



องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมแพะ
และผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของนมแพะผง

Chemical Composition of Goat Milk and Effect of
Spray Drying Conditions on Qualities of Goat Milk Powder

นุชเนตร ตาเยะ¹ ธรรมรัตน์ สัมมะวัฒนา¹ และ พชรินทร์ ภักดีฉนวน^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในน้ำนมแพะดิบ และสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ปริมาณของแข็งและอุณหภูมิลมร้อนขาออกที่เหมาะสมในการผลิตนมแพะผง ผลการวิจัยพบว่า น้ำนมแพะจากฟาร์มจังหวัดยะลา มีปริมาณไขมัน โปรตีนและปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 3.45 ± 0.04 3.95 ± 0.01 และ 12.53 ± 0.15 ตามลำดับ มีปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส 114.93 และ 98.62 mg/100 g มีปริมาณกรดไขมันชนิดความยาวสายโซ่สั้นและความยาวสายโซ่ปานกลางอยู่ในช่วงร้อยละ 25.20 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด และมีปริมาณเบตาเคซีน สูงถึงร้อยละ 77.40 ของโปรตีนเคซีนทั้งหมด การผลิตนมผงจากน้ำนมแพะดิบที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 12 และ 24 และอุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 80 °C และ 100 °C วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2x3 รวม 6 สภาวะ โดยตั้งอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 180 °C พบว่า เมื่อปริมาณของแข็งและอุณหภูมิลมร้อนขาออกเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันที่ผิวลดลง ใช้เวลาในการทำให้เปียกลดลง และมีค่าการกระจายตัวของนมผงเพิ่มขึ้น การใช้น้ำนมแพะที่ปรับปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 24 ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาออก 100 °C ให้นมผงที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.69 ใช้เวลาในการทำให้เปียกน้อยที่สุดที่ 22.33 วินาที และมีค่าการกระจายตัวสูงสุดที่ร้อยละ 76.65 จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตนมแพะผงในการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะของอนุภาคนมแพะผงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า การใช้น้ำนมดิบที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 24 ผลิตนมผง ได้อนุภาคนมผงที่มีขนาดเล็กกว่า และขนาดสม่ำเสมอน้อยกว่าการใช้น้ำนมดิบที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 12 และการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาออกระดับ 100 °C ทำให้น้ำนมของอนุภาคนมผงมีความสม่ำเสมอ น้อยกว่าการใช้อุณหภูมิ 80 °C และพบการเกิดรอยแตกและรูที่ผิวของอนุภาคนมผง

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.ปัตตานี 94000

*Corresponding Author, E-mail: patcharin.psu@gmail.com

ABSTRACT

This research studied on chemical composition content of raw goat milk and optimal condition of spray dried goat milk process; total solid content of raw milk and air outlet temperatures. The result indicated that the contents of fat, protein and total solid of raw goat milk from goat farm in Yala province were 3.45 ± 0.04 , 3.95 ± 0.01 and $12.53 \pm 0.15\%$, respectively. It contained 114.93 mg calcium/100 g milk and 98.62 mg phosphorus/100 g milk, short and medium chain fatty acids were 25.20% of total fatty acid and had high content of β -casein 77.40% of total casein protein. Producing of spray dried goat milk conducted by using 2×3 Factorial in Complete Randomized Design studied on effects of two different total solid contents of raw milk (TS); 12 and 24% and three different air outlet temperatures (T_{out}) 80, 90 and 100°C with fixed air inlet temperatures at 180°C . The results indicated that the T_{out} and TS had significant effect on some physical properties of goat milk powder. Increasing of T_{out} and TS resulted in decreased moisture content and surface free fat, reduced wetting time and increased dispersibility of goat milk powder. The optimal condition in this study has been obtained at T_{out} 100°C with 24% TS. The goat milk powder from this condition had moisture content 2.69%, lowest wetting time at 22.33 s and highest dispersibility of 76.65%. Microstructure of goat milk powder determined by using a scanning electron microscope (SEM) revealed that at 24% TS, size of milk powders were smaller and less uniform than those performed by using 12% TS. Milk powders obtained at T_{out} 100°C had less relatively uniform than those obtained at 80°C and showed partially cracking and hole at the powder surface.

คำสำคัญ: นำนมแพะ นมแพะผง การทำแห้งแบบพ่นฝอย

Keywords: Goat milk, Goat milk powder, Spray drying

บทนำ

นํานมแพะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดี มีโปรตีนเคซีนชนิดเบตาเคซีนอยู่ในปริมาณมากคือ ร้อยละ 70.2 (Montilla et al., 1995) โปรตีนชนิดนี้มีสมบัติพิเศษคือ เป็นแหล่งของเปปไทด์ที่มีสมบัติช่วยในการดูดซึมเกลือแร่ (Farrell et al., 2004) ด้านภาวะความดันโลหิตสูง ป้องกันโรคเบาหวาน และโรคที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือด และหัวใจ (Kamiński et al., 2007) ไขมันในนํานม

แพะมีปริมาณกรดไขมันสายโซ่ขนาดสั้นและขนาดปานกลางในปริมาณมาก สามารถย่อยและดูดซึมได้เร็ว (Almass et al., 2006) และมีเม็ดไขมันขนาดเล็กเฉลี่ย 2.97 ไมครอน (Attaie and Richtert, 2000) ทำให้อาหารไขมันในนํานมแพะ กระจายตัวได้ดี

ปริมาณนํานมแพะดิบจะแปรผันตามฤดูกาล และการจัดการ การแปรรูปเป็นนมแพะผง จะช่วยเพิ่มทางเลือกในการแปรรูปในช่วงที่มีปริมาณนํานมมาก เพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์มีอายุ

การเก็บยาวนาน น้ำหนักเบา ลดต้นทุนการขนส่ง และเพิ่มความสะดวกในการกระจายสินค้าสู่ท้องตลาด และที่สำคัญที่สุดคือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงถึงประมาณ กิโลกรัมละ 850-950 บาท การทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีพื้นฐานในการผลิตนมผงโดยเฉพาะน้ำมันโค เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการสัมผัสกับความร้อนสั้น มีอัตราการระเหยน้ำสูง สามารถรักษาคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ได้ดีและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่ องค์ประกอบของน้ำมันโคแตกต่างจากน้ำมันแพะ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกความร้อนที่ต่างกัน (Heilig et al., 2008) จึงควรมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตนมแพะผง โดยปัจจัยที่มีอิทธิพล ต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ อุณหภูมิลมร้อน อัตรา การป้อนวัตถุดิบ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งจะมีผลต่อ ลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เช่น ขนาดของอนุภาค ความชื้น ความสามารถในการเปียกน้ำและ ความสามารถในการกระจายตัว (Jinapong et al., 2008; Kim et al., 2009; Amiri-Rigi et al., 2012)

งานวิจัยนี้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีใน น้ำมันแพะดิบ และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตนม แพะผงโดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ปริมาณ ของแข็งในน้ำมันแพะและอุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ใช้ ในการทำแห้งต่อลักษณะทางเคมีและกายภาพบาง ประการของนมแพะผง

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำมันแพะ

น้ำมันแพะที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันแพะดิบจากสลิมฟาร์ม จังหวัดยะลา ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 ± 2 °C ก่อนการทดลองในทุกขั้นตอนจะมีการตรวจ วิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้นของน้ำมันแพะตามมาตรฐาน สินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 6006-2551)

ดังนี้ ทดสอบการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ (alcohol test) ทดสอบการตกตะกอนด้วยการต้ม (clot on boiling test) ตรวจสอบค่าความเป็นกรด-เบส ของ น้ำมันโดยเครื่อง pH meter ปริมาณไขมันนมด้วยวิธี เกอเบอร์ (Gerber butterfat test) ทดสอบคุณภาพ ทางจุลินทรีย์ของน้ำมันด้วยวิธีทดสอบเมธิลีนบลู (Methylene blue test) และวิเคราะห์หาค่าความ ถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของน้ำมัน โดยใช้แลค- โทมิเตอร์ น้ำมันที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวจึงจะนำมาใช้ ใน การทดลอง

2. องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันแพะดิบ

2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันแพะดิบ ด้วยเครื่อง มิลค์ อนาไลเซอร์ (milk analyzer: Lactoscan 3510) คือ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเนื้อมันรวมไขมันเนย ปริมาณแลคโทส และ ปริมาณเกลือแร่

2.2 วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยวิธี atomic absorption spectroscopy (AAS; 100 Analyzer, Perkin Elmer, Germany) (AOAC, 2000) โดยชั่งตัวอย่างน้ำมัน 2.5 กรัม ใส่ในหลอดย่อย เติม กรด HNO_3/HCl ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และย่อยที่อุณหภูมิ $120-150$ °C เป็นเวลา 60 นาที เติมน้ำในขวดปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ไปเป็ด สารละลายที่ได้ 0.5 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนเพื่อปรับ ปริมาตร และฉีดตัวอย่างเข้าเครื่อง AAS ทำกราฟ มาตรฐานโดยใช้สารมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 และ 10 ppm

2.3 วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส ด้วยเทคนิค inductive coupled plasma/optical emission spectrometry (ICP-OES) โดยส่งวิเคราะห์ที่บริษัท

ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาจังหวัดสงขลา

2.4 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันด้วยวิธี gas chromatography สกัดไขมันตามวิธีของ Lepage and Roy (1986) โดยชั่งตัวอย่างน้ำมันปริมาณ 2 กรัม สกัดไขมันด้วยคลอโรฟอร์ม/เมทานอล ในอัตราส่วน 2:1 (v/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรอง และเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้นร้อยละ 0.88 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 15 °C นาน 15 นาที นำสารละลายชั้นล่างมาทำเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) ตามวิธีของ Yu et al. (2002) ดังนี้ ชั่งน้ำหนักสารละลายจากขั้นตอนการสกัดไขมัน 1 กรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์ เติม 0.5 N NaOH-MeOH ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร แล้ววางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที เติม 4% HCl-MeOH ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยการ vortex mixer แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร และเฮกเซน 5 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้น ไปเปิดสาร fatty acid methyl ester ใส่ในบีกเกอร์ขนาดเล็ก กำจัดน้ำด้วยการเติมโซเดียมซัลเฟต ฉีดตัวอย่างปริมาตร 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง gas chromatography (GC HP 6890N) โดยใช้ flame ionization detector คำนวณร้อยละของกรดไขมันแต่ละชนิดต่อปริมาณกรดไขมันทั้งหมด

2.5 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนเคซีนชนิด α 1-casein, α 2-casein, β -casein และ κ -casein ด้วยการใช้เทคนิค sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS/PAGE) (Criscione et al., 2009) โดยใช้ β -casein เป็นสาร

มาตรฐาน ร่วมกับการเปรียบเทียบรูปแบบโปรตีนกับงานวิจัยอื่น และงานวิจัยก่อนหน้าในห้องปฏิบัติการเตรียมตัวอย่างโดยนำน้ำมันแพะดิบมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,700 g อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำการแยกไขมัน ตกตะกอนโปรตีนด้วย 1 M HCl ที่ pH 4.6 ล้างตะกอนโปรตีนด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionize water) ทำการระเหิดแห้งตัวอย่างเป็นเวลา 15 ชั่วโมง แยกชนิดของโปรตีนเคซีนโดยใช้ 4% stacking gel และ 15% separate gel วิเคราะห์ปริมาณ เคซีนแต่ละชนิดด้วยเครื่อง Densitometer GS-800 (BIO-RAD)

3. ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำมันและอุณหภูมิความร้อนขาออกต่อคุณภาพของนมแพะผง

น้ำมันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มกอช. 6006-2551 จึงจะนำมาใช้ในการผลิตนมผงโดยมีผังการผลิตดังแสดงในรูปที่ 1 ศึกษาผลของปริมาณของแข็งในน้ำมัน 2 ระดับโดยที่ระดับของแข็งเริ่มต้นร้อยละ 12 ± 1 และปรับปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 24 ± 1 โซโมจิไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์แบบ 2 สเตท (model PH 100) พาสเจอร์ไร้น้ำมัน และนำน้ำมันเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (GEA, mobile minor) โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำมันก่อนป้อนเข้าเครื่องที่ 50 °C ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) กำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมร้อนขาออก 3 ระดับคือ 80 ± 2 90 ± 2 และ 100 ± 2 °C วางแผนการทดลองแบบ 2x3 แฟกทอเรียล โดยการสุ่มสมบูรณ์ (factorial in complete randomized design) และทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์นมแพะผง ดังนี้

3.1 ปริมาณความชื้น โดยการอบตัวอย่างนมผงที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 4 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณร้อยละของปริมาณความชื้นในนมผง

3.2 เวลาที่ทำให้นมผงเปียก (wetting time) ตามวิธีของ A/S Niro Atomizer (1978) นำบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่ น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิปกติจำนวน 100 มิลลิลิตร กำหนดให้มีระยะห่างระหว่างน้ำกลั่นกับจุดปล่อยนมผง 10 เซนติเมตร นำนมผง 0.1 กรัม เทลงในบีกเกอร์ตรงจุดที่กำหนด พร้อมจับเวลาจนกว่านมผงจะเปียกน้ำทั้งหมด

3.3 การกระจายตัว (dispersibility) ตัดแปลงจากวิธีของ A/S Niro Atomizer (1978) ใส่ น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิปกติจำนวน 10 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร นำนมผง 1 กรัม เทลงในบีกเกอร์ คนด้วยแท่งแก้วเป็นเวลา 15 วินาที กรองสารละลายผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 220 ไมครอน ไปเปตสารละลายที่ผ่านตะแกรงร่อน 1 มิลลิลิตร ลงไปในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว พร้อมชั่งน้ำหนักสารละลาย นำถ้วยอะลูมิเนียมที่ใส่สารละลายที่ได้ไปอบที่ 105 °C นาน 4 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณร้อยละของความสามารถในการกระจายตัวจาก

$$\% \text{ dispersibility} = \frac{[10 + a] \times \%TS}{a \times \frac{100 - b}{100}}$$

a = น้ำหนักนมผง (กรัม)

b = ร้อยละของความชื้นของนมผง (w/w)

% TS = ปริมาณของแข็งในสารละลายนมผงที่ผ่านตะแกรงร่อน (w/v)

3.4 ปริมาณไขมันอิสระที่ผิวของอนุภาคผง (surface free fat extraction) ตามวิธีของ Kim et al. (2000) โดยชั่งน้ำหนักนมผง 1 กรัม บนกระดาษกรองเบอร์ 4 ล้างด้วยเฮกเซน ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

จำนวน 4 ครั้ง นำสารละลายที่ได้ไประเหยภายใต้ภาวะสุญญากาศ ด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ ob receiving flask จนน้ำหนักคงที่และคำนวณปริมาณไขมันที่ผิวจาก

$$\text{surface free fat} = \frac{[f2 - f1]}{a} \times 100$$

f2 = receiving flask หลังอบ (กรัม)

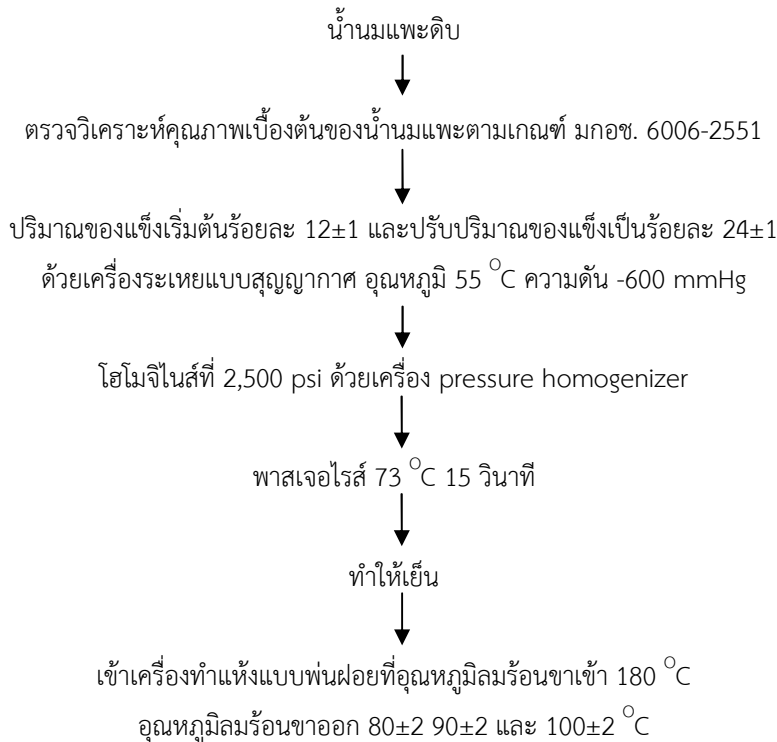
f1 = receiving flask ก่อนอบ (กรัม)

a = น้ำหนักนมผง (กรัม)

3.5 ความสามารถในการละลาย (solubility index) ตามวิธีของ A/S Niro Atomizer (1978) โดยเตรียมสารละลายนมผงให้มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 3 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายไปเซนตริฟิวกที่ 700 xg นาน 5 นาที เติมน้ำและเซนตริฟิวกอีกครั้ง อ่านปริมาณตะกอนที่ได้ ซึ่งปริมาณตะกอนตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.391-2524 ต้องต่ำกว่า 1 มิลลิลิตร

3.6 ลักษณะอนุภาคนมผง ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) โดยใช้ตัวอย่างนมผงมาประกบบนฐานอลูมิเนียมและเคลือบด้วยทอง ถ่ายภาพด้วยเครื่อง electron microscope (Quanta 400; FEI, Czech Republic) กำลังขยาย 500x โดยใช้กำลังไฟฟ้า 10 kV

ข้อมูลที่ต้องเปรียบเทียบนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมนมแพะผง

ผลการทดลอง

1. องค์ประกอบทางเคมีของนํ้านมแพะดิบ

องค์ประกอบทางเคมีของนํ้านมแพะที่นำมาทดลองครั้งนี้นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2551) ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของนํ้านมแพะดิบจากโครงการศึกษาการเลี้ยงแพะนม และองค์ประกอบของนํ้านมแพะของประเทศไทย จากการทดลองพบว่านํ้านมแพะจากสลิม ฟาร์ม จังหวัดยะลา มีปริมาณไขมัน โปรตีน และน้ำตาลแลคโทส ร้อยละ 3.45±0.04 3.95±0.01 และ 5.81±0.02 ตามลำดับ มีปริมาณเกลือแร่ร้อยละ 0.91±0.01 และปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 12.53±0.15 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2551) พบว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน และปริมาณของแข็งอยู่ในเกณฑ์ “ดี” ตามเกณฑ์การแบ่ง

ชั้นคุณภาพนํ้านมแพะดิบ ปริมาณโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกับการรายงานของ Laura et al. (2009) ที่รายงานปริมาณโปรตีนในนํ้านมแพะร้อยละ 3.48 และมากกว่าการทดลองของ Torii et al. (2004) ที่รายงานว่ามีปริมาณไขมัน โปรตีนและของแข็งทั้งหมดของนํ้านมแพะดิบในประเทศบราซิลอยู่ในช่วงร้อยละ 2.65-2.88 2.84-2.97 และ 10.04-10.22 ตามลำดับ

2. ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยเทคนิค AAS พบว่า ตัวอย่างนํ้านมแพะมีแคลเซียม 114.93 mg/100 g นํ้านม โดยมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Ljutavac et al. (2008) ซึ่งพบปริมาณแคลเซียมในนํ้านมแพะปริมาณ 126 mg/100 g นํ้านม เมื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเทคนิค ICP/OES พบว่านํ้านมแพะในการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัส

98.62 mg/100 g น้ํานม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Bawala et al. (2006) ที่พบปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 807-941 mg/100 g น้ํานม และมีค่ามากกว่าการรายงานของ Ljutavac et al. (2008) ที่พบปริมาณฟอสฟอรัสในน้ํานมแพะ 920 mg/100 g น้ํานม

3. รูปแบบของกรดไขมันในน้ํานมแพะ

พบกรดไขมันชนิดอิ่มตัวร้อยละ 81.13 โดยชนิดของกรดไขมันที่พบ คือ กรดคาโปรอิก (caproic acid, C:6) กรดคาปริอิก (caprylic acid, C8:0) กรดคาปริก (Capric Acid, C:10) กรดลอริก (lauric acid, C12:0), กรดไมริสติก (myristic acid, C14:0) กรดปาล์มิติก (palmitic acid, C16:0), กรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 18.85 โดยชนิดที่พบคือ กรดโอเลอิก (oleic acid, C18:1n9c) กรดลิโนลิก (linoleic acid, C18:2n6c) (ตารางที่ 1) ถ้าพิจารณาเฉพาะกรดไขมันที่มีขนาดสายโซ่สั้นรวมกับสายโซ่ปานกลางจะมีร้อยละ 25.20 ซึ่งกรดไขมันกลุ่มนี้มีผลดีต่อระบบการย่อยและการดูดซึมสามารถย่อยสลายเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว (Almass et al., 2006) และไม่ไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ (Haenlein, 2004)

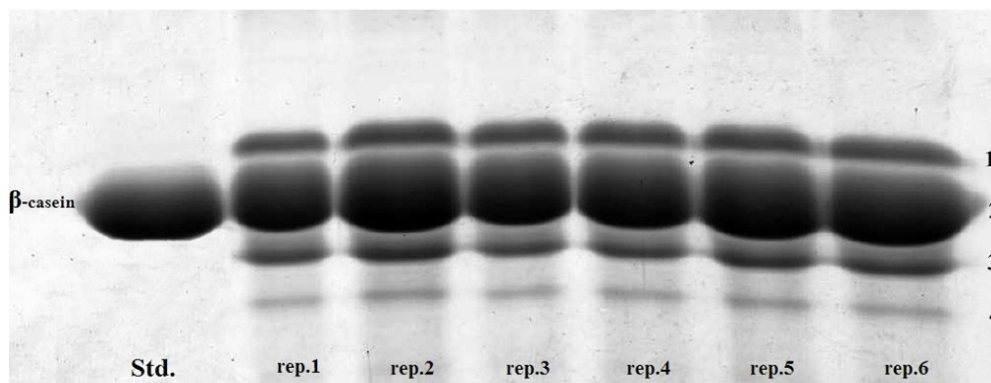
4. รูปแบบของโปรตีนเคซีนในน้ํานมแพะ

วิเคราะห์รูปแบบของโปรตีนเคซีนโดยใช้เทคนิคเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสชนิด SDS-PAGE (รูปที่ 2) พบแถบโปรตีน 4 แถบ จำแนกชนิดเป็น α s2-casein (แถบหมายเลข 1), β -casein (แถบหมายเลข 2), K-casein (แถบหมายเลข 3) และ α s1-casein (แถบ

หมายเลข 4) โดยใช้การเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน β -casein และการเปรียบเทียบกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเดียวกับผู้วิจัย ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (มณฑกานต์, 2553) ร่วมกับการเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนเคซีนแต่ละชนิด ดังนี้ α s2-casein มีน้ำหนักโมเลกุล 25,599 Da, β -casein มีน้ำหนักโมเลกุล 24,500 Da, K-casein มีน้ำหนักโมเลกุล 24,000 Da และ α s1-casein มีน้ำหนักโมเลกุล 23,264 Da (Salem et al., 2009 และ Trujillo et al., 2000) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณของโปรตีนเคซีนแต่ละชนิดต่อปริมาณโปรตีนเคซีนทั้งหมด พบว่า น้ํานมแพะในการทดลองมีปริมาณโปรตีน β -casein มากถึงร้อยละ 77.40 ± 0.59 ของปริมาณโปรตีนเคซีนทั้งหมด โปรตีนชนิดนี้มีสมบัติพิเศษคือ เป็นแหล่งของเปปไทด์ที่มีสมบัติช่วยในการดูดซึมเกลือแร่ (Farrell et al., 2004) ด้านภาวะความดันโลหิตสูง ป้องกันโรคเบาหวาน และโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ (Kamiński et al., 2007) พบโปรตีน K-casein ร้อยละ 2.50 ± 0.17 , α s2-casein ร้อยละ 18.40 ± 0.63 และ α s1-casein ร้อยละ 1.55 ± 0.17 ของปริมาณโปรตีนเคซีนทั้งหมด ซึ่งการที่พบปริมาณ α s1-casein ปริมาณน้อยจะมีข้อดี เนื่องจาก Lara-Villoslada et al. (2005) รายงานว่า โปรตีนชนิด α s1-casein เป็นสาเหตุให้เกิดอาการแพ้โปรตีนจากน้ํานมในเด็ก ซึ่งโปรตีนชนิดนี้จะพบมากในน้ํานมโค แต่พบน้อยมากในน้ํานมแพะ

ตารางที่ 1 รูปแบบและปริมาณของกรดไขมันในน้ำนมแพะ

Fatty acid	Content (%)
C6:0	2.20±0.15
C8:0	2.92±0.08
C10:0	11.36±0.52
C12:0	8.72±0.74
C14:0	14.01±0.49
C15:0	1.05±0.08
C16:0	35.32±0.16
C16:1	1.02±0.94
C18:0	5.55±0.49
C18:1n9c	15.24±0.73
C18:2n6c	2.59±0.25
Short and medium chain fatty acids	25.20
Saturated fatty acids	81.13



รูปที่ 2 รูปแบบโปรตีนเคซีนในน้ำนมแพะ; 1 = α 2-casein, 2 = β -casein, 3 = κ -casein, 4 = α 1-casein

5. ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมและอุณหภูมิร้อนขาวออกต่อคุณภาพของนมแพะผง

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำนมแพะแบบพ่นฝอย พิจารณาจากสมบัติทางกายภาพบางประการ คือ ความชื้น ความสามารถในการทำให้เปียก การกระจายตัว ปริมาณไขมันที่ผิว และการละลายของนมแพะผง พบว่า ปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบมีผลต่อสมบัติดังกล่าว โดยนมแพะผงที่ผลิต

จากน้ำนมดิบที่มีปริมาณของแข็งสูงระดับร้อยละ 24 มีสมบัติหลายประการที่ดีกว่านมแพะผงที่ผลิตจากน้ำนมดิบที่มีปริมาณของแข็งสูงระดับร้อยละ 12 (ตารางที่ 2) คือ มีการระเหยน้ำที่ดีกว่า นมผงที่ผลิตได้มีความชื้นต่ำกว่า ใช้เวลาที่ทำให้อนุภาคผงเปียกน้อยกว่า มีการกระจายตัวในน้ำที่ดีกว่า ปริมาณไขมันที่ผิวน้อยกว่า (ซึ่งส่งผลให้การเปียกและการกระจายตัวดี) แต่มีจุดที่ต่ำกว่าเล็กน้อยคือเมื่อละลายนมผงในน้ำ จะมีตะกอน

เหลือในปริมาณที่มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามในประเด็นนี้ ตะกอนที่เหลืออยู่ก็น้อยกว่า 1 มิลลิลิตร จึงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.391-2524 ซึ่งเมื่อนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อเพิ่มความชัดเจนในการเปรียบเทียบ ตะกอนมีน้ำหนักเพียง 0.11-0.17 กรัม/น้ำหนักความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

การเปรียบเทียบอุณหภูมิความร้อนขาออกในการทำแห้งที่ระดับ 80 90 และ 100 °C พบว่า นมผงที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความชื้นต่ำกว่า ใช้เวลาที่ทำให้อนุภาคผงเปียกน้อยกว่า มีการกระจายตัวในน้ำที่ดีกว่า ปริมาณไขมันที่ผิวน้อยกว่า เนื่องจาก เกิดการพอร์มตัวของอนุภาคอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ทำให้ระยะเวลาการกระจายตัวของไขมันไปยังผิวน้อยลงและเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคของแข็งขึ้น อนุภาคนมผงจะมีความหนาแน่นมากกว่าทำให้เกิดการจมตัวอย่างรวดเร็วกว่า (Kim et al., 2009) กรณีนมผง องค์ประกอบหลักของนมผง คือ ไขมัน โปรตีน และน้ำตาลแล็กโทส ระหว่างการทำแห้งและพอร์มอนุภาค ถ้าอัตราการระเหยน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว การเคลื่อนย้ายของไขมันไปที่ผิวของอนุภาคจะเกิดขึ้นน้อย ไขมันที่ผิวของอนุภาคผงจะขัดขวางการดูดซับน้ำ ดังนั้นการที่นมผงมีปริมาณไขมันที่ผิวน้อย จะใช้เวลาที่ทำให้เปียกน้อยกว่านมผงที่มีปริมาณไขมันที่ผิวมาก ถ้าพิจารณาจากสมบัติต่างๆในการทดลองนี้ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตนมผงคือการปรับปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบให้มีปริมาณร้อยละ 24 และใช้อุณหภูมิความร้อนขาออก 100 °C นมผงที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดร้อยละ 2.69 ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ร้อยละ 5 นมผงมีการกระจายตัวร้อยละ 76.65 มีระยะเวลาในการเปียกน้อยที่สุดที่ 22.33 วินาที มีค่าการละลายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์

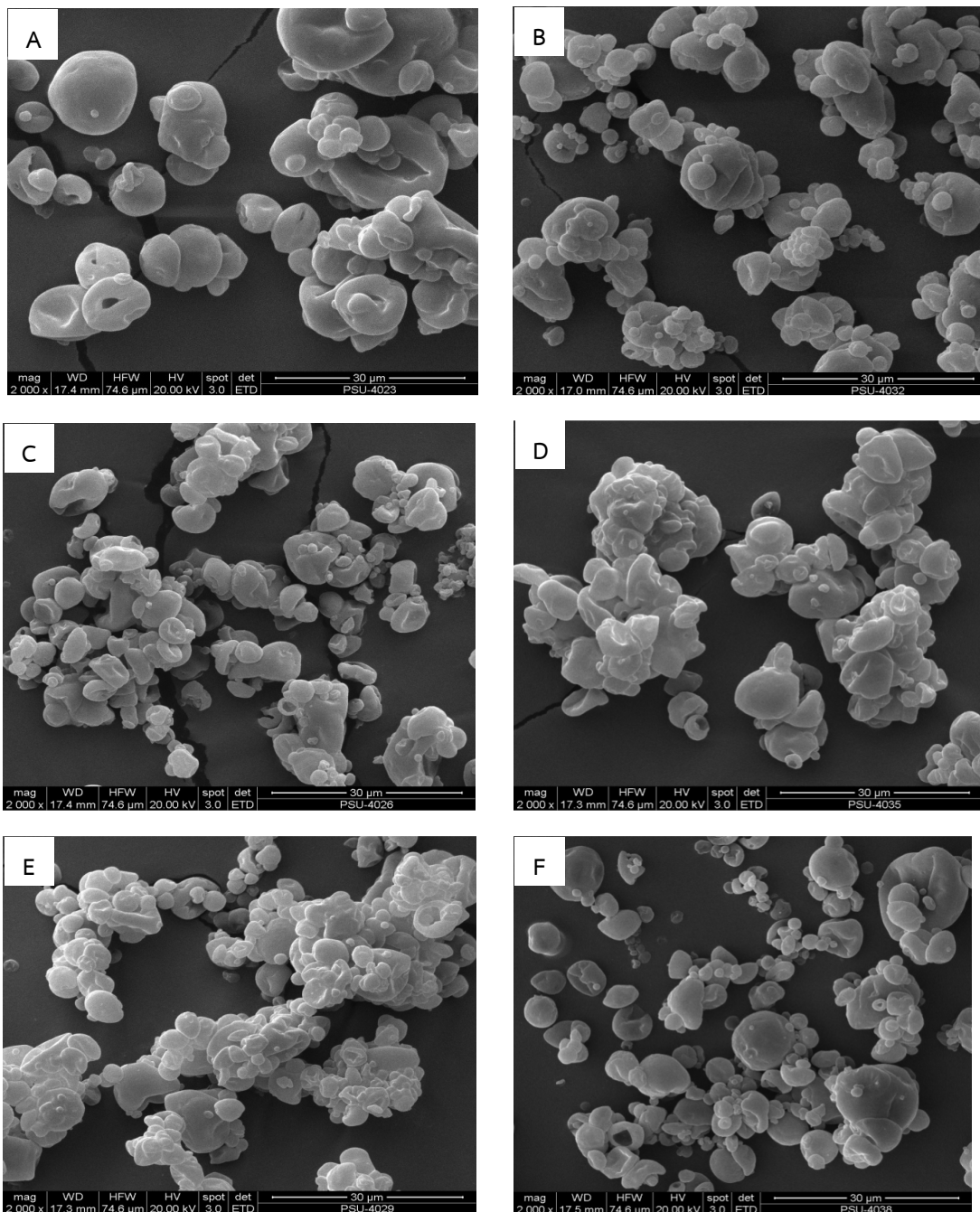
อุตสาหกรรมคือน้อยกว่า 1 มิลลิลิตร ซึ่งสมบัติต่างๆยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นกว่านี้ได้อีกโดยการให้วัตถุดิบปรุงแต่งอาหารบางชนิด เช่นสารที่ช่วยในการยึดเกาะและอิมัลซิไฟเออร์

รูปที่ 3 แสดงลักษณะของอนุภาคนมผงผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ในการทดลองมีการใช้ปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบร้อยละ 12 และ 24 และอุณหภูมิขาออกร้อยละ 80 90 และ 100 °C พบว่า ปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบที่แตกต่างกันมีผลต่อขนาดและความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาคผง ปริมาณของแข็งในน้ำนมระดับ ร้อยละ 12 จะมีขนาดอนุภาคผงที่ใหญ่กว่าและมีความสม่ำเสมอมากกว่าการใช้ปริมาณของแข็งในน้ำนมดิบร้อยละ 24 อุณหภูมิในการทำแห้งนมผงก็มีผลต่อลักษณะของอนุภาคเช่นกัน โดย การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำขนาดของอนุภาคนมผงจะมีขนาดใหญ่กว่า และมีแนวโน้มที่จะมีขนาดอนุภาคเล็กลงเมื่อใช้อุณหภูมิความร้อนขาออกในการทำแห้งที่สูงขึ้น ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า ทำให้นมผงมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำได้มากกว่า จึงส่งผลให้มีการละลายที่ดี การทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิความร้อนขาออก 100 °C จะพบรอยแตกและรูพรุนบนผิวของอนุภาคผงได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 3F) เนื่องจากเกิดแรงดันสูงระหว่างการระเหยของน้ำ ด้านผนังอนุภาคทำให้เกิดรอยแยก สอดคล้องกับรายงานของ Kim et al. (2009) ที่รายงานว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้อนุภาคนมผงเกิดรอยแยกหรือแตกหักได้ การที่โครงสร้างของนมผงมีรูพรุนมากขึ้น จะทำให้การดูดซับน้ำของนมผงสูงขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ทำให้อนุภาคผงเปียกของนมผงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิความร้อนขาออก 100 °C มีค่าน้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิความร้อนขาออกที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 2 สมบัติของนมแพะผงที่ผลิตโดยใช้น้ำนมดิบที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 12 และ 24 และอุณหภูมิความร้อน
ขาออกในการทำแห้งแบบพ่นฝอยระดับ 80 90 และ 100 °C

total solid content with different outlet temperature	moisture content (% wb)	wetting time (second)	dispersibility (%)	surface free fat (%)	solubility* (ml)
12%TS/80°C	4.03±0.01 ^a	34.35±1.59 ^a	66.71±0.38 ^d	8.53±0.06 ^a	< 1 ml (0.09±0.04 ^d g)
12%TS/90°C	3.06±0.01 ^c	27.00±1.00 ^b	67.73±0.30 ^{cd}	7.90±0.40 ^b	< 1 ml (0.09±0.02 ^d g)
12%TS/100°C	2.75±0.00 ^d	24.26±1.05 ^{de}	73.29±2.07 ^b	7.80±0.17 ^b	< 1 ml (0.08±0.02 ^e g)
24%TS/80°C	3.71±0.00 ^b	25.00±1.10 ^{bc}	67.37±0.16 ^{cd}	8.29±0.04 ^a	< 1 ml (0.17±0.07 ^a g)
24%TS/90°C	2.74±0.00 ^d	27.01±1.48 ^b	68.84±0.10 ^c	7.32±0.06 ^c	< 1 ml (0.12±0.05 ^b g)
24%TS/100°C	2.69±0.00 ^e	22.33±0.58 ^e	76.65±0.59 ^a	6.60±0.26 ^d	< 1 ml (0.11±0.02 ^c g)

หมายเหตุ *ค่า solubility รายงานผลในหน่วยมิลลิลิตรเพื่อให้ตรงกับเอกสาร มอก.391-2524 แต่ได้ชั่งน้ำหนักเป็นหน่วยกรัม
ประกอบเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบ
TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid)
อักษร a-e ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 3 ลักษณะอนุภาคของนมแพะผงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จากการทดลองที่มีปริมาณของแข็ง (TS) ในน้ำนมดิบร้อยละ 12 และ 24 และอุณหภูมิความร้อนขาออกในการทำแห้งระดับ 80 90 และ 100 °C (A = 12%TS/80 °C, B = 24%TS/80 °C, C = 12%TS/90 °C, D = 24%TS/90 °C, E = 12%TS/100 °C, F = 24%TS/100 °C)

บทสรุป

นํ้านมแพะจากฟาร์มจังหวัดยะลาที่ใช้ในการทดลอง มีปริมาณ ไขมัน โปรตีนและของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 3.45±0.04 3.95±0.01 และ 12.53±0.15 จัดอยู่ในเกณฑ์ “ดี” ตามเกณฑ์การแบ่งชั้นคุณภาพนํ้านมแพะดิบของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2551) มีปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส 114.93 และ 98.62 mg/100 g ตามลำดับ มีปริมาณของกรดไขมันสายโซ่สั้นและสายโซ่ปานกลางในนํ้านมแพะ อยู่ในช่วงร้อยละ 25.20 และมีปริมาณโปรตีนชนิดเบตาเคซีน สูงถึงร้อยละ 77.40 การเปรียบเทียบผลของปริมาณของแข็งในนํ้านมดิบที่ร้อยละ 12 และ 24 และอุณหภูมิความร้อนในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 80 90 และ 100 °C พบว่า ปริมาณของแข็งในนํ้านมดิบที่มากขึ้นและการใช้อุณหภูมิความร้อนที่สูงขึ้นในการทำแห้ง มีผลทำให้อนุภาคนมแพะผงมีความชื้นต่ำ ใช้เวลาที่ทำให้อนุภาคผงเปียกน้อย มีการกระจายตัวในน้ำที่ดี ปริมาณไขมันที่พืชน้อย และมีการละลายที่ดี แต่จะมีผลต่อลักษณะและขนาดของอนุภาคผง โดยพบรอยแตกและรูบนผิวของอนุภาคขนาดของอนุภาคนมผงมีขนาดเล็กกว่าและความสม่ำเสมอน้อยกว่าการใช้ปริมาณของแข็งในนํ้านมดิบระดับต่ำกว่าและอุณหภูมิความร้อนในการทำแห้งที่ระดับต่ำกว่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 6006-2551). (2551). นํ้านมแพะดิบ. สำนักงานมาตรฐาน

- สินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://acfs.go.th> [20/2/2011]
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (391-2524). นมผง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- มนทกานต์ จุฑานันท์. (2553). ลักษณะของนํ้านมแพะจากผู้ประกอบการในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- AOAC. (2000). Official Method of Analysis. 14th ed. Washington, D.C. The Association of Official Analytical Chemists.
- A/S Niro Atomizer, Copenhagen, Denmark. (1978). [online]. Available: <http://www.niro.com>
- Almass, H., Cases, A.L., Devold, T.G., Holm, H., Langsrud, T., Aabakken, L., Aadnoy, T. and Vegarud, G.E. (2006). In vitro digestion of bovine and caprin milk by human gastric and duodenal enzymes. International Dairy Journal 16: 961-968.
- Amiri-Rigi, A., Emam-Djomeh, Z., Mohammadifar, M.A. and Mohammadi, M. (2012). Spray drying of low-phenylalanine skim milk: optimization of process conditions for improving solubility and particle size. International Journal of Food Science and Technology 47: 495-503.
- Attaie, R. and Richtert, R.L. (2000). Size distribution of fat globules in goat milk. Journal of Dairy Science 83: 940-944.
- Bawala, T.O., Isah, O.A. and Akinsoyinu, A.O. (2006). Studies on milk mineral composition of lactating west african dwarf goats. Journal of Animal and Veterinary Advances. 10: 805-809.
- Chegin, G.R. and Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. Drying Technology 23: 657-668.

- Criscione, A., Cunsolo, v., Bordonaro, s., Guastella, A.M., Saletti, R., Zuccaro, A., D'Urso, G. and Marietta, D. (2009). Donkeys' milk protein fraction investigate by electrophoretic method and mass spectrometric analysis. *International Dairy Journal* 19: 190-197.
- Farrell, H.M., Jimenez-Flores, R., Bleck, G.T., Brown, E.M., Butler, J.E. and Creamer, L.K. (2004). Nomenclature of the proteins of cows' milk-sixth revision. *Journal of Dairy Science* 87: 1641-1674.
- Haenlein, G.F.W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Journal of small ruminant research* 51: 155-163.
- Heilig, A., Celik, A. and Hinrichs, J. (2008). Suitability of Dahlem Cashmere goat milk towards pasteurization, ultrapasteurization and UHT-heating with regard to sensory properties and storage stability. *Small Ruminant Research* 78: 152-161.
- Jinapong, N., Suphantharika, M. and Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 84: 194-205.
- Kamiński, S., Ciećlińska, A. Kostyra, E. (2007). Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health. *Journal of Applied Genetics* 48: 189-198.
- Kim, E.H.J., Xiao, D.C. and Pearce, D. (2000). Effect of surface composition on the flowability of Industrial spray-dried dairy powders, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 46: 182-187.
- Kim, E.H.J., Chen, X.C. and Pearce, D. (2009). Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effect of spray drying conditions on the surface composition, *Journal of Food Engineering* 94: 169-181.
- Lara-Villoslada, F., Olivares, M. and Xaus, J. (2005). The balance between caseins and whey proteins in cow's milk determines its allergenicity. *Journal of Dairy Science* 88: 1654-1660.
- Laura, S.C., Eva, R.M., Gloria, de la T.A., Javier, D.C., Luís, P.M., Mari Remedios, S.S. (2009). Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and analyzed by identical methodology. *Journal of Food Composition and Analysis* 22: 322-329.
- Lepage, G. and Roy, C.C. (1986). Direct transesterification of all classes of lipids in a one step reaction. *Journal of Lipid Research* 27: 114-120.
- Ljutovac, K.R., Lagriffoul, G., Paccard, P., Guillet, I. and Chillard, Y. (2008). Composition of goat and sheep milk product: An update. *Journal of Small Ruminant Research* 59: 57-72.
- Montilla, A., Balcones, E., Olano, A., Calvo, M.M. (1995). Influence of heat treatments on whey protein denaturation and rennet clotting properties of cow's and goat's milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 1908-1911.
- Salem, A.S., Elsayed, I., El-Agamy, A.S., Fatma, H.A. and Nagwa, S. (2009). Isolation, Molecular and Biochemical characterization of goat milk casein and its fraction. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 11: 29-35.
- Torii, S.M., Damasceno, C.S., Ribeiro, R.L., Sakaguti, S.E., Santos, T.G., Matsushita, M. and Massaru, N. (2004). Physical-chemical characteristics and fatty acids composition in dairy goat milk in response to roughage diet. *Journal of Biology and Technology* 47: 903-909.
- Trujillo, A. J., Casals, I. and Guamis, B. (2000). Analysis of Major Caprine Milk Proteins by Reverse-

Phase High-Performance Liquid Yu, L., Adams, D. and Gabel, M. (2002). Conjugated
Chromatography and Electro-spray linoleic acid isomers differ in their free
Ionization-Mass Spectrometry. Journal of radical scavenging properties. Journal of
Dairy Science 83: 11-19. Agricultural and Food Chemistry 50: 4135-
414.

