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาคผง ปริมาณของแข็งในน้ำนมระดับร้อยละ 12 มีขนาดอนุภาคผงที่ใหญ่กว่าและมีความสม่ำเสมอมากกว่าการใช้ปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบร้อยละ 24 อุณหภูมิในการทำแห้งนมผงก็มีผลต่อลักษณะของอนุภาคเช่นกัน โดยการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำขนาดของอนุภาคนมผงจะมีขนาดใหญ่กว่า และมีแนวโน้มที่จะมีขนาดอนุภาคเล็กลงเมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนขาออกในการทำแห้งที่สูงขึ้น ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า ทำให้นมผงมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำได้มากกว่า จึงส่งผลให้มีการละลายที่ดี การทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาออก 100 องศาเซลเซียส จะพบรอยแตกและรูพรุนบนผิวของอนุภาคผงได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 19 F) เนื่องจากเกิดแรงดันสูงระหว่างการระเหยของน้ำ ดันผนังอนุภาคทำให้เกิดรอยแยก สอดคล้องกับรายงานของ Kim *et al*. (2009) ที่รายงานว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้อนุภาคนมผงเกิดรอยแยกหรือแตกหักได้ การที่โครงสร้างของนมผงมีรูพรุนมากขึ้น จะทำให้การดูดซับน้ำของนมผงสูงขึ้น ส่งผลให้นมผงที่ทำแห้งอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการทำให้เปียกน้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ

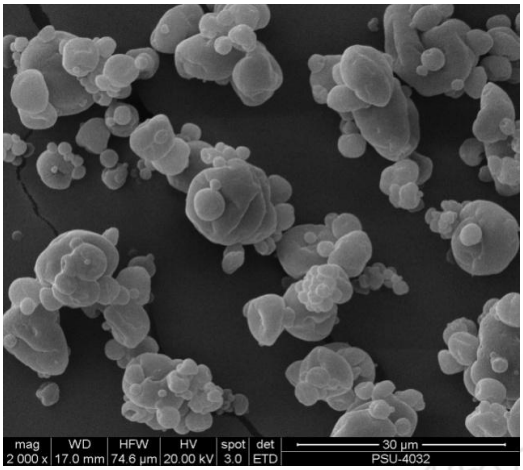
ดังนั้น ชุดการทดลองที่เหมาะสมในการผลิตนมแพะผงต่อไปคือ ชุดการทดลองที่มีการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 100 องศาเซลเซียส ปรับปริมาณของแข็งร้อยละ 24 เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าว ผ่านคุณสมบัติของนมผงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมผง (มอก. 391-2524) คือ มีปริมาณตะกอนจากการละลายไม่เกิน 1.0 มิลลิลิตรต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร มีปริมาณความชื้นต่ำที่ร้อยละ 2.69 และพิจารณาคุณสมบัติรองคือ นมผงที่ใช้เวลาการทำให้เปียกน้อยที่สุดที่ 22.33วินาที และมีค่าการกระจายตัวสูงสุดร้อยละ 76.65

Prince of Songkla University Pattani Campus

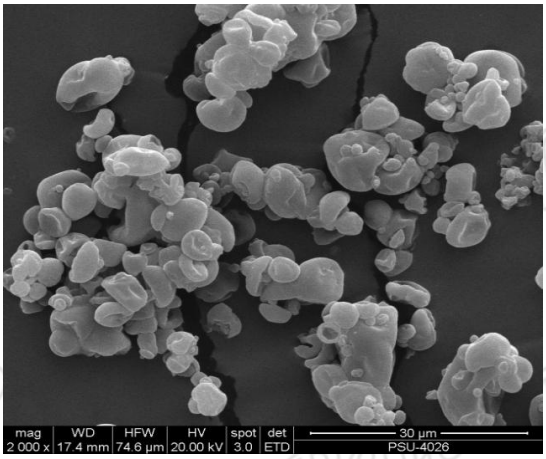
A: 12%TS / 80 °C



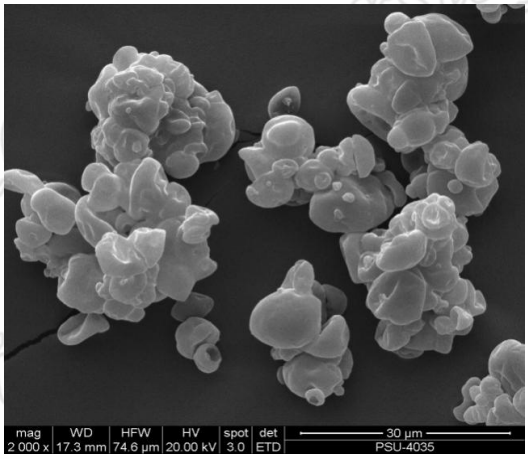
B: 24%TS / 80 °C



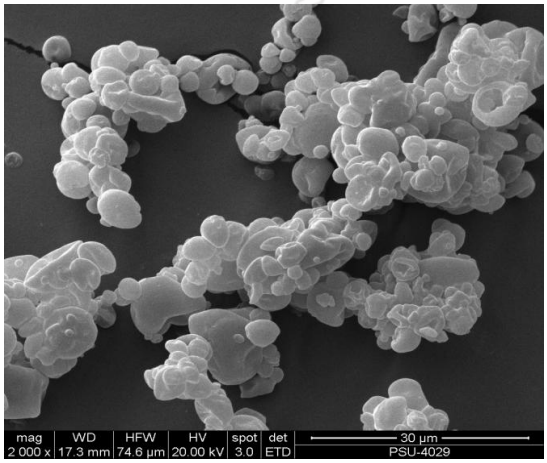
C: 12%TS / 90 °C



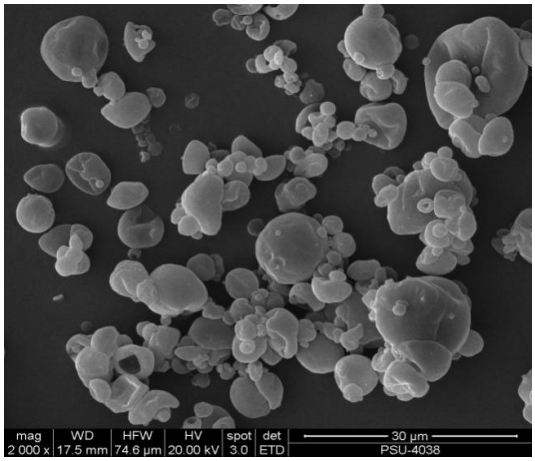
D: 24%TS / 90 °C



E : 12%TS / 100



F: 24%TS / 100



รูปที่ 19 อนุภาคนมแพะผงที่การทำแห้งแบบพ่นฝอย ปริมาณของแข็งและอุณหภูมิขาออกระดับต่างๆ ผ่านกล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 2000x

4.3 ผลของวัตถุเจือปนอาหารต่อคุณภาพของนมแพะผง

ศึกษาผลของปริมาณเลซิทินร้อยละ 0-1 โดยน้ำหนักของของแข็งในน้ำนม ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนักน้ำนม และปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 0-1 โดยน้ำหนักของของแข็งในน้ำนมโดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) มีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของนมแพะผงคือ ค่าความชื้น (%wb) ระยะเวลาในการเปียก การกระจายตัว ปริมาณไขมันที่ผิว และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนมแพะผงคือ ใช้ปริมาณเลซิทินร้อยละ 0.5 ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 และปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในน้ำนม เนื่องจากเป็นชุดการทดลองที่นมแพะผงใช้เวลาในการเปียกน้อยที่ 20.02 วินาที (ตารางภาคผนวกที่ 4-6) ให้ค่าความชื้นที่ต่ำร้อยละ 1.27 มีค่าการกระจายตัวของนมผงสูงร้อยละ 90.99 โดยความสัมพันธ์ของ เลซิทิน มอลโตเด็กซ์ทรินและซิลิกอนไดออกไซด์ต่อลักษณะทางเคมีกายภาพของนมแพะผง แสดงรายละเอียดในหัวข้อ 4.3.1-4.3.8

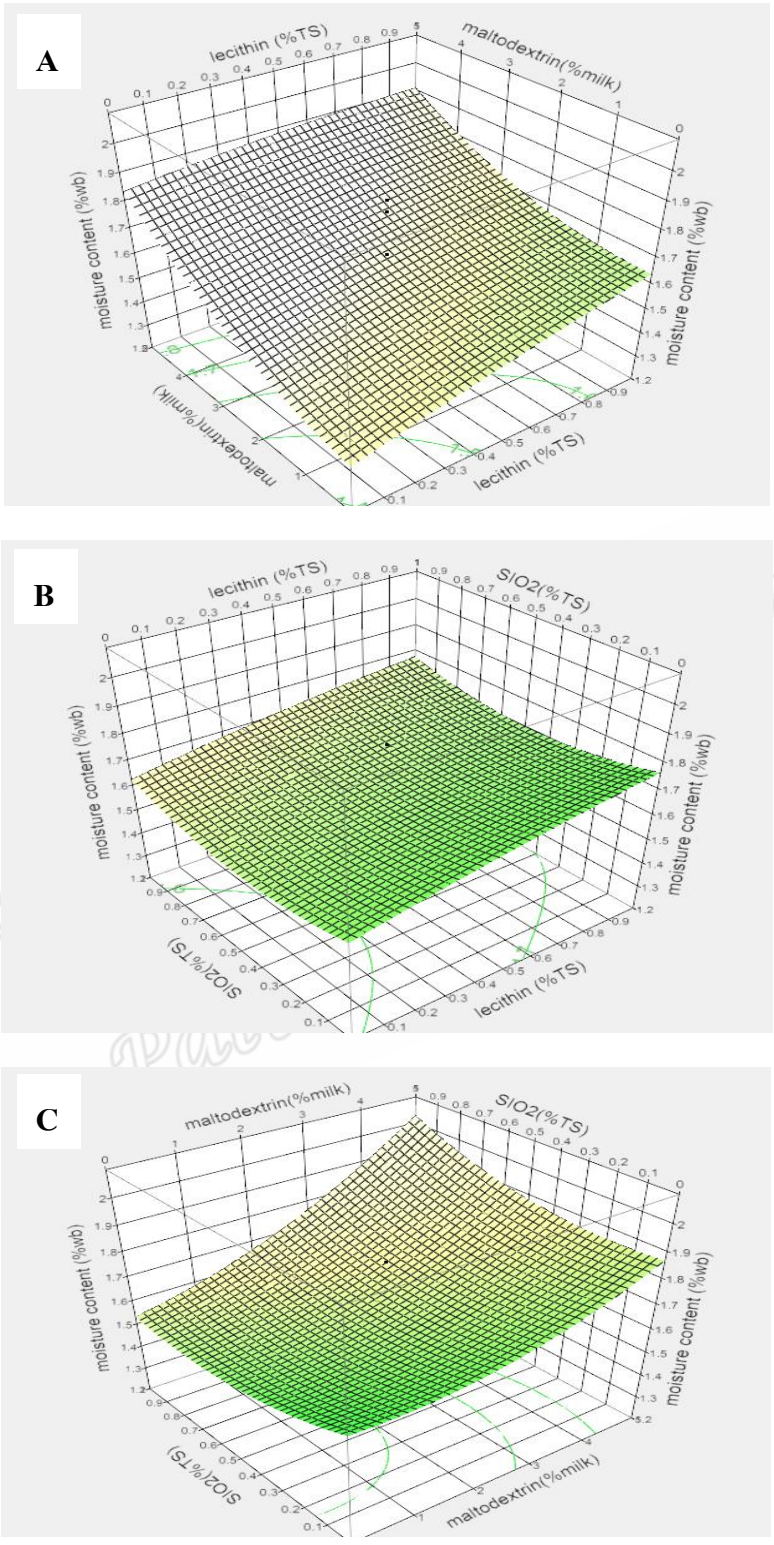
Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3.1 ผลของปริมาณเลซิทิน มอลโตเด็กซ์ทริน และซิลิกอนไดออกไซด์ ต่อค่าความชื้นของนมแพะผง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเลซิทินและมอลโตเด็กทรินซ์ต่อค่าความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 20A การประมวลผลเป็นภาพ Response surface โดยโปรแกรม JMP แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเลซิทินที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0-1 ทำให้นมแพะผงมีความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้ ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ มอก.391- 2524 ที่กำหนดให้ปริมาณความชื้นในนมผงไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก เลซิทินมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว (Surface active agent) และเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เมื่อนำสารอิมัลซิไฟเออร์ไปผสมกับสารที่มีส่วนผสมของไขมันและน้ำมันจะกระจายตัวอยู่ที่หน้าผิวสัมผัส เลซิทินจะมีส่วนที่มีประจุและไม่มีประจุ ปริมาณเลซิทินที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการเพิ่มของหมู่ที่มีประจุและไม่มีประจุมากขึ้น เลซิทินจึงสามารถจับกับน้ำและไขมันได้มากขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณของเลซิทินที่มากเกินไป อาจเป็นการเพิ่มส่วนของหมู่ที่มีประจุ ประจุที่เกิดขึ้นจะจับกับความชื้นในอากาศ ทำให้นมผงมีความชื้นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้เลซิทินร้อยละ 1 ก็ยังมีปริมาณความชื้นต่ำ (ร้อยละ 1.17-2.27) Fonseca *et al.* (2011) ศึกษาคุณภาพทางกายภาพของนมแพะผงที่ผ่านการเติมเลซิทินที่ระดับ 0.0, 0.4, 0.8 และ 1.0 กรัม เลซิทิน /100 กรัมของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนม พบว่า ปริมาณของเลซิทินที่เหมาะสมในการผลิตนมแพะผงคือ ระดับร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมด

เมื่อพิจารณาผลของมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นที่ระดับเลซิทินและซิลิกอน - ไดออกไซด์ใดๆ (20A, 20C) พบว่า การเพิ่มขึ้นของมอลโตเด็กทรินซ์ จะทำให้นมแพะผงมีความชื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นก่อนหน้านี้ของผู้วิจัย พบว่า การใช้มอลโทเด็กซ์-ทรินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 30 ในน้ำนมแพะที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 30 ความชื้นของนมแพะผงที่ได้จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.26 เป็นร้อยละ 4.53 เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินมีองค์ประกอบของน้ำตาลกลูโคส เรียงต่อกันด้วยพันธะ $\alpha(1\longrightarrow4)$ ไกลโคซิดิก (α (1⟶4) glycosidic bonds) มากกว่า 20 หน่วย ซึ่งในแต่ละหน่วย ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) 4 หน่วยซึ่งสามารถสร้างพันธะกับออกซิเจนในอากาศได้ ดังนั้น การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่มากเกินไปจึงเป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิล ส่งผลให้นมแพะผงมีความชื้นเพิ่มขึ้น และจากการทดลองในครั้งนี้ พบว่านมแพะผงจะมีความชื้นต่ำสุดเมื่อเติมมอลโตเด็กทรินซ์ร้อยละ 0 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 20 B พบว่า ที่ระดับเลซิทินใดๆ การใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 0-1 ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นในนมแพะผง

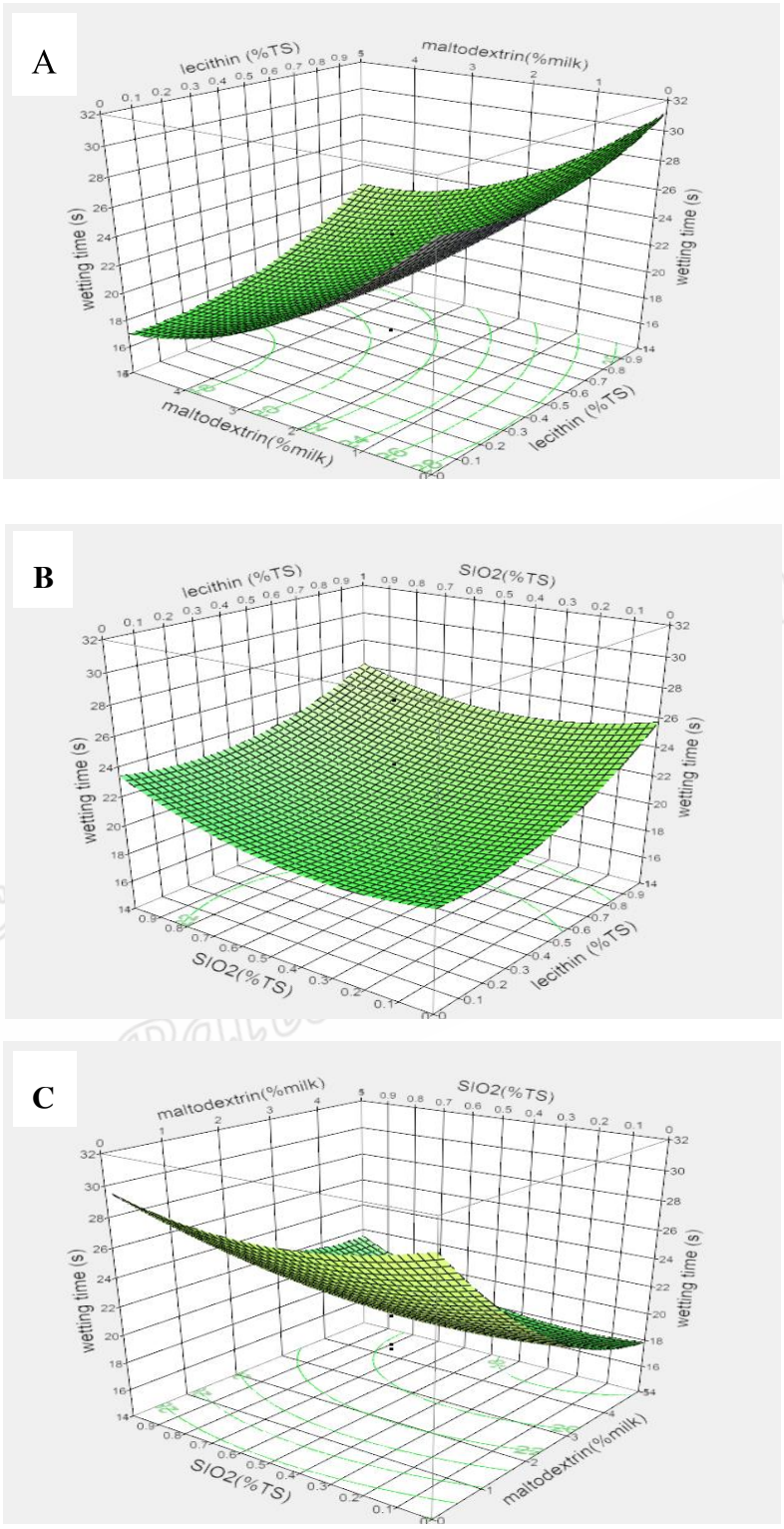
Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ของปริมาณเลซิทินและมอลโตเด็กซ์ทริน (A) ปริมาณเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ (B) ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์และมอลโตเด็กซ์ทริน (C) ต่อปริมาณความชื้นของนมแพะผง

4.3.2 ผลของปริมาณเลซิทิน มอลโตเด็กซ์ทริน และซิลิกอนไดออกไซด์ ต่อเวลาในการทำให้เปียกของนมแพะผง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเลซิทินและมอลโตเด็กทรินซ์ต่อเวลาในการทำให้เปียก ดังแสดงในรูปที่ 21A พบว่า ที่ปริมาณมอลโตเด็กทรินซ์ระดับต่างๆ เมื่อปริมาณเลซิทินเพิ่มขึ้น จะใช้เวลาในการเปียกเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมอลโต-เด็กซ์ทรินและซิลิกอนไดออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 21C พบว่า มอลโตเด็กซ์ทรินจะทำให้นมแพะผงใช้เวลาในการเปียกลดลง ทั้งนี้ มอลโตเด็กซ์ทรินเป็น สารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสประมาณ 20 หน่วย (Guadango, 2011) เมื่อจับกับโปรตีน ทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของมอลโตเด็กซ์ทรินส่งผลให้อนุภาคนมแพะผงใหญ่ขึ้น นมแพะผงจมตัวลงอย่างรวดเร็ว จึงให้ใช้เวลาในการทำให้เปียกน้อยลง และการใช้มอลโตเด็กซ์-ทรินร่วมกับซิลิกอนไดออกไซด์ที่ระดับร้อยละ 0.5 นมแพะผงจะใช้เวลาในการทำให้เปียกประมาณ 20 วินาที เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ จะแตกตัวให้โมเลกุลของซิลิกอนไอออน (Si^{+}) สามารถจับกับไฮโดรเจนไอออน (H^{+}) ของน้ำหรือความชื้นในนมผงได้ นอกจากนี้ซิลิกอนไดออกไซด์ มีลักษณะโครงสร้างเป็นโพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดความชื้นจำนวนมากและให้ความคงตัวสูง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 21B พบว่าที่ระดับเลซิทินใดๆ การใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 0-1 นมแพะผงจะใช้เวลาในทำให้การเปียกไม่ต่างกันมาก อยู่ในช่วง 23-26 วินาที ในขณะที่ระดับเลซิทินที่มากกว่าร้อยละ 0.5 จะส่งผลให้นมแพะผงใช้เวลาในการทำให้เปียกเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับเหตุผลข้างต้น และผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกับความชื้น คือเมื่อนมแพะผงมีปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อนุภาคนมผงเกาะกันเป็นก้อน เมื่อนำมาทดสอบการเปียก นมผงจะไม่กระจายตัวและเกิดการละลายน้อยลง จึงใช้เวลาในการเปียกมากขึ้นด้วย



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ของปริมาณเลซิทินและมอลโตเด็กซ์ทริน (A) ปริมาณเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ (B) ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์และมอลโตเด็กซ์ทริน (C) ต่อเวลาในการทำให้เปียกของนมแพะผง

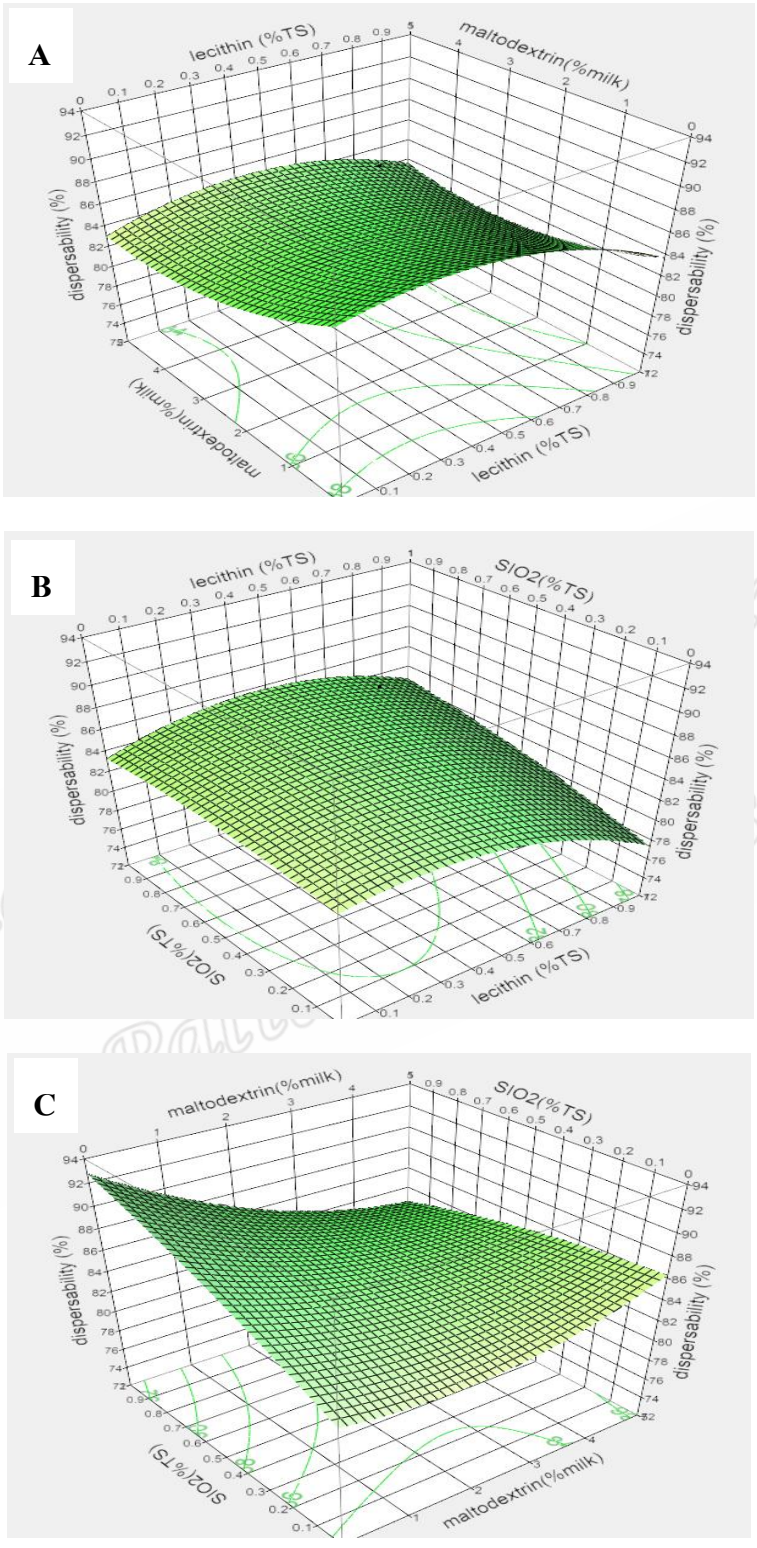
4.3.3 ผลของปริมาณเลซิทิน มอลโตเด็กซ์ทริน และซิลิกอนไดออกไซด์ ต่อค่าการกระจายตัวของนมแพะผง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเด็กซ์ทรินและเลซิทิน ต่อค่าความสามารถในการกระจายตัวของนมแพะผงดังแสดงในรูปที่ 22A พบว่า นมผงที่เติมเลซิทินร้อยละ 0.5 มีความสามารถในการกระจายตัวสูงกว่า การใช้เลซิทินที่ปริมาณมากกว่าหรือน้อยกว่านี้ ความสัมพันธ์ระหว่างมอลโตเด็กซ์ทรินและซิลิกอนไดออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 22C พบว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินและซิลิกอนไดออกไซด์ปริมาณมากจะทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของนมแพะผงลดลง เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทริน เป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสประมาณ 20 หน่วย (Guadango, 2011) เมื่อจับกับโปรตีน ทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของมอลโตเด็กซ์ทรินส่งผลให้อนุภาคนมแพะผงใหญ่ขึ้น นมแพะผงจมตัวลงอย่างรวดเร็ว จึงให้ใช้เวลาในการเปียกน้อยลงแต่ทำให้การกระจายตัวต่ำ การวัดความสามารถในการกระจายตัวของนมแพะผงวิเคราะห์โดยการนำสารละลายนม มากรองผ่านตะแกรงขนาด 220 ไมโครเมตร อนุภาคนมแพะผงที่มีขนาดเล็ก จะสามารถลอดผ่านตะแกรงได้ แต่อนุภาคนมผงที่มีขนาดใหญ่ ไม่สามารถลอดผ่านได้ จึงตกค้างอยู่บนตะแกรง ส่งผลทำให้การคำนวนค่าการกระจายตัวต่ำ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์ที่ปริมาณเลซิทินระดับต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 22B พบว่า เมื่อปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ความสามารถในการกระจายตัวของนมผงจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Monagle *et al.* (2008) รายงานว่า ความสามารถในกากระจายตัวของนมผงที่ผ่านการเติมสารเลซิทินร้อยละ 1.4 ร่วมกับ Sipernat 22S (ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 98) ในปริมาณร้อยละ 0.6 มีความสามารถในการกระจายตัวเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 98.9 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีค่าการกระจายตัวร้อยละ 73.3

ผลจากการทดลองนี้พบว่าการเติมเลซิทินที่ระดับร้อยละ 0.5 และซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักของแข็งในน้ำนมทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของนมแพะผงมีค่าการกระจายตัวสูงสุดที่ร้อยละ 98.16 (ตารางภาคผนวกที่ 5)

Prince of Songkla University Pattani Campus



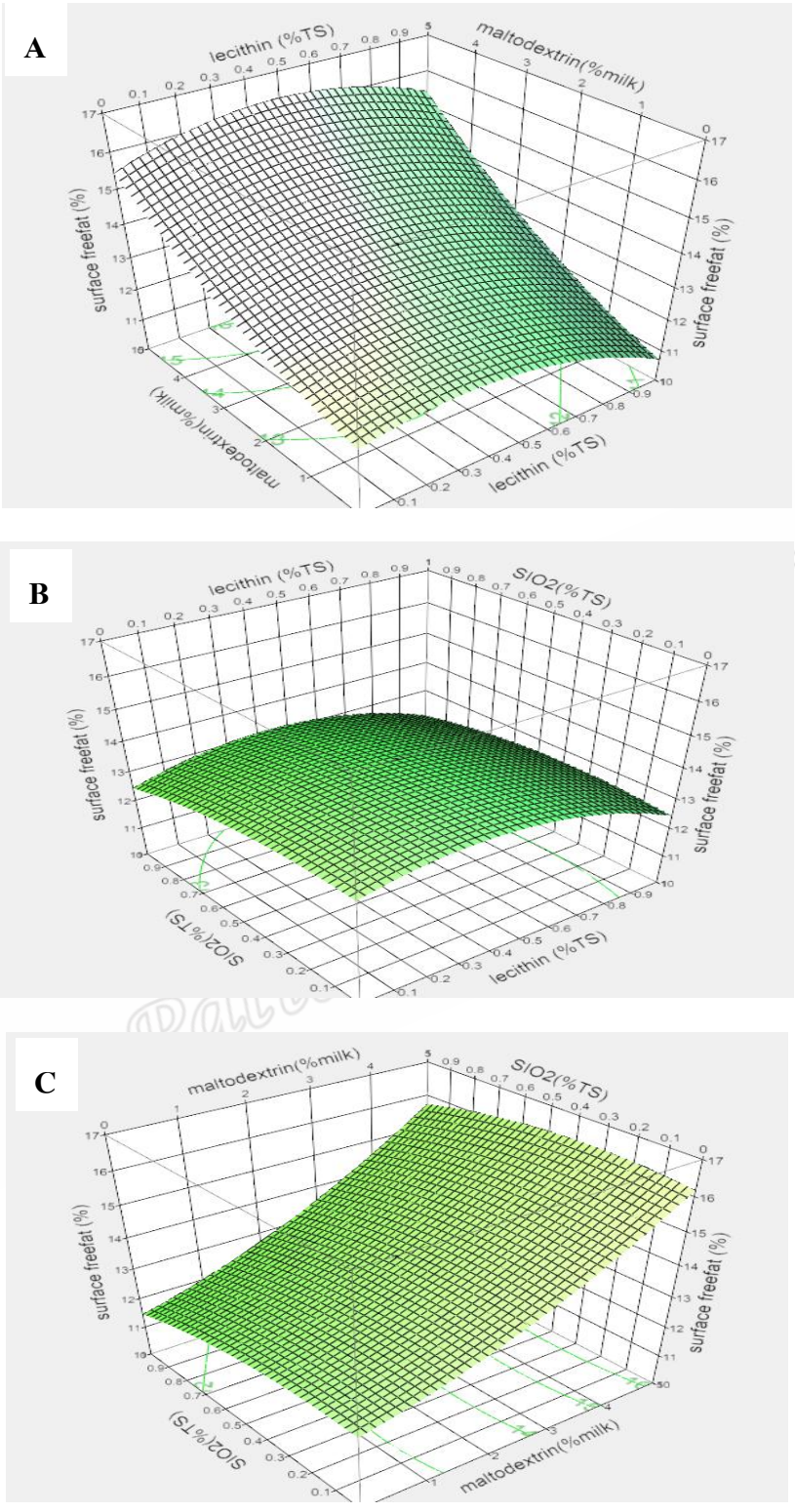
รูปที่22 ความสัมพันธ์ของปริมาณเลซิทินและมอลโตเด็กซ์ทริน (A) ปริมาณเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ (B) ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์และมอลโตเด็กซ์ทริน (C) ต่อค่าการกระจายตัวของนมแพะผง

4.3.4 ผลของปริมาณเลซิทิน มอลโตเด็กซ์ทริน และซิลิกอนไดออกไซด์ ต่อปริมาณไขมันที่ผิวอนุภาคนมแพะผง

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณไขมันที่ผิวอนุภาคนมแพะผง ดังแสดงในรูปที่ 23A และ 23C ที่ระดับเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ใดๆ พบว่า เมื่อเติมมอลโทเด็กซ์ทรินมากขึ้น ปริมาณไขมันที่ผิวของอนุภาคนมแพะผงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้ เนื่องจาก มอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารช่วยในการยึดเกาะ มีคุณสมบัติเป็น wall material ที่กักเก็บและป้องกันสารที่มีความไวต่อความร้อน (Onwulata, 2005) มอลโตเด็กซ์ทรินมีพันธะ $\alpha(1\longrightarrow4)$ ไกลโคซิดิก ($\alpha(1\longrightarrow4)$ glycosidic bonds) ประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิล สามารถสร้างพันธะกับไขมันได้ จึงยึดไขมันให้อยู่ที่ผิวของอนุภาคผง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 23B พบว่า การใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ และเลซิทินในระดับที่ร้อยละ 0-1 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันที่ผิวของอนุภาค ปริมาณไขมันที่ผิวอยู่ในช่วงร้อยละ 12-13 (รูปที่ 23B)

ผลจากการทดลองนี้พบว่าการเติมเลซิทินที่ระดับร้อยละ 0.5 และซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักของแข็งในน้ำนม ร่วมกับมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำนม ทำให้นมแพะผงมีปริมาณไขมันที่ผิวต่ำสุดที่ร้อยละ 10.20 (ตารางภาคผนวกที่ 5)

Prince of Songkla University Pattani Campus

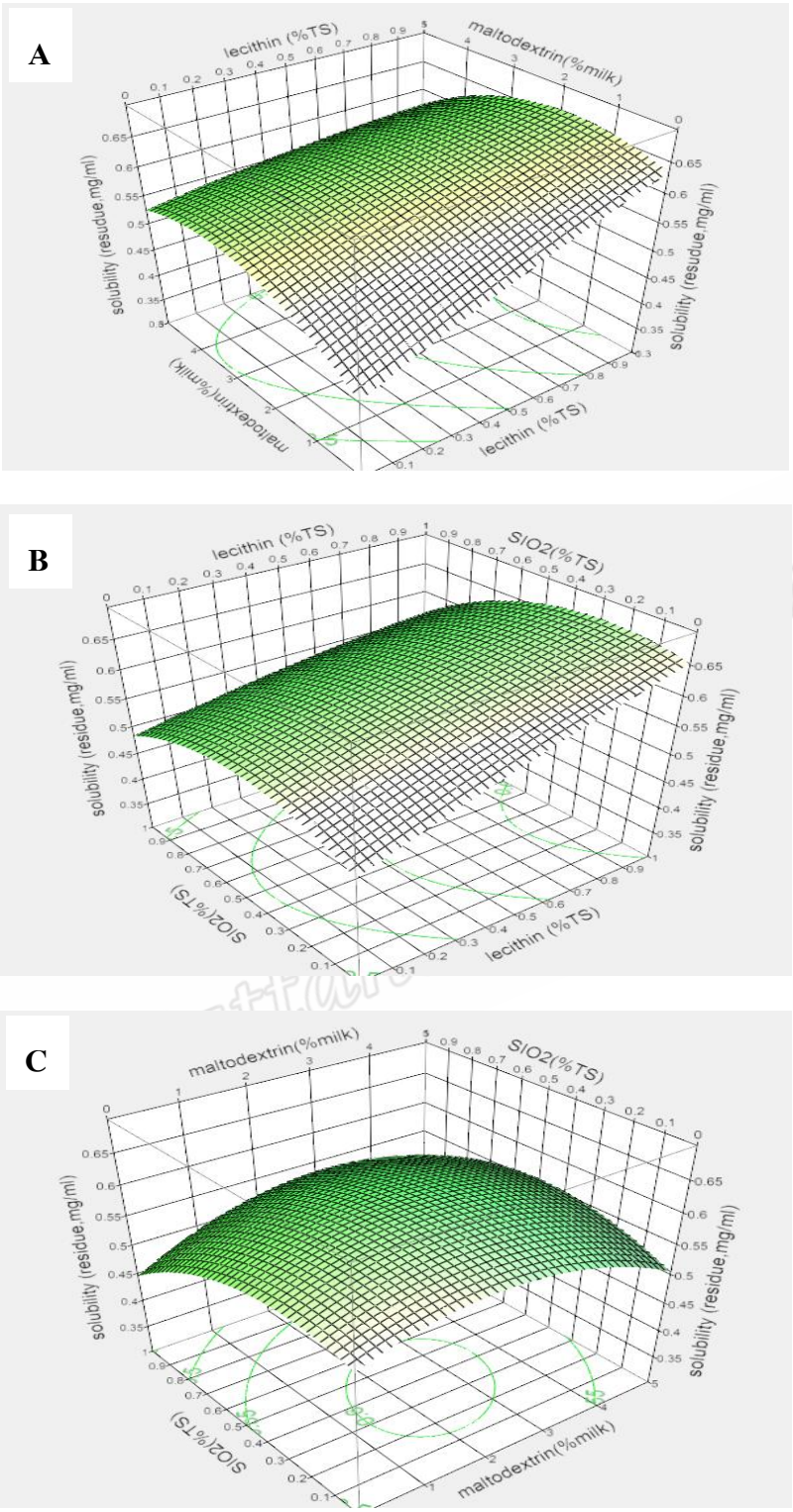


รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ของปริมาณเลซิทินและมอลโทเด็กซ์ทริน (A) ปริมาณเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ (B) ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์และมอลโทเด็กซ์ทริน (C) ต่อปริมาณไขมันที่ผิวของนมแพะผง

4.3.5 ผลของปริมาณเลซิทิน มอลโตเด็กซ์ทริน และซิลิกอนไดออกไซด์ ต่อความสามารถในการละลายของนมแพะผง

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของนมแพะผงโดยการชั่งน้ำหนักปริมาณตะกอนของสารละลาย ถ้าตัวอย่างมีน้ำหนักตะกอนมาก แสดงว่ามีความสามารถในการละลายต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 24 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเลซิทินและมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความสามารถในการละลายของนมแพะผงพบว่า ที่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินระดับใดๆ เมื่อปริมาณเลซิทินเพิ่มขึ้น จะมีตะกอนจากการละลายมากขึ้น แต่ปริมาณตะกอนน้อยมากเพียง 0.65 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ทำให้ตะกอนจากการละลายมีค่าน้อยลง เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทริน มีส่วนช่วยในการละลาย (Schenck and Hebeda, 1992) มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสตาร์ชที่ถูกไฮโดรไลส์ด้วยกรดหรือเอนไซม์ มีค่า dextrose equivalency (DE) น้อยกว่า 20 ซึ่งสามารถละลายน้ำได้อย่างรวดเร็ว (นิธิยา, 2543) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของซิลิกอนไดออกไซด์ที่มอลโตเด็กทรินซ์และเลซิทินระดับต่างๆ พบว่าปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์มากขึ้น ตะกอนจากการละลายจะมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ จะแตกตัวให้โมเลกุลของซิลิกอนไอออน (Si^{+}) สามารถจับกับไฮโดรเจนไอออน (H^{+}) ในน้ำ จึงทำให้นมผงละลายได้ดี ทั้งนี้ ปริมาณตะกอนจากสารละลายในทุกชุดการทดลองยังคงอยู่ในเกณฑ์กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมผง (มอก.391-2524) ที่ระบุให้มีปริมาณตะกอนจากการละลายของนมผงไม่เกิน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

Prince of Songkla University Pattani Campus



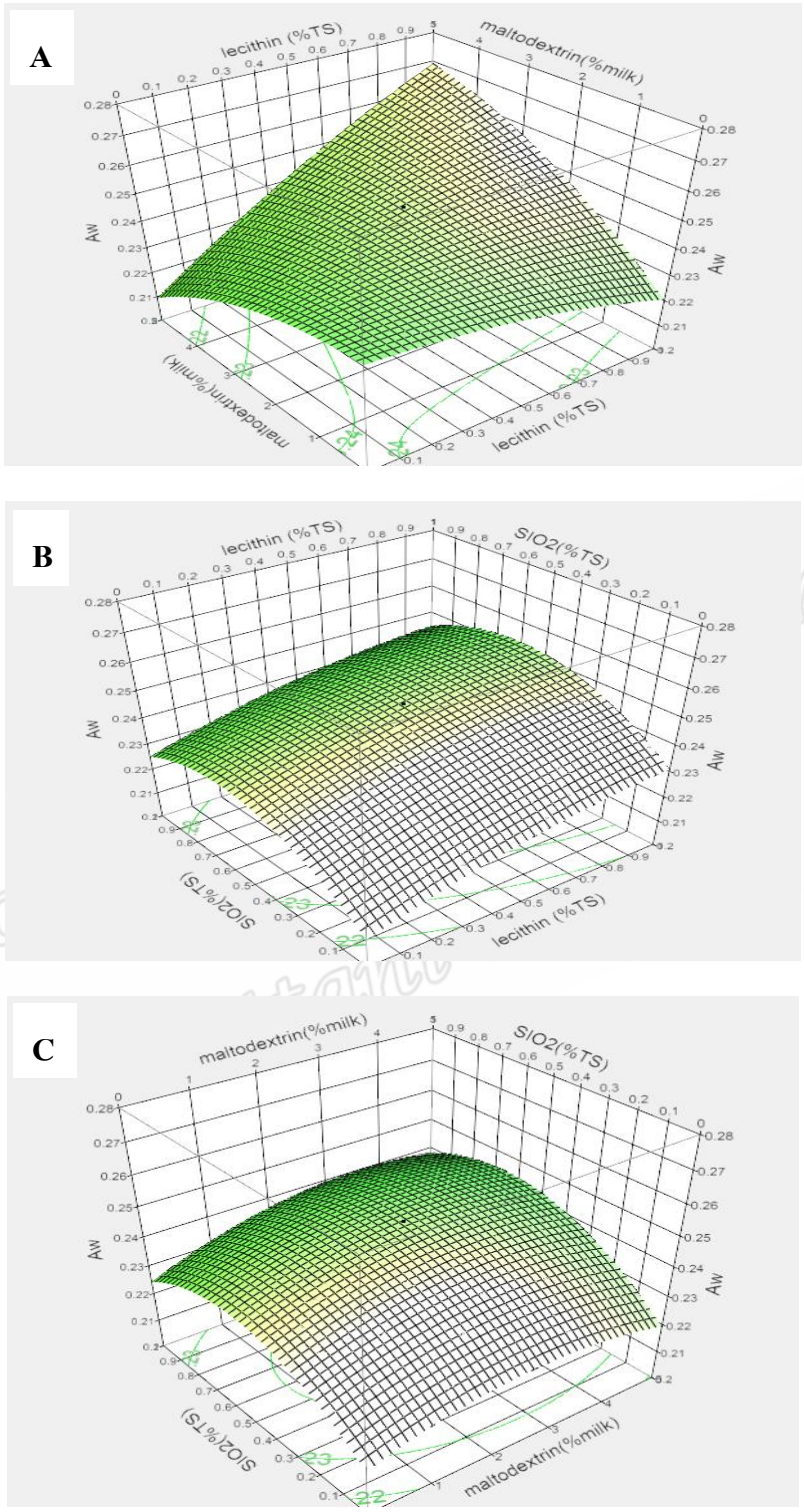
รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ของปริมาณเลซิทินและมอลโทเด็กซ์ทริน (A) ปริมาณเลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ (B) ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์และมอลโทเด็กซ์ทริน (C) ต่อความสามารถในการละลายของนมแพะผง

4.4.6 ผลของปริมาณเลซิทิน มอลโตเด็กซ์ทริน และซิลิกอนไดออกไซด์ ต่อปริมาณน้ำอิสระในนมแพะผง

ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (water activity, A_w) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำในอาหารและความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน (Fennema, 1996) ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร เป็นดัชนีที่สำคัญสำหรับอาหารแห้งเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของอาหาร ซึ่งจะแตกต่างจากความชื้นโดยปริมาณน้ำอิสระในอาหารคือปริมาณน้ำที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการเกิดพันธะใด ๆ และจะอยู่ภายในช่องว่างของอาหารซึ่งจะส่งผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีใดๆ ในขณะที่ความชื้นในอาหาร เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร ได้แก่ ส่วนของน้ำที่เกาะติดกับอาหาร หรือเป็นน้ำถูกใช้ไปในการสร้างพันธะต่าง ๆ เช่น พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจนรวมถึงปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในอาหาร เมื่อค่า A_w สูงแสดงว่ามีปริมาณน้ำอิสระในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้อายุการเก็บรักษาอาหารสั้นลง โดยทั่วไปอาหารที่มีค่า A_w น้อยกว่า 0.6 สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ระดับเลซิทินใดๆ (25A) และที่ระดับซิลิกอนไดออกไซด์ใดๆ (25B) พบว่า ค่า A_w อยู่ในช่วง 0.17-0.28 (ตารางภาคผนวกที่ 6) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ค่า A_w ของนมผงที่กำหนดให้นมผงมีค่า A_w น้อยกว่า 0.6 (วิลาวัลย์, 2539) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินจะประกอบด้วยสารประกอบคาร์บอนิลที่มีประจุลบ สามารถจับตัวกับประจุบวกไฮโดรเจนในน้ำ ทำให้เกิดผลึก จึงเป็นการลดปริมาณน้ำอิสระลง เมื่อยิ่งเติมมอลโต-เด็กซ์ทรินมากขึ้น ปริมาณน้ำอิสระในนมผงจึงลดลง (ณรงค์, 2538) ส่วนการเพิ่มปริมาณเลซิทินจากร้อยละ 0-1 ของปริมาณของแข็งในน้ำนม ส่งผลให้ ค่า A_w มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับปริมาณความชื้น

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์ที่ระดับเลซิทินใดๆ (25B) และที่ระดับมอลโตเด็กซ์ทรินใดๆ (25C) พบว่า ค่า A_w ของนมแพะผงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ แต่ค่า A_w ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.17-0.28 เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ มีลักษณะโครงสร้างเป็นโพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดความชื้นจำนวนมากและให้ความคงตัวสูง และสามารถแตกตัวให้โมเลกุลของซิลิกอนไอออน (Si^+) สามารถจับกับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ของน้ำได้ จึงเป็นการลดปริมาณน้ำอิสระในนมผง



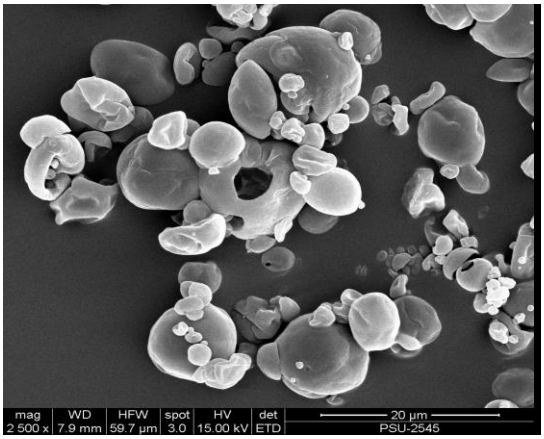
รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ของปริมาณเลซิทินและมอลโทเด็กซ์ทริน (A) ปริมาณเลซิทินและซิลิกอน - ไดออกไซด์ (B) ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์และมอลโทเด็กซ์ทริน (C) ต่อปริมาณน้ำอิสระของนมแพะผง

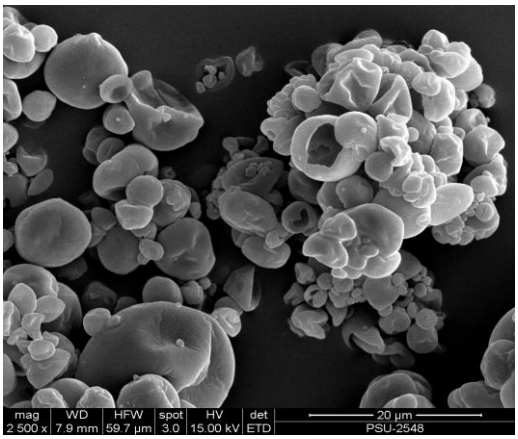
4.4.7. ผลของปริมาณเลซิทิน มอลโตเด็กซ์ทริน และซิลิกอนไดออกไซด์ ต่อลักษณะของอนุภาคนมแพะผง

ลักษณะของอนุภาคนมแพะผงผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงดังรูปที่ 26 ในการทดลองมีการใช้ปริมาณของวัตถุเจือปนอาหารที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบลักษณะอนุภาคนมแพะผงจากการผสม วัตถุเจือปนอาหาร 3 ชนิด โดย X_1 คือ ปริมาณเลซิทิน (ร้อยละของปริมาณของแข็งในน้ำนม) X_2 คือ ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน (ร้อยละของปริมาณน้ำนม) X_3 คือ ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (ร้อยละของปริมาณของแข็งในน้ำนม) ในการทดลองผลิตนมแพะผงโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 100 องศาเซลเซียส ทำให้นมแพะผงมีรอยแตก เช่นเดียวกับที่พบในการทดลองข้อ 4.2 เนื่องจากเกิดแรงดันสูงระหว่างการระเหยของน้ำ ดันผนังอนุภาคทำให้เกิดรอยแยก ดังนั้นจึงพบรอยแตกเกิดขึ้นในทุกชุดของการทดลอง การเปรียบเทียบลักษณะอนุภาคของนมแพะผงที่ผลิตจากสัดส่วนของวัตถุเจือปนอาหารระดับสูงสุดและต่ำสุด พบว่า การใช้เลซิทินและซิลิกอนไดออกไซด์ที่ระดับร้อยละ 0 (ของปริมาณของแข็งในน้ำนม) เปรียบเทียบกับที่ระดับร้อยละ 1 (ของปริมาณของแข็งในน้ำนม) และมอลโตเด็กซ์ทรินที่ระดับ ร้อยละ 0 (ของปริมาณน้ำนม) เปรียบเทียบกับที่ระดับร้อยละ 5 (ของปริมาณน้ำนม) อนุภาคนมแพะผงที่ได้มีลักษณะไม่แตกต่างกัน

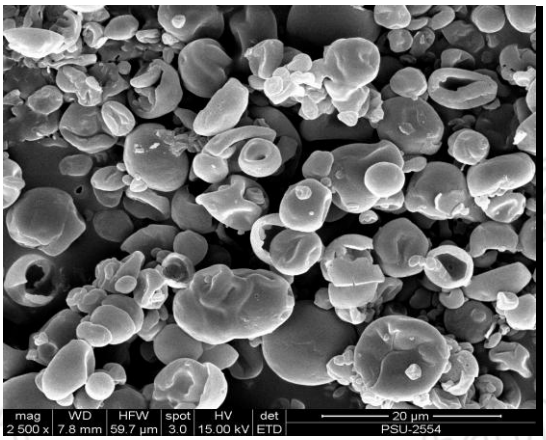
Prince of Songkla University Pattani Campus

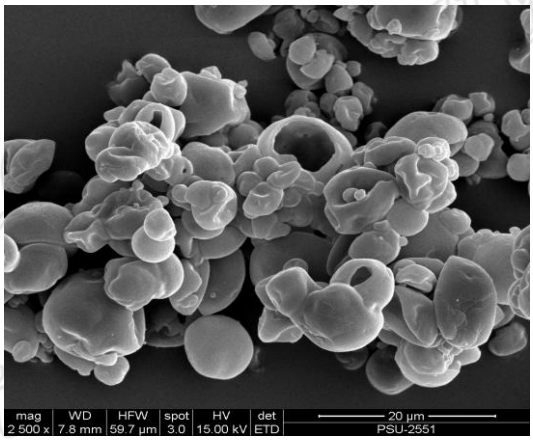
[A] $X_1:X_2:X_3$ =1:2.5:0.5 **[B]** $X_1:X_2:X_3$ = 0:2.5:0.5



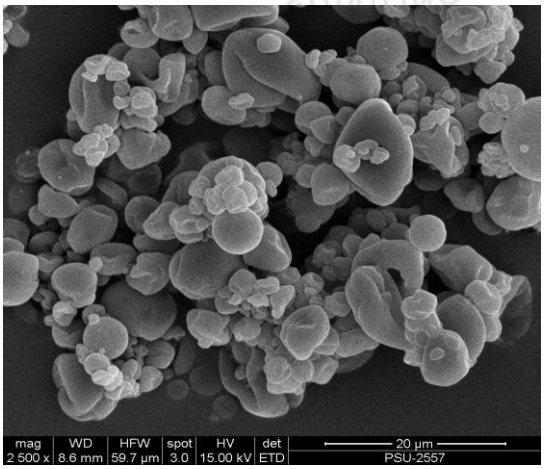


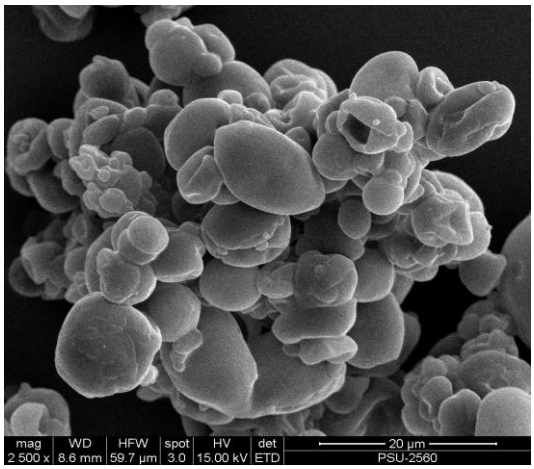
[C] $X_1:X_2:X_3$ = 0.5:0:0.5 **[D]** $X_1:X_2:X_3$ = 0.5:5:0.5





[E] $X_1:X_2:X_3$ =0.5:2.5:1 **[F]** $X_1:X_2:X_3$ = 0.5:2.5:0





รูปที่ 26 อนุภาคนมแพะผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด กำลังขยาย 2500x ที่มีปริมาณวัตถุเจือปนอาหารแตกต่างกัน [A], [B] และ [C] โดยที่ X_1, X_2 และ X_3หมายถึงสัดส่วนของเลซิทินมอลโทเด็กซ์ทรินและซิลิกอนไดออกไซด์ตามลำดับ