

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยาของนมผงสด

จากการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของนมผงสดได้ผลดัง ตารางที่ 4.1 พบว่านมผงสดมีค่า  $L^*$  เท่ากับ  $68.46 \pm 0.48$ ,  $a^*$  เท่ากับ  $-7.51 \pm 0.31$  และ  $b^*$  เท่ากับ  $20.91 \pm 0.57$  ซึ่งมีสีเหลืองอ่อน นมผงสดจะมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวข้น มีสีครีมหรือสีเหลืองอ่อน มีรสเปรี้ยว ฝาด ขมเล็กน้อย และมีกลิ่นเฉพาะ (Howe *et al.*, 1985; FAO, 1996)

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของนมผงสด

สมบัติ	นมผงสด
<b>กายภาพ</b>	
$L^*$	$68.46 \pm 0.48$
$a^*$	$-7.51 \pm 0.31$
$b^*$	$20.91 \pm 0.57$
<b>เคมี</b>	
ค่า water activity ( $a_w$ )	$0.97 \pm 0.00$
ความชื้น (% wet basis)	$68.75 \pm 0.25$
ค่า pH	$3.9 \pm 0.06$
ปริมาณกรด (% กรดแลคติก)	$0.35 \pm 0.01$
<b>จุลชีววิทยา</b>	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	<10
จำนวนยีสต์และรา (CFU/g)	<10

นมผงสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ โดยมีปริมาณความชื้น 68.75% (wet basis) และมีค่า  $a_w$  เท่ากับ 0.97 และ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ FAO (1996) ว่านมผงจะมีปริมาณความชื้นอยู่

ในช่วง 57-70% (wet basis) ปริมาณสัดส่วนขององค์ประกอบในนมผงนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ฤดูกาลสภาพแวดล้อม แหล่งอาหาร ที่เลี้ยงอาศัยอยู่ เป็นต้น (Takenaka, 1982; Ratanavalachai, 2002; Stocker *et al*, 2005) มีการศึกษาถึงองค์ประกอบของนมผงในประเทศไทย (จังหวัดเชียงใหม่) ของ Ratanavalachai (2002) พบว่านมผงในแต่ละฤดูกาลจะมีความชื้นแตกต่างกัน โดยในช่วงเดือน เมษายน-มิถุนายน มีความชื้นอยู่ในช่วง 64.38-65.61% (wet basis) ในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม มีความชื้นอยู่ในช่วง 68.92-69.70% (wet basis) และช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ มีความชื้นอยู่ในช่วง 66.92-68.99 % (wet basis) ซึ่งนมผงที่ใช้ในการทดลองนี้เก็บในช่วงเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน และมีปริมาณความชื้นสอดคล้องกับรายงานการวิจัยดังกล่าว ปริมาณกรดในนมผงมีประมาณร้อยละ 0.35 (%กรดแลคติก) วัตถุประสงค์ค่า pH ได้เท่ากับ 3.90 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ FAO (1996) ที่รายงานว่านมผงควรจะมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.6-4.2 และงานวิจัยของ Ratanavalachai (2002) ที่พบว่านมผงที่ค่า pH อยู่ในช่วง 3.4-3.6

นมผงสดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 โคโลนี/กรัม จำนวนยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนี/กรัม ซึ่งมีคุณภาพตามมาตรฐานของ TGA (2010) ที่ระบุให้นมผงสดที่มีคุณภาพดีควรมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 500 โคโลนี/กรัม ยีสต์และราไม่ควรเกิน 10 โคโลนี/กรัม ต้องไม่พบการเจริญของ *Coliforms* และ *Salmonella* ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนมผงมีคุณสมบัติในการเป็นสารที่สามารถต้านการเจริญของจุลินทรีย์ได้หลายชนิด (Fontana *et al.*, 2004) รวมทั้งค่า pH ต่ำ ซึ่งมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์และนมผงมีฤทธิ์เป็นกรด (สุภาภรณ์, 2539) จึงทำให้จุลินทรีย์เจริญได้น้อยมาก โดยแบคทีเรียเจริญได้ดีในช่วง pH 6.0-8.0 ยีสต์เจริญได้ดีในช่วง pH 4.5-6.0 ส่วนราที่สร้างเส้นใยเจริญได้ดีในช่วง pH 3.5-4.0 (สุเมธธา, 2549) ค่า pH ของนมผงสดที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าช่วงค่า pH ที่จุลินทรีย์เจริญได้ดีและนอกจากนี้มีการค้นพบสาร Jelleines ที่มีอยู่ในนมผง ซึ่งเป็นเปปไทด์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเจริญของแบคทีเรีย (antimicrobial peptides) โดยพบว่าสาร Jelleines สามารถต้านการเจริญของเชื้อยีสต์ (*C. albicans*) เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*, *S. saprophyticus*, *B. subtilis*, *B. subtilis*, *B. cereus*, *Bacillus thuringiensis*, *B. pumilus*) และแบคทีเรียแกรมลบได้ (*E. coli*, *E. cloacae*, *K. pneumoniae*, *P. mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*) (Fontana *et al.*, 2004) นมผงสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (อิทธิพล, 2545) จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของนมผงสด แสดงให้เห็นว่านมผงที่ทำการศึกษาที่มีคุณภาพดีตามมาตรฐานของ TGA (2010)

## 4.2 สมบัติของนมผงผงที่ได้จากการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

### 4.2.1 สถานะการผลิตนมผงจากการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของนมผง ทำโดยนำนมผงสดในรูปของเหลวข้น มาเทใส่ถาดพลาสติกขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตร ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างถาดละประมาณ 100 กรัม (หรือให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร) นำไปแช่แข็งในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Miao and Roos, 2006) หลังจากนั้นตัดนมผงให้มีขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร (โดยประมาณ) เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ในการระเหยของน้ำออกจากนมผง เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น ปัจจัยด้านความหนาและพื้นที่ผิวมีผลต่อการแลกเปลี่ยนมวลและความร้อนของตัวอย่าง (Sharma, 1995) การตัดนมผงแช่แข็งให้มีลักษณะเป็นแท่ง จะช่วยทำให้มีพื้นที่ในการระเหยได้มากกว่าการกลิ้งนมผงในโถตัวอย่าง ทั้งยังสามารถบรรจุในปริมาณที่มากกว่าได้ จากนั้นใส่แท่งนมผงสดแช่แข็งลงในโถบรรจุตัวอย่าง โถละ 10 แท่ง (ประมาณ 200 กรัมต่อโถ) ทำแห้ง แบบแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง freeze dryer ภายใต้สถานะสุญญากาศที่ความดันน้อยกว่า  $133 \times 10^{-3}$  mbar อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อได้นมผงอบแห้งแล้ว นำไปบดให้มีอนุภาคเล็กลงด้วยเครื่อง Hammer mill โดยบดผ่านตะแกรง (รูเปิด) 2 ขนาด คือ 3.0 และ 1.2 มิลลิเมตร เครื่อง Hammer mill เป็นเครื่องมือในการลดขนาดของแข็งที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากราคาถูก ง่ายต่อการใช้งาน (Ghorboni *et al.*, 2010)

### ตารางที่ 4.2 ปริมาณการผลิตนมผง

การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง			
นมผงสด (g.)	นมผงแห้ง (g.)	นมผงแห้ง (%w/w)	น้ำที่ระเหยออก (%w/w)
1000	317.27 ± 4.55	31.73 ± 0.46	68.27 ± 0.46
การบดให้เป็นผง			
ขนาดตะแกรง	นมผงผง (g.)	นมผงผง (%w/w)	สูญเสีย (%w/w)
3.0 mm	296.03 ± 4.22	29.60 ± 0.42	6.70 <sup>b</sup> ± 0.11
1.2 mm	294.42 ± 3.76	29.44 ± 0.38	7.20 <sup>a</sup> ± 0.21

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการทำ แห้งแบบแช่เยือกแข็งของนมผงสดมีปริมาณน้ำที่ระเหยออกประมาณ  $68.27 \pm 0.46\%$  เหลือนมผงที่ผ่านการอบแห้งคิดเป็นปริมาณผลผลิต  $31.73 \pm 0.46\%$  เมื่อนำนมผงอบแห้งไปบดผงด้วยเครื่อง Hammer mill โดยใช้ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร พบว่ามีการสูญเสียนมผงระหว่างกระบวนการบดเท่ากับ  $6.70 \pm 0.11$  และ  $7.20 \pm 0.21\%$  ตามลำดับ การบดผงด้วยเครื่อง Hammer mill โดยใช้ตะแกรงขนาด 1.2 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียระหว่างการบดมากกว่าตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.2 สมบัติของนมผง

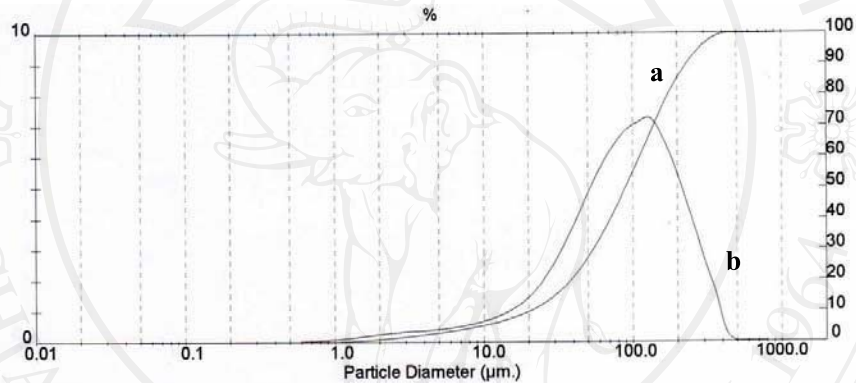
##### (1) การกระจายขนาดอนุภาคของนมผง

นมผงที่ได้จากการบดด้วยเครื่อง Hammer mill โดยบดผ่านตะแกรง 2 ขนาด นำไปวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค (size distribution) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบ Laser diffraction (Malvern Instruments, Mastersizer S) ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของนมผงที่บดผ่านตะแกรงที่มีขนาด 3.0 และ 1.2 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 4.2 (ภาคผนวก ค-1 และ ค-2) และแสดง การกระจายขนาดของอนุภาคนมผงแบบ Log Normal Distribution ในกราฟที่ 4.1 และ 4.2 นมผงที่ได้จากการบดผ่านตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.635 – 878.7 ไมครอน และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 109.93 ไมครอน และนมผงที่ได้จากการบดผ่านตะแกรงขนาด 1.2 มิลลิเมตร มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.522 – 878.7 ไมครอน และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 103.81 ไมครอน จะเห็นว่า ขนาดตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตรจะได้ผงที่มีขนาดเฉลี่ยใหญ่กว่าตะแกรงที่มีขนาด 1.2 มิลลิเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dziki and Laskowski (2010) ซึ่งได้ทำการบด wheat grain ด้วย Hammer mill ใช้ตะแกรงที่มีรูเปิดต่างกัน 5 ขนาด คือ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 พบว่าขนาดตะแกรงของเครื่องมีผลต่อขนาดและการกระจายของอนุภาค โดยขนาดตะแกรงที่ใหญ่กว่าจะทำให้ได้ผงที่มีขนาดเฉลี่ยใหญ่กว่าตะแกรงที่มีขนาดเล็ก และการใช้ตะแกรงที่มีรูเปิดขนาดเล็กยังทำให้มีการใช้พลังงานมากกว่าการใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่ และยังมีการวิจัยของ Ghorboni (2010) ที่ใช้ตะแกรงของเครื่อง Hammer mill 4 ขนาดคือ 1.68, 2.38, 3.36 และ 4.76 ในการบดถั่ว alfalfa พบว่าขนาดของตะแกรงมีผลต่อการกระจายขนาดอนุภาคและขนาดอนุภาคเฉลี่ย ตะแกรงที่มีรูเปิดที่ใหญ่กว่าจะให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่าและใช้พลังงานในการบดน้อยกว่าเช่นเดียวกัน

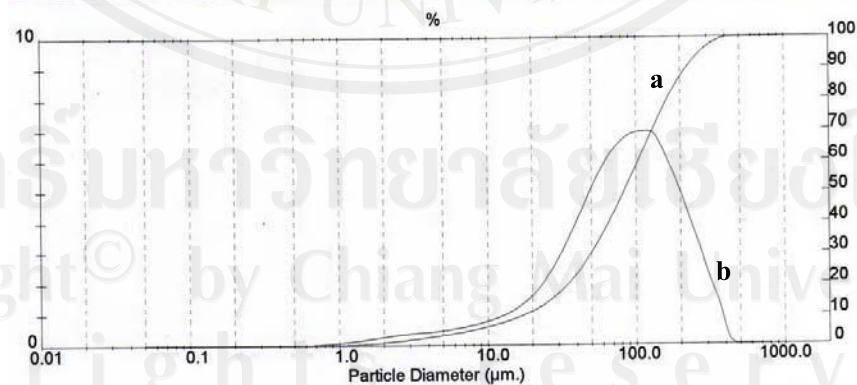
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของนมผึ้งผง

ขนาดตะแกรง	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย( $\mu\text{m}$ )	D10% ( $\mu\text{m}$ )	D50% ( $\mu\text{m}$ )	D90% ( $\mu\text{m}$ )
3.0 mm	109.93	20.27	89.75	229.86
1.2 mm	103.81	17.94	83.22	220.30

หมายเหตุ : D10% หมายถึง 10% ของตัวอย่าง มีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคที่วัดได้  
 D50% หมายถึง 50% ของตัวอย่าง มีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคที่วัดได้  
 D90% หมายถึง 90% ของตัวอย่าง มีขนาดเล็กกว่าขนาดอนุภาคที่วัดได้



กราฟที่ 4.1 : การกระจายตัวของขนาดอนุภาคนมผึ้งผงที่ใช้ Hammer mil ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร ((a) cumulative distribution ,(b) differential distribution)



กราฟที่ 4.2 : การกระจายตัวของขนาดอนุภาคนมผึ้งผงที่ใช้ Hammer mil ตะแกรงขนาด 1.2 มิลลิเมตร ((a) cumulative distribution, (b) differential distribution)



แม้ว่าตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตรจะให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของนมผงแห้งใหญ่กว่าขนาดตะแกรง 1.2 มิลลิเมตร แต่จะสังเกตเห็นว่าขนาดเฉลี่ยของอนุภาคของนมผงแห้งที่ได้จากตะแกรง 2 ขนาดนี้มีค่าใกล้เคียงกัน จากรายงานการวิจัยของ Dziki and Laskowski (2010) ที่ทำการบด wheat grain ด้วยขนาดตะแกรง 3.0 มิลลิเมตร และ 1.5 มิลลิเมตร พบว่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมดอยู่ที่ 757 และ 388 ไมครอน ตามลำดับ การวิจัยของ Ghorboni (2010) ที่ทำการบดถั่ว alfalfa โดยใช้ตะแกรงขนาด 3.36 และ 1.68 พบว่าถั่ว alfalfa มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 402 และ 317 ไมครอนตามลำดับ ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าอนุภาคของนมผงแห้งที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งแม้ว่าจะใช้ขนาดตะแกรงในการบดที่ใกล้เคียงกัน อาจเนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความพรุนสูง ผลจากการระเหยของน้ำแข็งภายในอาหาร ทำให้โครงสร้างไม่เกิดการหดตัวหรือยุบตัวระหว่างกระบวนการทำให้แห้ง (Miao and Roos, 2006) นมผงอบแห้งที่ได้จึงมีลักษณะเปราะ แตกหักง่าย เมื่อนำไปบดด้วยเครื่อง Hammer mill ซึ่งเป็นการตีวัตถุกระทบกับผนังภายในเครื่องที่มีความแข็งแรงมาก (Bitra *et al.*, 2009) จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้นมผงแตกเป็นผงละเอียดได้ง่ายกว่าวัสดุอื่นๆ เช่น เมล็ดพืช ธัญพืช หรือวัสดุอื่นที่มีความแข็งมากกว่า นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อขนาดของอนุภาคผงในระหว่างการบดด้วยเครื่อง Hammer mill เช่น องศาและขนาดของแท่ง hammer ที่ติดตั้งภายในเครื่อง และความเร็วรอบในการหมุนด้วย (Bitra *et al.*, 2009)

## (2) สมบัติทางกายภาพ แคมี และจุลชีวินวิทยาของนมผงแห้ง

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ แคมี และจุลชีวินวิทยา แสดงใน ตารางที่ 4.4 พบว่าการใช้ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร ให้ผงนมผงแห้งที่มี ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ  $94.33 \pm 0.33$ ,  $-4.45 \pm 0.02$  และ  $21.93 \pm 0.42$  ตามลำดับ และการใช้ตะแกรงขนาด 1.2 มิลลิเมตร ให้ผงนมผงแห้งที่มี ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ  $94.65 \pm 0.51$ ,  $-4.67 \pm 0.53$  และ  $21.31 \pm 1.27$  ค่า  $b^*$  มีค่า + แสดงถึงค่าสีเหลือง จากการสังเกตพบว่านมผงแห้งที่ได้มีสีเหลืองอ่อน

นมผงแห้งที่มีค่ามุมกองอยู่ในช่วง 40.40-40.48 องศา ค่ามุมกองนี้แสดงถึงความสามารถในการไหลของนมผงแห้ง นมผงแห้งจัดเป็นอาหารผงที่มีความสามารถในการไหลได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดประเภทการไหลของ Xinde *et al.* (2007) ซึ่งจัดว่าค่ามุมกองของผงที่อยู่ในช่วง 30-45 องศา ถือว่ามีความสามารถในการไหลที่ดี มีการไหลอย่างอิสระ (free-flowing) และการจัดประเภทความสามารถในการไหลของ Carr (1965, 1970) นั้น ถ้าผงมีค่ามุมกองในช่วง 30-45 องศา แสดงว่าอนุภาคผงมีความสามารถในการไหลได้ดี ผงมีการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคเล็กน้อย แต่สำหรับผงที่จะนำไปใช้ในกระบวนการอัดเม็ดนั้น ความสามารถในการไหลของผงจะมีผลต่อประสิทธิภาพใน

การไหลของผงลงสู่เบ้าตอก นมผงที่ได้มีค่ามุมกองมากกว่า 40 องศา แสดงถึงความสามารถในการไหลที่ไม่ดี (very poor) อาจทำให้นมผงมีประสิทธิภาพในการไหลลงสู่เบ้าตอกต่ำ โดยจักรพันธ์ (2551) จัดว่าผงที่มีค่ามุมกองอยู่ในช่วง 30-40 มีความสามารถในการไหลอยู่ในระดับพอใช้ได้ (passable) และผงที่มีค่ามุมกองมากกว่า 40 มีความสามารถในการไหลที่ไม่ดี (very poor)

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพของนมผง

สมบัติของนมผง	การบดผ่าน	
	ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร	ตะแกรงขนาด 1.2 มิลลิเมตร
<b>กายภาพ</b>		
ค่า $L^*$ <sup>ns</sup>	94.33 ± 0.33	94.65 ± 0.51
ค่า $a^*$	-4.45 <sup>b</sup> ± 0.02	-4.67 <sup>a</sup> ± 0.53
ค่า $b^*$ <sup>ns</sup>	21.93 ± 0.42	21.31 ± 1.27
Angle of repose <sup>ns</sup> (degree)	40.40 ± 0.57	40.48 ± 0.12
Bulk density <sup>ns</sup> (g/ml)	0.46 ± 0.01	0.47 ± 0.00
Tapped density <sup>ns</sup> (g/ml)	0.68 ± 0.03	0.68 ± 0.01
Compressibility ratio <sup>ns</sup> (%)	31.23 ± 1.14	30.56 ± 0.51
<b>เคมี</b>		
Water activity <sup>ns</sup> ( $a_w$ )	0.17 ± 0.02	0.16 ± 0.00
ความชื้น <sup>ns</sup> (%wet basis)	4.91 ± 0.15	4.90 ± 0.03
<b>จุลชีววิทยา</b>		
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด <sup>ns</sup> (CFU/g)	<10	<10
จำนวนยีสต์และรา <sup>ns</sup> (CFU/g)	<10	<10

หมายเหตุ : 1) เครื่องหมาย <sup>ns</sup> ในแต่ละแถว หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p>0.05$ )

2) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p<0.05$ )

Bulk density ของนมผงมีค่า 0.46 – 0.47 กรัม/มิลลิลิตร และค่า Tapped density เท่ากับ 0.68 กรัม/มิลลิลิตร สำหรับค่า compressibility ratio อยู่ในช่วง 30.56-31.23% ซึ่ง แสดงถึง

ความสามารถในการไหลที่ไม่ดี แต่มีความสามารถในการถูกตอกอัดภายใต้แรงตอกอัดของนมผงผงได้ (จักรพันธ์, 2551)

นมผงมีค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.16-0.17 และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.90-4.91% (wet basis) (ตารางที่ 4.4) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 294, 2548) ที่ระบุว่านมผงที่ระเหยน้ำออกจะต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 % โดยน้ำหนัก นมผงมีความชื้น และค่า  $a_w$  ต่ำ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ยีสต์และรา นอกจากนี้การมีจำนวนจุลินทรีย์ต่ำในวัตถุดิบก็ส่งผลให้นมผงมีจำนวนจุลินทรีย์ต่ำด้วย ทำให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราที่พบมีน้อยกว่า 10 โคโลนี/กรัม ค่า water activity ( $a_w$ ) ของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร ค่า  $a_w$  ในอาหารควรจะมีค่าต่ำกว่าระดับ  $a_w$  ที่เชื้อจุลินทรีย์จะสามารถเจริญได้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและป้องกันการเน่าเสียของอาหารที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ (สุเมธชา, 2549)

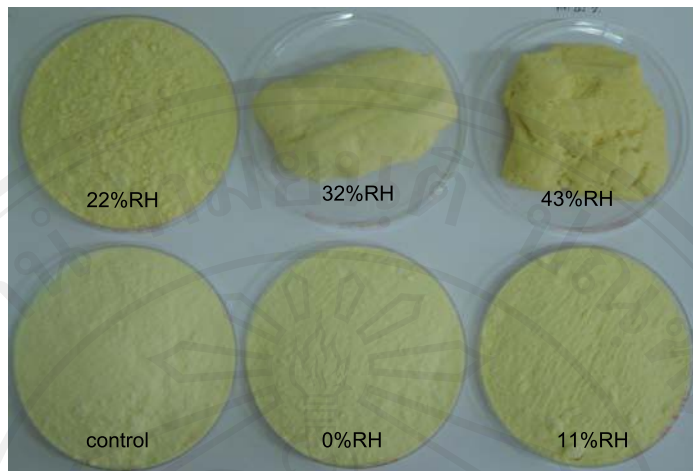
จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.4 จะสังเกตเห็นว่าผลการวิเคราะห์ของนมผงที่ผ่านการบดด้วยเครื่อง Hammer mill ผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูเปิด 3.0 และ 1.2 มิลลิเมตร ให้ผลการวิเคราะห์ทางไมโครแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 การใช้ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตรจะมีการสูญเสียระหว่างการบดน้อยกว่าตะแกรงขนาด 1.2 มิลลิเมตร ( $p \leq 0.05$ ) และมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า ในกระบวนการอัดเม็ดนั้นหากอนุภาคผงที่นำมาตอกอัดมีปริมาณผงละเอียดอยู่มากจะมีผลทำให้การไหลของผงลงสู่เบ้าตอกไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดมีค่าความแปรปรวนของน้ำหนักมากและถ้ามีการกระจายของขนาดอนุภาคแคบเท่าไรก็จะส่งผลดีต่อการผลิต ทำให้ได้รูปแบบเม็ดที่สม่ำเสมอ ไม่ทำให้กระบวนการผลิตติดขัดได้ (จักรพันธ์, 2551) ดังนั้นจึงเลือกใช้ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร ในการบดนมผงให้เป็นผงที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่า การกระจายของขนาดอนุภาคแคบกว่า และสูญเสียระหว่างการบดน้อยกว่า เพื่อใช้ในการทดลองในตอนต่อไป

#### 4.3 อิทธิพลของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีต่อคุณภาพของนมผงบริสุทธิ์อัดเม็ด

##### 4.3.1 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อสมบัติของนมผงผงที่ได้จากการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

นำนมผงที่บดผ่าน ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร ไปเก็บไว้ในสถานะที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ 0, 11, 22, 32 และ 43% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ นมผงที่มีการปรับความชื้นแสดงในรูป 4.3 และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา





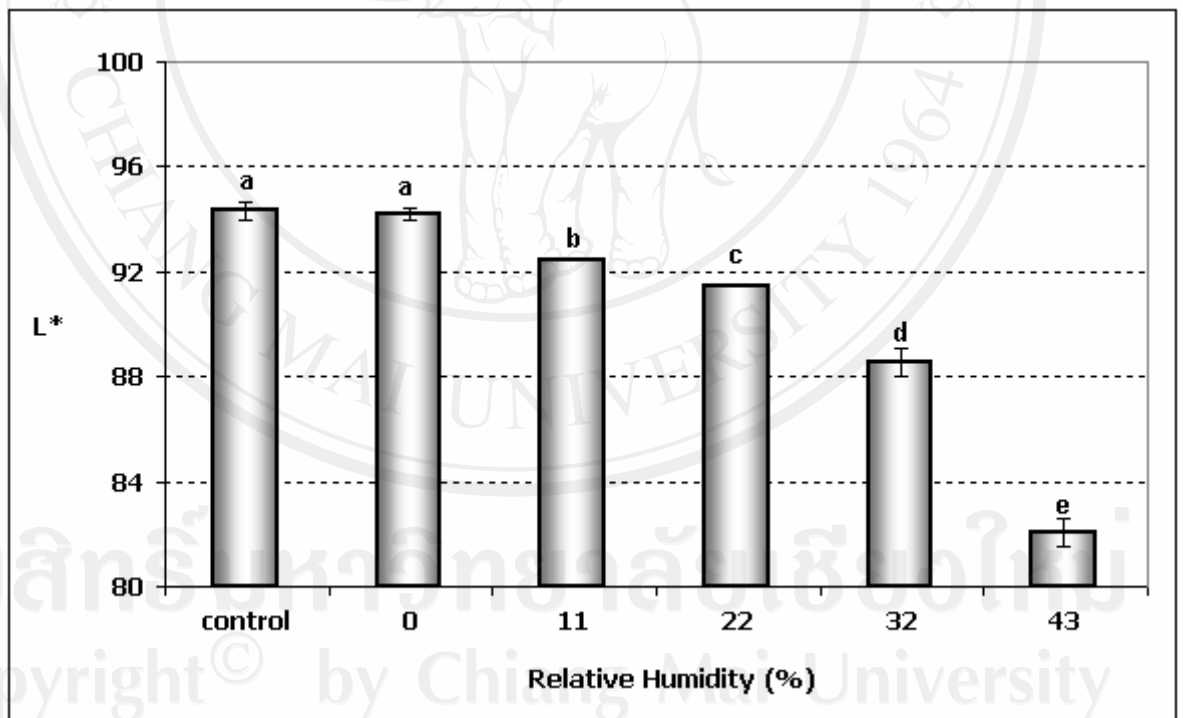
รูปที่ 4.3 : นมผงผงที่ผ่านการปรับความชื้น 5 ระดับ

จากการวัดค่าสีของผงนมผงที่นำมาปรับความชื้นแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อเก็บไว้ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นจะทำให้ค่า  $L^*$  ลดลง ส่วน ค่า  $a^*$  และ ค่า  $b^*$  เพิ่มสูงขึ้น สังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าสีของนมผงผงจากกราฟที่ 4.4-4.6 เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ทำให้นมผงผงมีสีเข้มขึ้น (รูปที่ 4.3) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์เกิดขึ้น (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด) โดยเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ (นิธิยา, 2549) ซึ่งมิอยู่ในองค์ประกอบอยู่ในนมผง โดยนมผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นจะมีปริมาณน้ำตาลสูงถึง 50-60% (w/w) และมีโปรตีน 30-41% (w/w) (TGA, 2010) ซึ่งอัตราการเกิดสีน้ำตาลนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ค่า  $a_w$  อุณหภูมิ pH และความเข้มข้นของสาร reactants (Miao and Roos, 2006) ดังนั้นความชื้น และค่า  $a_w$  ที่สูงขึ้นของผงนมผงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล จึงทำให้นมผงผงมีสีเข้มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากนั้นการอบแห้งนมผงยังทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลและกรดอะมิโนเพิ่มขึ้น เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ดังผลการทดลองของ Messia *et al.* (2005) ที่พบว่านมผงผงที่ได้จากการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ง่ายกว่านมผงสด โดยใช้วิธีการวัดจากปริมาณสาร furosine ในนมผง เนื่องมาจากการระเหิดน้ำออกจากนมผงจะทำให้ความเข้มข้นของโปรตีนและน้ำตาลที่อยู่ในนมผงเข้มข้นขึ้น จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของนมผงอบแห้งเกิดขึ้นได้ง่ายกว่านมผงสด

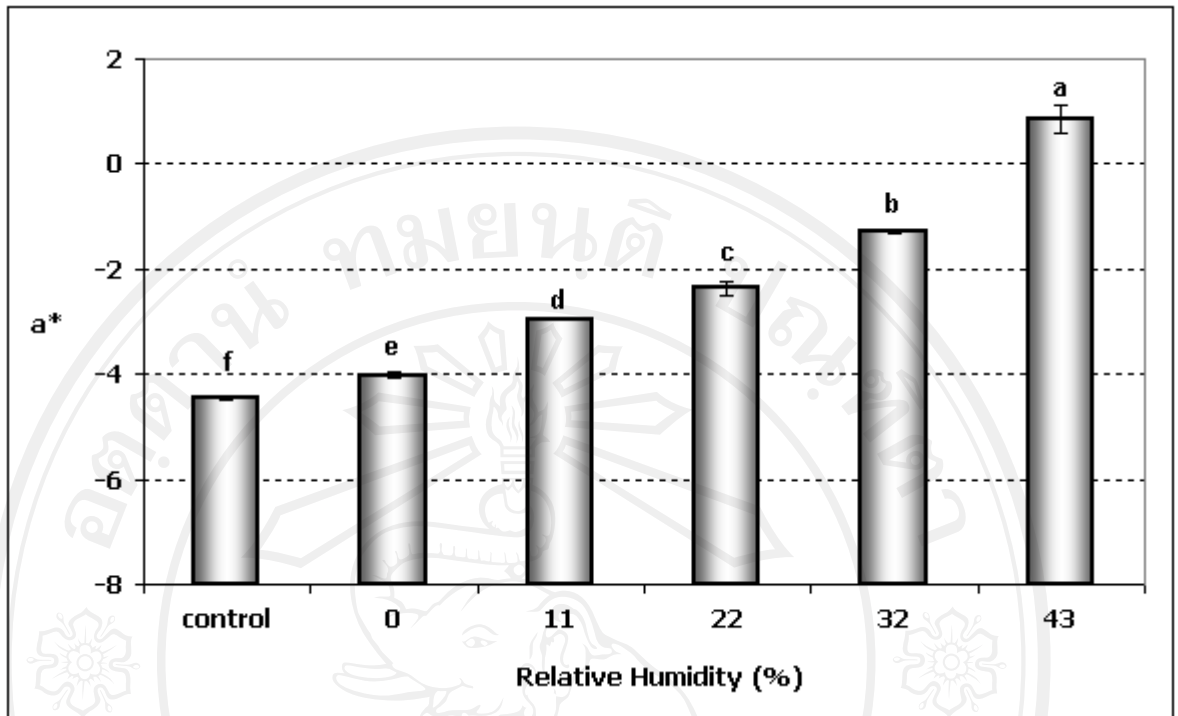
ตารางที่ 4.5 ค่าสีของผงนมผงที่นำมาปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

Relative Humidity (%)	L*	a*	b*
control	94.33 <sup>a</sup> ± 0.33	-4.45 <sup>f</sup> ± 0.02	21.93 <sup>b</sup> ± 0.42
0	94.20 <sup>a</sup> ± 0.24	-4.02 <sup>c</sup> ± 0.06	21.25 <sup>b</sup> ± 1.26
11	92.45 <sup>b</sup> ± 0.03	-2.95 <sup>d</sup> ± 0.03	24.87 <sup>ab</sup> ± 0.39
22	91.46 <sup>c</sup> ± 0.04	-2.36 <sup>c</sup> ± 0.14	25.72 <sup>ab</sup> ± 0.31
32	88.54 <sup>d</sup> ± 0.53	-1.29 <sup>b</sup> ± 0.03	28.0 <sup>a</sup> ± 0.43
43	82.04 <sup>e</sup> ± 0.52	0.86 <sup>a</sup> ± 0.27	28.60 <sup>a</sup> ± 4.70

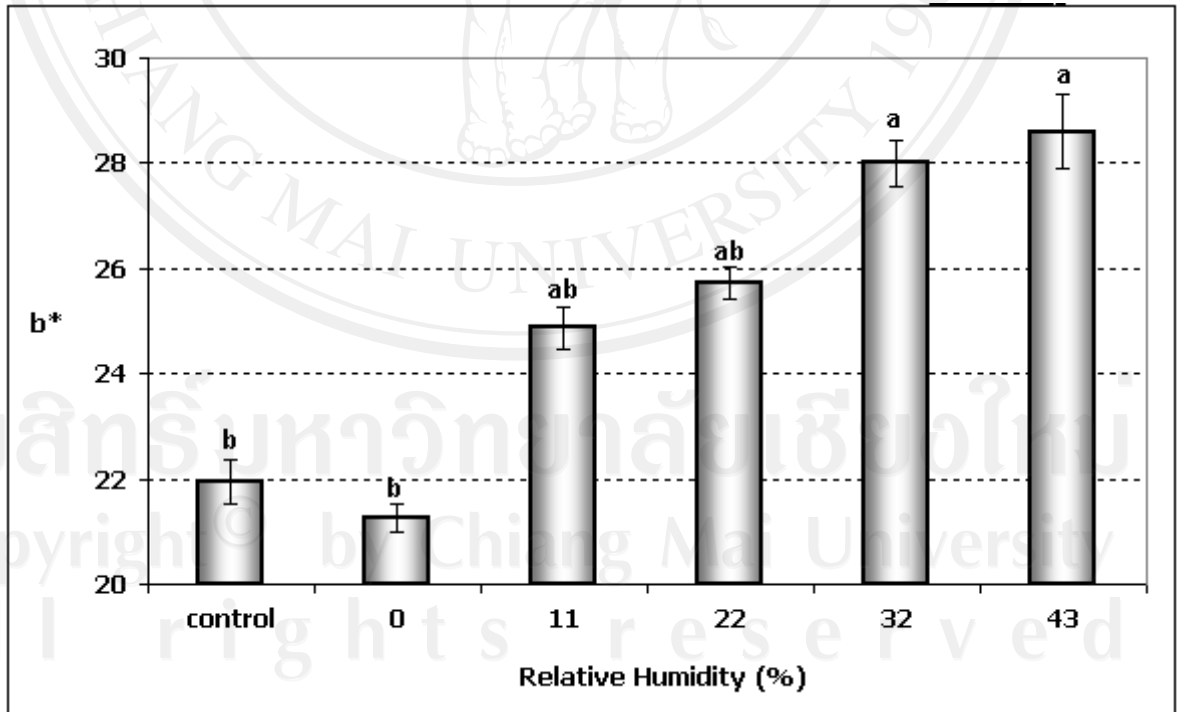
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละ คอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )



กราฟที่ 4.4 : ค่า L\* ของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ

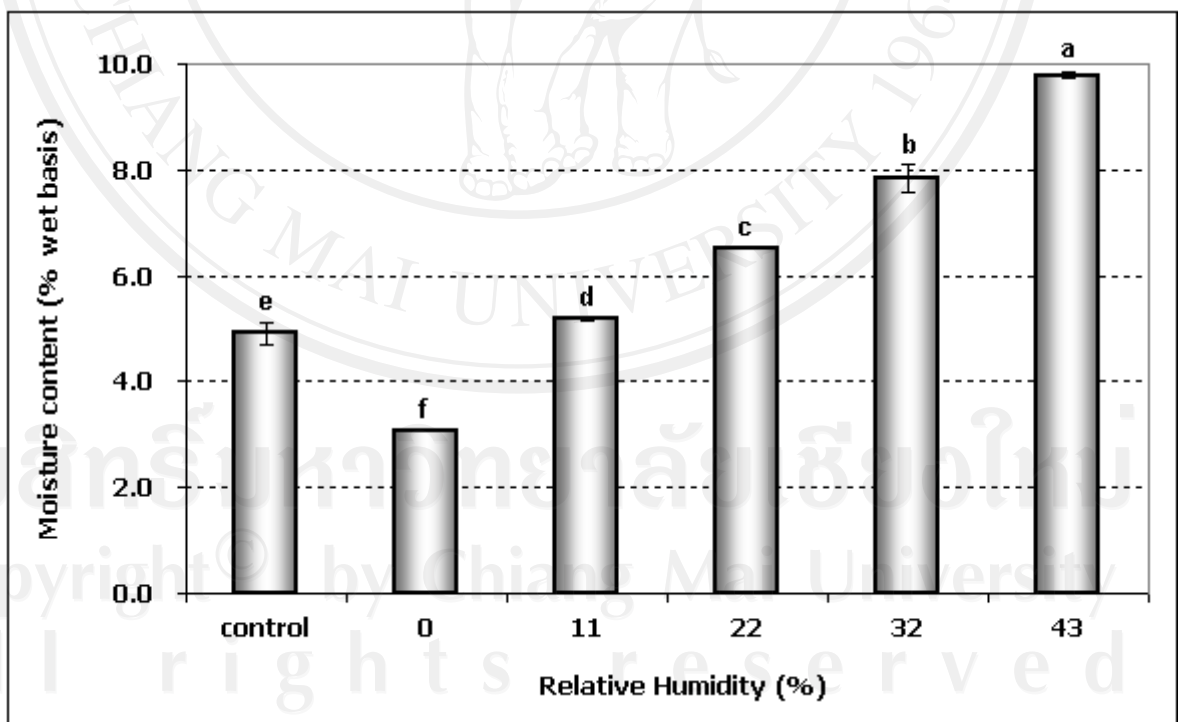


กราฟที่ 4.5 : ค่า a\* ของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ

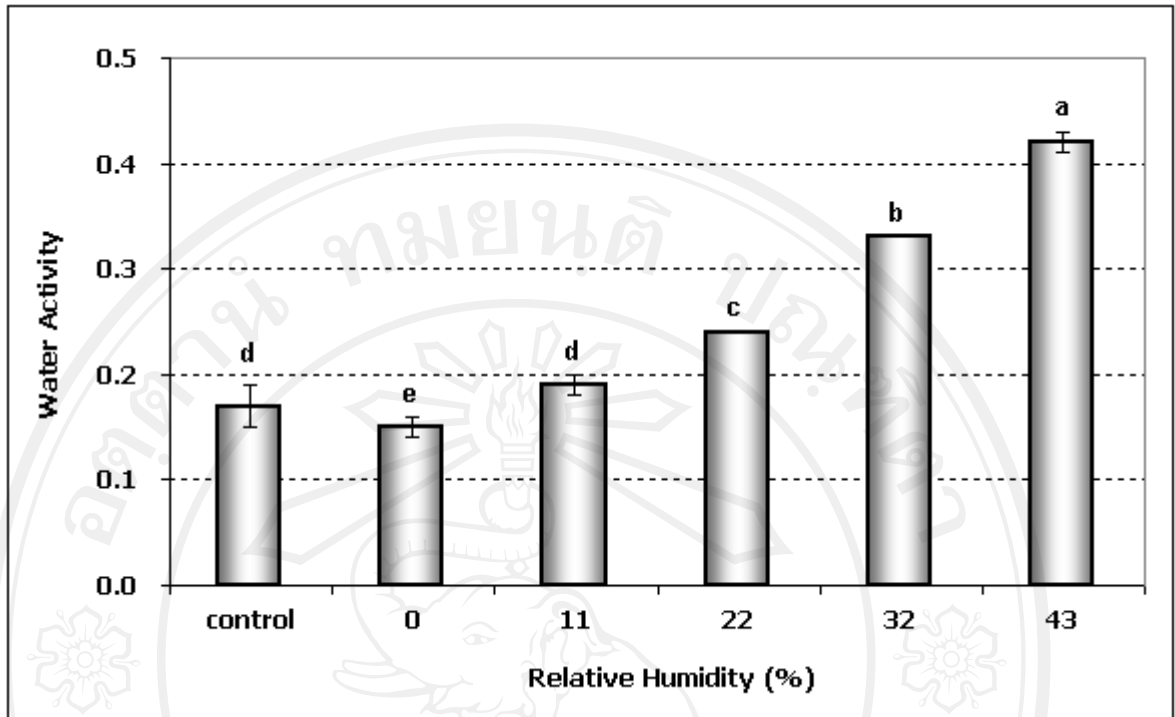


กราฟที่ 4.6 : ค่า b\* ของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ

จากการทดลองพบว่านมผึ้งที่ไม่ผ่านการปรับความชื้น (control) มีปริมาณความชื้นและค่า  $a_w$  เท่ากับ  $4.91 \pm 0.2\%$  (wet basis) และ  $0.17 \pm 0.02$  เมื่อนำไปปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 0% ทำให้ค่าความชื้นของผลลดลงเหลือ  $3.07 \pm 0.01\%$  (wet basis) และค่า  $a_w$  เท่ากับ  $0.15 \pm 0.01$  ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 11, 22, 32 และ 43% ทำให้ความชื้นของผลเพิ่มขึ้นเป็น  $5.18 \pm 0.01$ ,  $6.51 \pm 0.00$ ,  $7.84 \pm 0.25$  และ  $9.78 \pm 0.06\%$  (wet basis) ตามลำดับ และค่า  $a_w$  เท่ากับ  $0.19 \pm 0.01$ ,  $0.24 \pm 0.00$ ,  $0.33 \pm 0.00$  และ  $0.42 \pm 0.01$  ตามลำดับ จากกราฟที่ 4.7 และ 4.8 พบว่า ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อนุภาคของนมผึ้งมีปริมาณความชื้นและค่า  $a_w$  สูงขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเกิดการดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้ที่ผิวของอนุภาค นอกจากนี้ นมผึ้งยังมีปริมาณน้ำตาลเป็นส่วนประกอบอยู่มาก ซึ่งเป็นสารที่ดูดซับน้ำได้รวดเร็ว โดยอาหารผสมหลายชนิดที่มีส่วนประกอบของน้ำตาล จะดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้ที่ผิวของอนุภาค ทำให้องค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ถูกละลายจนเกิดเป็นชั้นของเหลว (liquid bridge) บริเวณผิวโดยรอบ ความชื้นและค่า  $a_w$  ของผลเพิ่มขึ้น จึงเกิดการเกาะติดกันระหว่างอนุภาค โดยอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรในการดูดซับโมเลกุลของน้ำได้มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ (Teunou and Fitzpatrick, 1999)



กราฟที่ 4.7 : ความชื้นของผลนมผึ้งที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ



กราฟที่ 4.8 : ค่า  $a_w$  ของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ

นมผงผงมีค่ามุมกอง (Angle of repose) น้อยที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 0% โดยมีค่ามุมกอง  $37.50 \pm 0.71$  องศา ค่ามุมกองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมกองของนมผงที่ไม่ได้ผ่านการปรับความชื้น (control) ซึ่งมีค่า  $40.40 \pm 0.57$  องศา การประเมินสมบัติการไหลของ จักรพันธ์ (2551) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการไหลลงสู่เบ้าตอกในกระบวนการอัดเม็ดนั้น จัดว่าค่ามุมกองที่ 30-40 องศา มีสมบัติการไหลในระดับพอใช้ได้ (passable) และค่ามุมกองที่มากกว่า 40 องศา มีสมบัติการไหลที่ไม่ดี (very poor) แต่สำหรับ Xinde *et al.* (2007) จัดว่าค่ามุมกองของอาหารผงที่อยู่ในช่วง 30-45 องศา ถือว่ามีความสามารถในการไหลที่ดี มีลักษณะการไหลอย่างอิสระ (free-flowing) เมื่อระดับความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ทำให้นมผงมีค่ามุมกองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการไหลของนมผงลดลง (ดังแสดงในตารางที่ 4.6) เมื่อปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 32 และ 43% นั้น นมผงจะเกาะตัวเป็นก้อน จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาสมบัติด้านการไหลของผงได้ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 32% ขึ้นไป ผงนมผงมีสีเข้มขึ้นและเกาะตัวเป็นก้อน (ดังรูปที่ 4.3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Teunou *et al.* (1999) ที่พบว่าชาวผงเกิดการเกาะติดกันที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 33% ชาวผงเป็นสาร hygroscopic จะดูดซับความชื้นได้เร็วกว่าสารอื่น เนื่องจากชาวผงมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จึงดูดซับน้ำได้มาก และ whey เกิดการเกาะติดกันที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 33% และการเกาะติดจะแข็งแรงขึ้นที่ความชื้น



สัมพัทธ์ 66% ส่วนนวมผงและแป้ง (Flour) เกิดการเกาะตัวกันที่ความชื้นสัมพัทธ์ 44% และ 66% ตามลำดับ เรียกระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดการเกาะตัวของผงนี้ว่า critical relative humidity (CRH)

ตารางที่ 4.6 สมบัติด้านการไหลของผงนวมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่างๆ

Relative Humidity (%)	Angle of repose (degree)	bulk density (g/ml)	tapped density (g/ml)	compressibility ratio (%)
Control	40.40 <sup>a</sup> ± 0.57	0.46 <sup>a</sup> ± 0.01	0.68 <sup>a</sup> ± 0.03	31.23 <sup>b</sup> ± 1.14
0	37.50 <sup>b</sup> ± 0.71	0.48 <sup>a</sup> ± 0.01	0.68 <sup>a</sup> ± 0.02	29.43 <sup>c</sup> ± 0.48
11	41.17 <sup>a</sup> ± 0.23	0.46 <sup>a</sup> ± 0.01	0.67 <sup>a</sup> ± 0.00	31.20 <sup>b</sup> ± 0.94
22	41.60 <sup>a</sup> ± 0.85	0.44 <sup>b</sup> ± 0.00	0.67 <sup>a</sup> ± 0.00	33.63 <sup>a</sup> ± 0.44
32	N/D	N/D	N/D	N/D
43	N/D	N/D	N/D	N/D

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

2) N/D หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ค่าได้

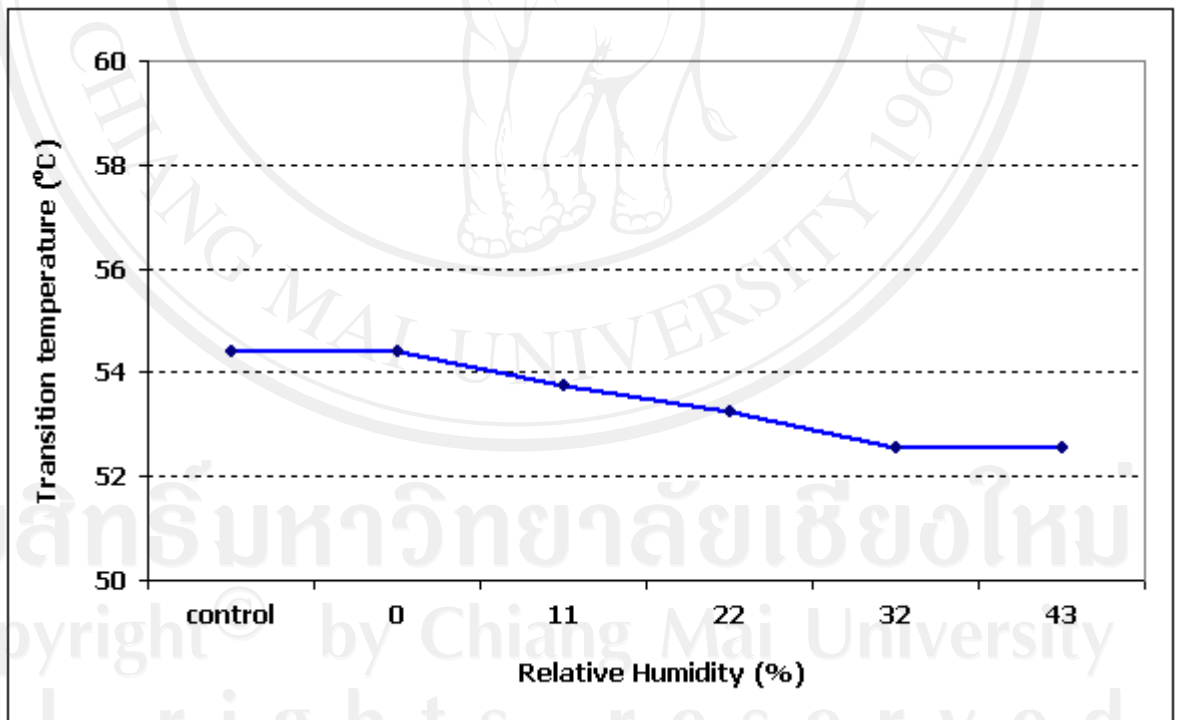
นอกจากนี้ระดับความชื้นสัมพัทธ์ยังมีผลต่อค่า bulk density ของนวมผง โดยที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 22% มีผลทำให้ค่า bulk density ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Landillon *et al.* (2008) พบว่าถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศโดยรอบเพิ่มขึ้น จะทำให้ wheat flour มีการดูดซับโมเลกุลของน้ำมากขึ้น ทำให้เกิดชั้นของเหลว (liquid bridges) บริเวณผิวของอนุภาคผง เกิดการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาค มีผลทำให้ผงเกาะติดกันมากขึ้น และความสามารถในการไหลของผงลดลง และงานวิจัยของ Barnhart and Fasina (2009) ที่พบว่าความชื้นของไข่ผงที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า bulk density มีค่าลดลง ซึ่งปริมาณความชื้นของผงเป็นปัจจัยสำคัญมีผลต่อความสามารถในการไหลของอนุภาคผง การที่ผิวของอนุภาคมีความชื้นเพิ่มจะทำให้เกิดแรงดึงที่ผิวสูงขึ้น จึงเกิดการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาค ความสามารถในการไหลของผงจึงลดลง (Emery *et al.*, 2009) สำหรับค่า Tapped density ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่างๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สำหรับค่า bulk density ที่ลดลงเมื่อระดับความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ compressibility ratio (%) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งเป็นการประเมินสมบัติการไหลของผงอีกวิธีหนึ่ง นมผงผงที่ไม่ได้ผ่านการปรับความชื้น (control) มี compressibility ratio เท่ากับ  $31.23 \pm 1.14\%$  และมีค่าเท่ากับ  $29.43 \pm 0.48\%$  เมื่อผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 0% ซึ่งจักรพันธ์ (2551) ประเมินสมบัติการไหลของผงที่มีค่า compressibility ratio 21-35% มีความสามารถในการไหลที่ไม่ดี (poor) และพบว่าที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ทำให้นมผงมีค่า compressibility ratio เพิ่มขึ้นแสดงถึงความสามารถในการไหลของผงลดลง

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน เช่น Glass transition temperature ( $T_g$ ) ที่ใช้ในการบ่งชี้เสถียรภาพของนมผง จากการทดลองพบว่านมผงที่ความชื้น 4.91% มีค่า  $T_g$  เท่ากับ 54.41 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของผงนมผงลดลงเมื่อความชื้นของผงเพิ่มขึ้น แสดงค่าในตารางที่ 4.7 (กราฟที่ 4.9) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fitzpatrick *et al.* (2008) ที่พบว่าเมื่อความชื้นของนมผง (skim milk powder) เพิ่มสูงขึ้นทำให้  $T_g$  ของผงลดลง สำหรับนมผงที่มีความชื้นประมาณ 4.7% จะมีค่า  $T_g$  เท่ากับ 54.5 องศาเซลเซียส โดยปกติแล้วอาหารผงจะมีค่า  $T_g$  สูงกว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษา ซึ่งแสดงว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าค่า  $T_g$  จะไม่ทำให้ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลง อาหารผงส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบที่มีสภาพกลาส (amorphous glassy) เช่น น้ำตาลที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous sugars) ซึ่งถ้ามีองค์ประกอบในปริมาณมากจะมีผลต่อการเกิดการเกาะตัวของผง (caking) (Fitzpatrick *et al.*, 2008) ค่า  $T_g$  ที่ได้จากกราฟ DSC สามารถแสดงถึงลักษณะโครงสร้างของอนุภาค โดยอาหารผงที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (amorphous sugars) เช่น น้ำตาลแลคโตสนมผงและ whey ที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน สามารถดูดซับน้ำได้เร็ว ทำให้เกิดปัญหาการเกาะตัว (caking) นมผงมีค่า  $T_g$  ประมาณ 60 องศาเซลเซียส และ whey มีค่า  $T_g$  ประมาณ 112 องศาเซลเซียส (Teunou *et al.*, 1999) ค่า  $T_g$  ของอาหารผงจะลดลงเมื่อความชื้นของผงเพิ่มขึ้น (Miao and Roos, 2006) และที่อุณหภูมิสูงกว่าค่า  $T_g$  จะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารผงเกิดการเหนียวหนืด (sticky) (Adhikari *et al.*, 2005) การเกิด caking ของอาหารผงนอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้วยังขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศโดยรอบด้วย (Fitzpatrick *et al.*, 2008)

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของนมผึ้งผ่านการปรับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ

%RH	Moisture content (%wet basis)	Temperature transition (°C)	Onset (°C)	Endset (°C)
Control	4.91±0.21	54.41	48.78	58.07
0	3.07±0.01	54.42	48.94	58.16
11	5.18±0.01	53.73	47.96	57.34
22	6.51±0.00	53.23	47.92	56.46
32	7.84±0.25	52.55	48.22	55.40
43	9.78±0.06	52.54	48.29	55.31



กราฟที่ 4.9 : อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงความร้อนของผงนมผึ้งที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา พบว่าทุกตัวอย่างมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา น้อยกว่า 10 โคโลนี/กรัม โดย TGA (2010) ระบุว่านมผงแปรรูปจะต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 5000 โคโลนี/กรัม ยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนี/กรัม ต้องไม่พบการเจริญของ Coliforms และ Salmonella ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนมผงสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีจำนวนของจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ต่ำ รวมถึงวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ทำให้สารเปปไทด์ในนมผงที่มีความสามารถในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (Fontana *et al.*, 2004) ที่ยังคงเหลืออยู่ นมผงมีค่า  $a_w$  ต่ำ แม้ว่านมผงผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดคือ 43% ค่า  $a_w$  เท่ากับ 0.42 ซึ่งคุณสมบัติของอาหารผงที่ระดับ  $a_w < 0.6$  ไม่เหมาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่สามารถเจริญได้ (สุมณฑา, 2549) ดังนั้นจึงพบว่าในนมผงมีจำนวนจุลินทรีย์ ยีสต์และรา น้อยกว่า 10 โคโลนี/กรัม

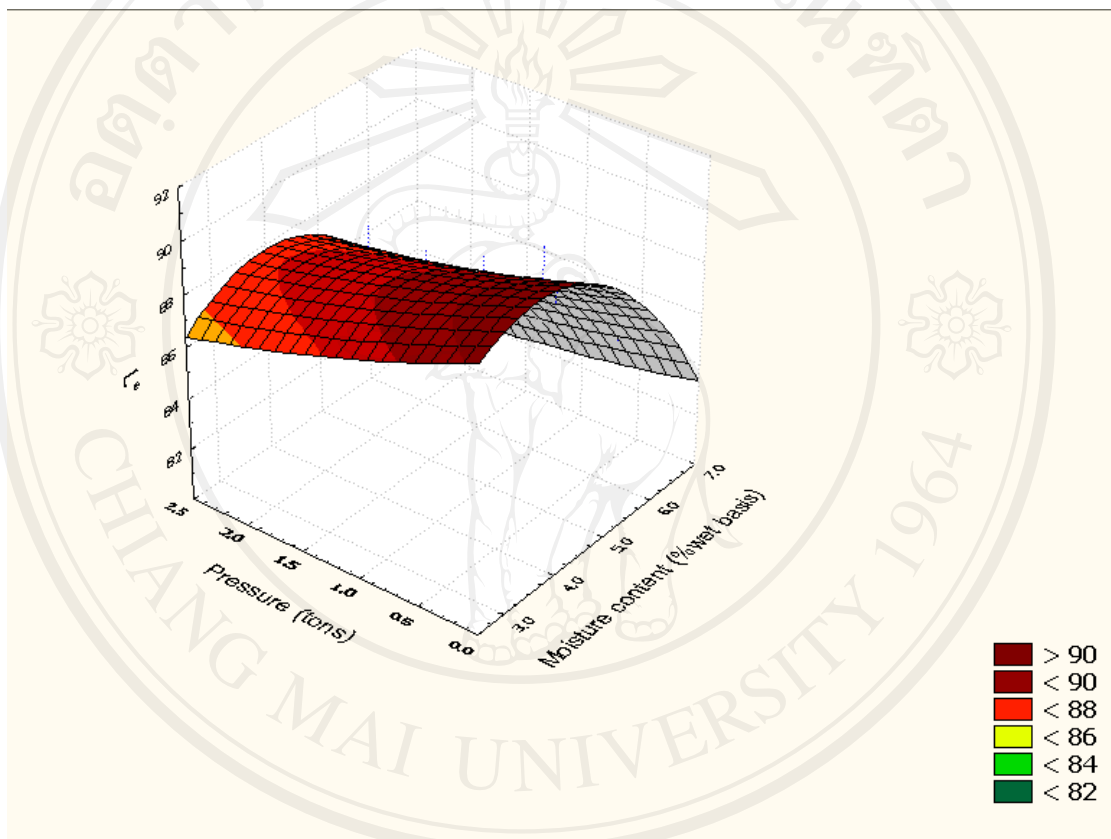
เนื่องจากนมผงยังคงสภาพผงที่ดีที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 0-22% ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างที่มีการปรับความชื้นที่ระดับดังกล่าวและตัวอย่างที่ไม่ผ่านการปรับความชื้น (control) ซึ่งมีความชื้นของอนุภาคผงที่ 3.07, 5.18, 6.51 และ 4.91% (wet basis) ตามลำดับ เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

#### 4.3.2 อิทธิพลของปริมาณความชื้นและแรงอัดที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของเม็ดนมผง

นำนมผงที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.3.1 ที่ความชื้น 4 ระดับ คือ 3.07, 4.91, 5.18 และ 6.51 % (w/w) ไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดแบบ hydraulic ชนิดสากเดี่ยว โดยผันแปรค่าแรงอัดที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ตัน (ทรงวุฒิ, 2550) โดยใช้ปริมาณนมผง 250 มิลลิกรัมต่อเม็ด โดยควบคุมอุณหภูมิห้องทดลองให้ต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 45% (Masaaki *et al.*, 2002) เพื่อลดการดูดความชื้นของนมผง ซึ่งอาจทำให้มีปัญหาการไหลลงสู่เบ้าตอก

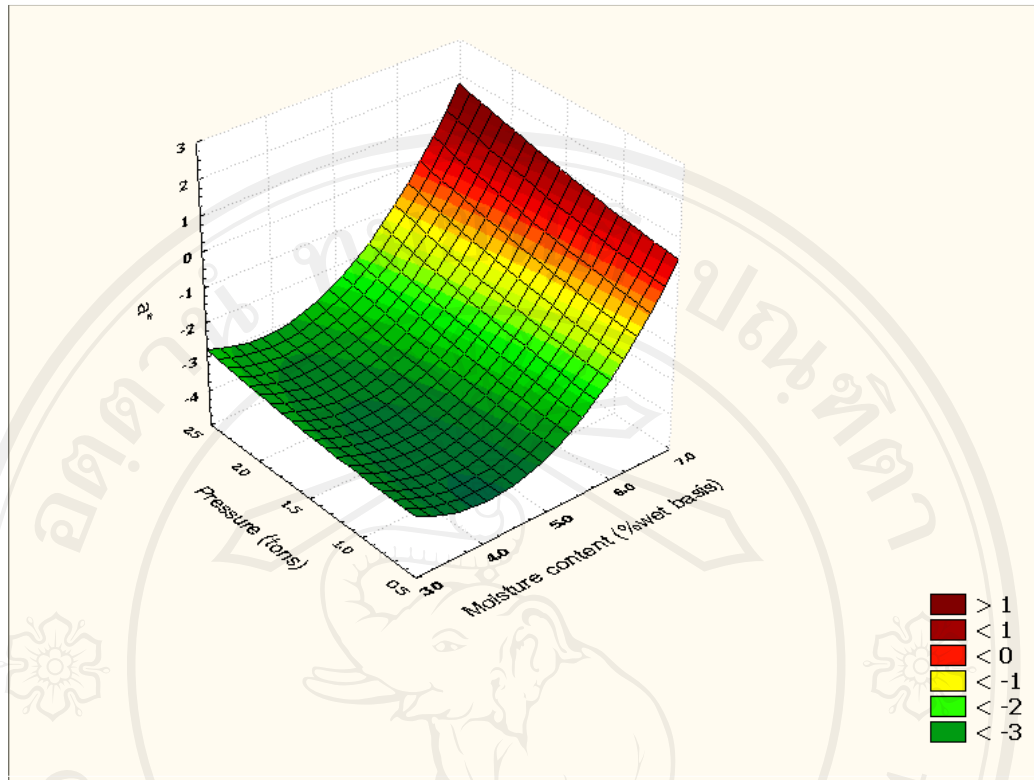
จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของผงและแรงตอกอัดมีผลต่อค่าสีของนมผงอัดเม็ด ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และจากความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีต่อค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ของเม็ดนมผงดังแสดงในรูปที่ 4.10-4.12 พบว่าเมื่อความชื้นของผงเพิ่มขึ้นและเพิ่มแรงในการตอกอัดเม็ดทำให้เม็ดนมผงมีค่า  $L^*$  ลดลง ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเม็ดนมผงมีผลมาจากค่าสีของนมผงที่ใช้ด้วย โดยผงนมผงที่มีปริมาณความชื้นมากจะมีสีเข้มกว่าผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (ดังรูปที่ 4.3) เมื่อนำมาอัดเม็ดจึงทำให้เม็ดนมผงที่ผลิตจากผงที่มีความชื้นสูงมีค่า  $L^*$  ต่ำกว่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงกว่าผงที่มีความชื้นต่ำ สีของนมผงที่เข้มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผง เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลในนมผง (Messia *et al.*, 2005) นอกจากนี้ระดับแรงตอกอัดเม็ดที่เพิ่มขึ้นมี

ผลต่อค่าสีของนมผงอัดเม็ด โดยที่เมื่อเพิ่มแรงตอกอัดจะทำให้ค่า  $L^*$  ลดลง ค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อศึกษาลักษณะผิวของเม็ดนมผงด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Stereo microscope) พบว่าที่ระดับความชื้นสูงขึ้นทำให้ผิวนมผงมีสีเหลืองเข้มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 4.13 ผิวของนมผงอัดเม็ดมีความไม่สม่ำเสมอของสีมากกว่าผงที่มีความชื้นต่ำกว่า และมีจุดสีเหลืองเข้มขนาดเล็กกระจายอยู่บนผิวของนมผง แต่หากสังเกตด้วยตาเปล่าจะไม่เห็นจุดสีเข้มดังกล่าว

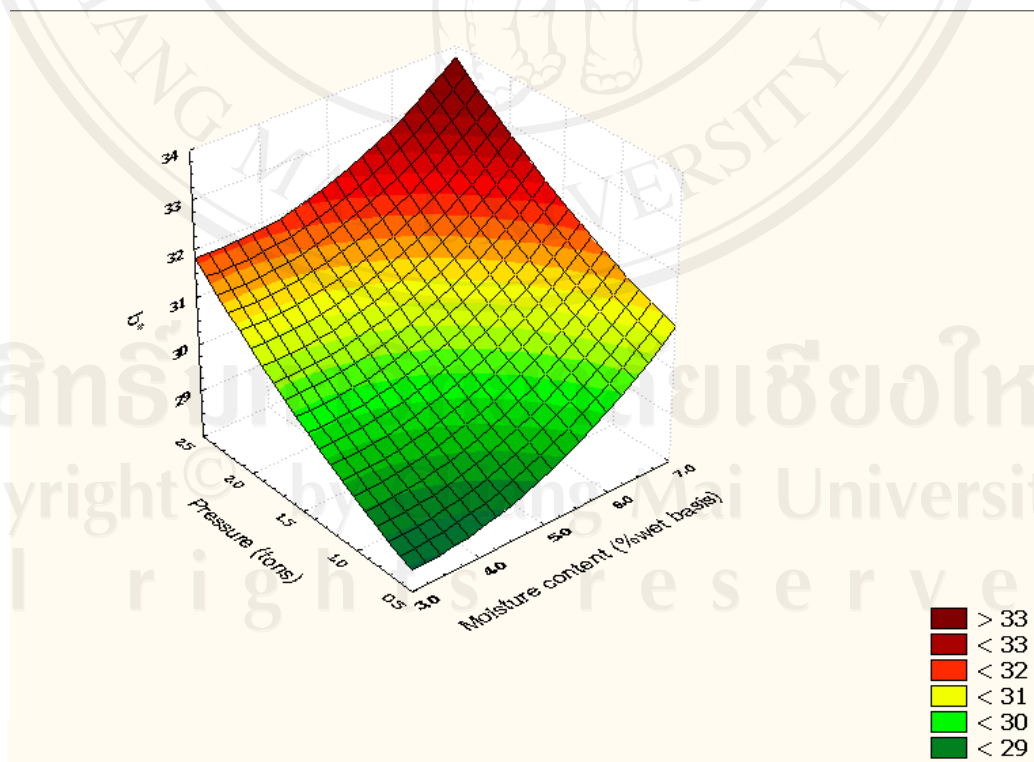


รูปที่ 4.10 : ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อค่า  $L^*$  ของนมผงอัดเม็ด





รูปที่ 4.11 : ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อค่า  $a^*$  ของนมฝรั่งอีดเม็ด

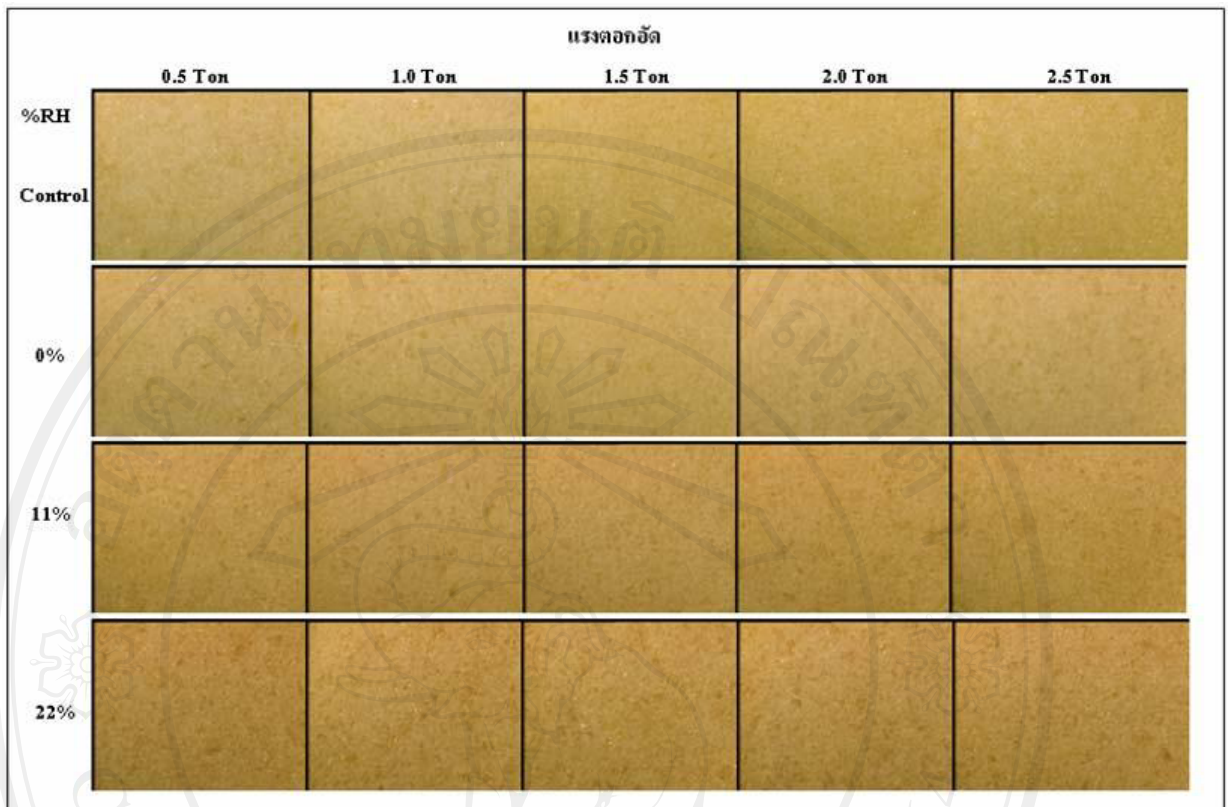


รูปที่ 4.12 : ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อค่า  $b^*$  ของนมฝรั่งอีดเม็ด

ตารางที่ 4.8 ผลของความชื้นสัมพัทธ์และแรงตอกอัดที่มีผลต่อค่าสีของนมผงอัดเม็ด

ความชื้น (% wet basis)	แรงอัด (tons)	L*	a*	b*
3.07 (RH 0%)	0.5	90.39 <sup>a</sup> ±0.30	-3.34 <sup>j</sup> ±0.24	28.42 <sup>j</sup> ±0.38
	1.0	89.11 <sup>c</sup> ±0.14	-3.14 <sup>i</sup> ±0.18	29.49 <sup>gh</sup> ±1.04
	1.5	88.41 <sup>c</sup> ±0.26	-3.12 <sup>i</sup> ±0.15	29.75 <sup>g</sup> ±0.97
	2.0	88.43 <sup>c</sup> ±0.09	-2.90 <sup>h</sup> ±0.16	30.94 <sup>cde</sup> ±1.80
	2.5	87.98 <sup>g</sup> ±0.16	-2.86 <sup>h</sup> ±0.10	31.48 <sup>c</sup> ±1.33
4.91 (control)	0.5	89.98 <sup>b</sup> ±0.24	-4.51 <sup>n</sup> ±0.32	28.83 <sup>ij</sup> ±0.28
	1.0	88.83 <sup>d</sup> ±0.20	-4.30 <sup>m</sup> ±0.09	28.93 <sup>hij</sup> ±0.28
	1.5	88.19 <sup>f</sup> ±0.28	-3.98 <sup>l</sup> ±0.40	30.04 <sup>fg</sup> ±1.21
	2.0	88.21 <sup>f</sup> ±0.36	-3.84 <sup>l</sup> ±0.34	30.79 <sup>de</sup> ±1.68
	2.5	87.19 <sup>h</sup> ±0.12	-3.61 <sup>k</sup> ±0.15	32.34 <sup>b</sup> ±0.24
5.18 (RH 11%)	0.5	87.91 <sup>g</sup> ±0.35	-2.17 <sup>g</sup> ±0.13	29.07 <sup>hi</sup> ±0.14
	1.0	87.19 <sup>h</sup> ±0.29	-2.03 <sup>g</sup> ±0.15	30.05 <sup>fg</sup> ±0.55
	1.5	86.75 <sup>i</sup> ±0.27	-1.79 <sup>f</sup> ±0.33	31.02 <sup>cde</sup> ±1.14
	2.0	86.65 <sup>i</sup> ±0.20	-1.60 <sup>f</sup> ±0.50	31.44 <sup>cd</sup> ±1.30
	2.5	85.77 <sup>j</sup> ±0.48	-1.21 <sup>e</sup> ±0.76	32.68 <sup>ab</sup> ±0.66
6.51 (RH 22%)	0.5	84.69 <sup>k</sup> ±0.26	-0.85 <sup>d</sup> ±0.51	30.62 <sup>ef</sup> ±1.38
	1.0	84.46 <sup>l</sup> ±0.19	-0.77 <sup>cd</sup> ±0.58	30.87 <sup>cde</sup> ±1.27
	1.5	84.30 <sup>m</sup> ±0.11	-0.61 <sup>c</sup> ±0.46	31.34 <sup>cd</sup> ±1.12
	2.0	84.13 <sup>n</sup> ±0.24	-0.36 <sup>b</sup> ±0.34	32.29 <sup>b</sup> ±0.71
	2.5	83.49 <sup>o</sup> ±0.30	0.49 <sup>a</sup> ±0.05	33.04 <sup>a</sup> ±0.45

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

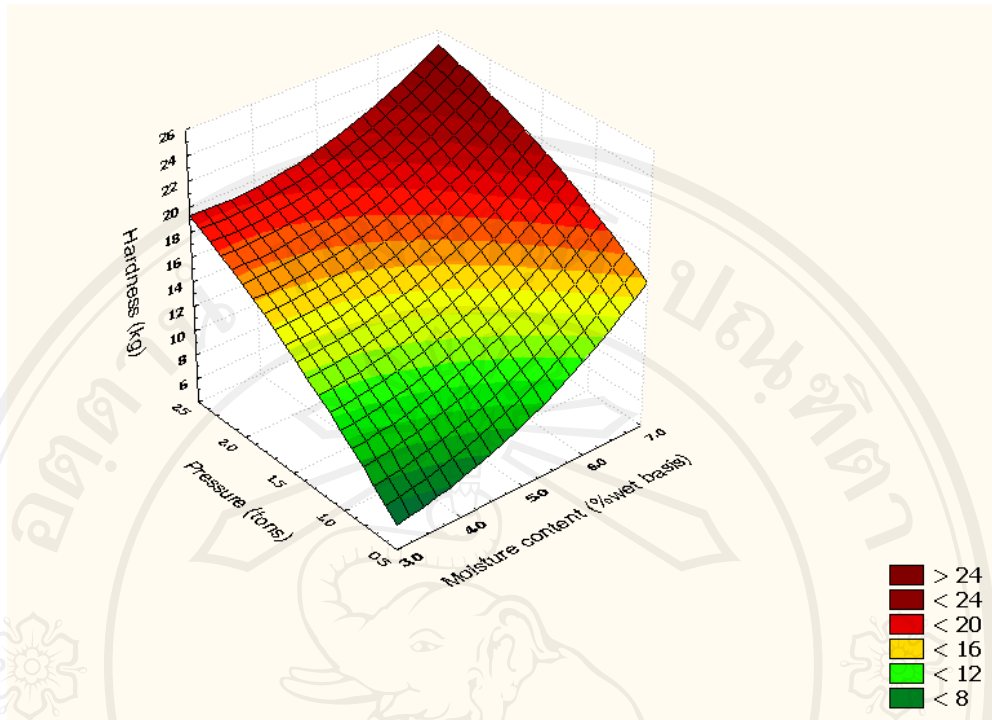


รูปที่ 4.13 ลักษณะผิวของเม็ดนมผงที่ความชื้นสัมพัทธ์และแรงในการตอกอัดเม็ดที่ระดับต่าง ๆ

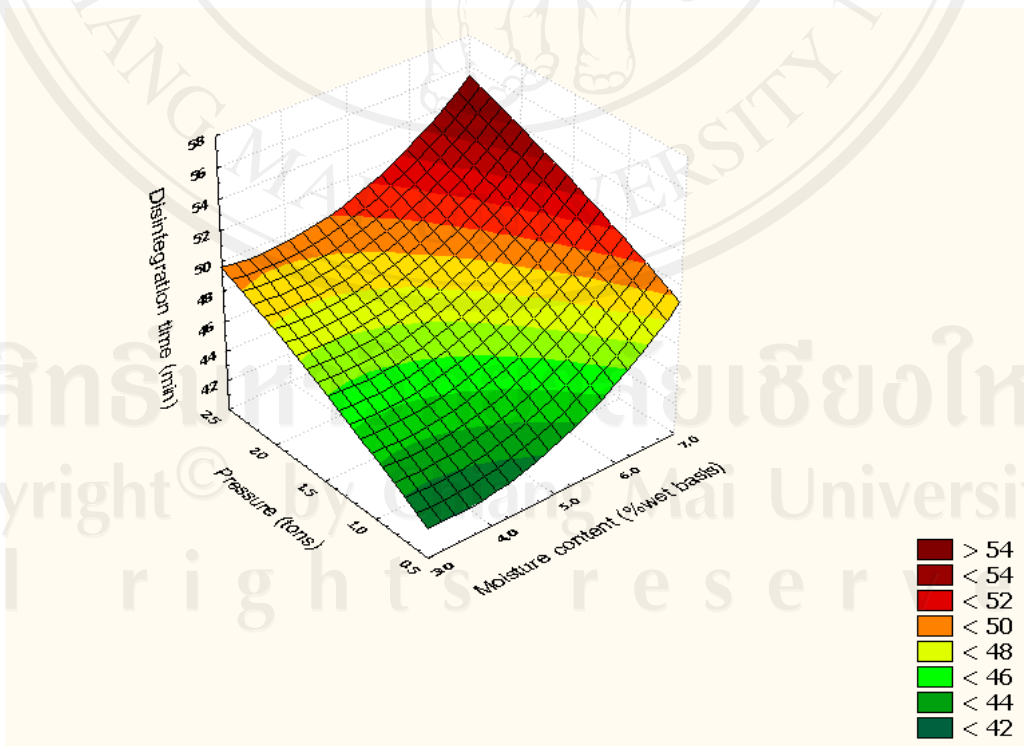
จากผลการศึกษายกย้ด้านความชื้นของผงและแรงในการตอกอัดที่มีผลต่อคุณภาพของนมผงอัดเม็ด แสดงค่าในตารางที่ 4.9 โดยพบว่าความชื้นของผงที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความแข็งของเม็ดนมผงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับแรงตอกอัดที่เท่ากัน ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเพิ่มแรงในการตอกอัดจะมีผลทำให้ความแข็งของเม็ดนมผงเพิ่มขึ้นที่ปริมาณความชื้นของผงเท่ากัน ( $p \leq 0.05$ ) ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีต่อความแข็งของเม็ดนมผงแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าอิทธิพลร่วมของความชื้นและแรงในการตอกอัดเม็ดมีผลทำให้ค่าความแข็งของเม็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งมีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sebhathu *et al.* (1997) ที่นำผงแลคโตสที่ได้จากการวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 0, 11, 22 และ 33% แล้วอัดเม็ดด้วยแรง 0.4-1.6 ตัน (50-200 MPa) พบว่าความชื้นของผงและแรงตอกอัดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความแข็งของเม็ดเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ แต่จากการศึกษาของ Nokhodchi *et al.* (1995) โดยนำผง ibuprofen เก็บในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ 5-98% เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วนำไปตอกอัดเม็ด พบว่าเมื่อความชื้นของผงเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5% (wet basis) จะทำให้ความแข็งของเม็ดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าผงมีความชื้น 5-10% (wet basis) พบว่าความแข็งของเม็ดจะลดลง

นอกจากนี้ยังมีผลต่อระยะเวลาการแตกตัวของนมผงบริสุทธิ์อัดเม็ด โดยพบว่าเมื่อผงมีความชื้นสูงขึ้นจะทำให้เม็ดนมผงที่ได้มีระยะเวลาในการแตกตัวเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อเพิ่มแรงในการตอกอัดมีผลทำให้ระยะเวลาในการแตกตัวของเม็ดเพิ่มขึ้นด้วย ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีต่อระยะเวลาการแตกตัวของเม็ดนมผงในรูปแบบที่ 4.15 พบว่าอิทธิพลร่วมของความชื้นและแรงในการตอกอัดเม็ดมีผลทำให้ระยะเวลาการแตกตัวของเม็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อาจเนื่องมาจากผงที่มีความชื้นสูงขึ้นจะทำให้เกิดการเกาะตัวของอนุภาคจับกันแน่นขึ้น ทำให้น้ำซึมเข้าไปในเม็ดนมผงได้น้อยลง (ทรงวุฒิ, 2550)

จากการศึกษาของทรงวุฒิ (2550) ที่ศึกษาการตอกอัดเม็ดแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ระดับแรงตอกอัด 5 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ตัน พบว่าแรงตอกอัดทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาคภายในเบ้าที่แน่นขึ้น อนุภาคเกิดการเปลี่ยนรูปไป และมีการสร้างพันธะระหว่างอนุภาคขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงตอกอัดขึ้น อนุภาคจะถูกตอกอัดจนสัมผัสใกล้ชิดกันมากขึ้น ทำให้เกิดพันธะระหว่างอนุภาคที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงอัดที่ให้เข้าไป ทำให้เม็ดที่ได้มีความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อเม็ดมีความแข็งเพิ่มขึ้น จึงต้องใช้แรงเพิ่มขึ้นในการทำลายการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคที่ถูกตอกอัดเป็นเม็ดเพื่อให้เม็ดแตกออก ดังนั้นเมื่อสัมผัสน้ำจึงใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการทำให้อุณหภูมิประกอบเกิดการพองตัวจนมีแรงที่มากกว่าแรงยึดเกาะ ทำให้เม็ดแตกตัวช้าลงเมื่อใช้ความดันในการตอกอัดเพิ่มขึ้น และการศึกษาของ Sun and Grant (2001) พบว่าเมื่อเพิ่มระดับแรงตอกอัด จาก 0.05 ตัน ไปจนถึง 0.44 ตัน (6.9-55.2 MPa) ด้วยเครื่อง hydraulic press ในการตอกอัดเม็ดด้วยผงของสาร L-lysine monohydrochloride dehydrate พบว่าความแข็งของเม็ดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับแรงตอกอัดเม็ด ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่ามีผลต่อความแข็งของเม็ดมากกว่าที่ระดับแรงตอกอัดที่เท่ากัน เพราะมีพื้นที่ในการจับตัวกันมากกว่า นอกจากนี้แล้วความชื้นของผงยังมีผลต่อความหนาของเม็ดนมผง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่อระดับความชื้นเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนาของเม็ดเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อใช้แรงในการตอกอัดสูงขึ้นจะทำให้ความหนาลดลง ( $p \leq 0.05$ ) ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีต่อความหนาของเม็ดนมผงแสดงในรูปแบบที่ 4.16

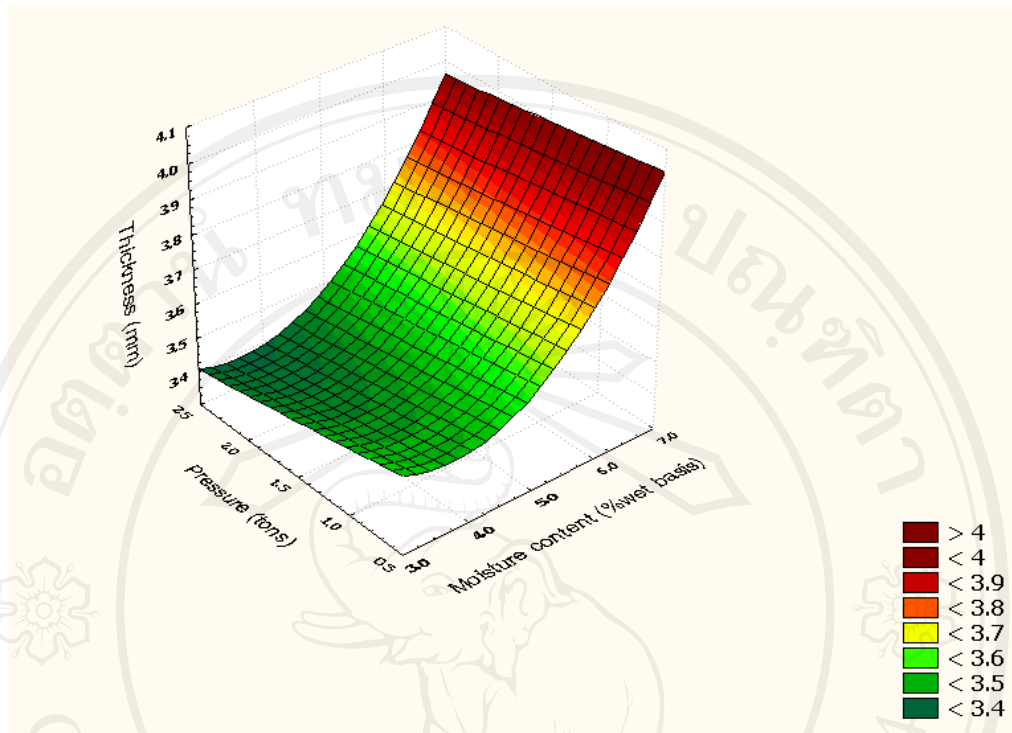


กราฟที่ 4.14 : ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อความแข็งของเม็ดนมผง



กราฟที่ 4.15 : ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อระยะเวลาการแตกตัวของเม็ดนมผง





กราฟที่ 4.16 : ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อความหนาของเม็दनมฝั้

ปัจจัยด้านความชื้นและแรงในการตอกอัดไม่มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักของนมฝั้อัดเม็दनที่ตอกอัดด้วยเครื่องตอกแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) ดังแสดงค่าในตารางภาคผนวก 3 สำหรับการคำนวณหาความแปรปรวนของน้ำหนักของเม็दनมฝั้ พบว่านมฝั้อัดเม็दनที่ผลิตด้วยเครื่องตอกแบบไฮดรอลิกได้นมฝั้อัดเม็दनที่มีความแปรปรวนของน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทุกตัวอย่าง โดยไม่มีเม็दनมฝั้ที่มีน้ำหนักเกินช่วงมาตรฐานจากการคำนวณ (ตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ก-2) และการวิเคราะห์ค่าความกร่อนของเม็दनมฝั้ โดยประเมินจากเศษผงที่หลุดออกจากเม็दनในระหว่างการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความกร่อน พบว่านมฝั้อัดเม็दनไม่มีเศษผงหลุดจากผิวของเม็दनมฝั้ เนื่องจากเม็दनมฝั้ดูดความชื้นในอากาศขณะทำการวิเคราะห์ค่าความกร่อน ทำให้น้ำหนักของเม็दनเพิ่มขึ้นหลังการวิเคราะห์ จึงไม่สามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความกร่อนของนมฝั้อัดเม็दनได้ ซึ่งแสดงว่านมฝั้บริสุทธิ์อัดเม็दनที่ได้ไม่มีเปอร์เซ็นต์การกร่อนของผง ไม่เปราะและไม่แตกหัก

ตารางที่ 4.9 ผลของความชื้นสัมพัทธ์และแรงตอกอัดที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของเม็ดนมผง

ความชื้น (% wet basis)	แรงอัด (tons)	ความแข็ง (kg)	เวลาการแตกตัว (นาที)	ความหนา (mm)
3.07 (RH 0%)	0.5	7.87 <sup>k</sup> ±0.75	41.96 <sup>l</sup> ±0.93	3.51 <sup>hi</sup> ±0.06
	1.0	8.93 <sup>j</sup> ±0.60	43.89 <sup>k</sup> ±0.98	3.51 <sup>hi</sup> ±0.04
	1.5	13.16 <sup>h</sup> ±0.91	47.15 <sup>h</sup> ±0.85	3.47 <sup>j</sup> ±0.05
	2.0	17.88 <sup>c</sup> ±1.06	47.68 <sup>h</sup> ±0.70	3.46 <sup>j</sup> ±0.06
	2.5	19.05 <sup>d</sup> ±0.89	49.42 <sup>de</sup> ±1.05	3.37 <sup>k</sup> ±0.02
4.91 (control)	0.5	7.93 <sup>k</sup> ±0.68	41.92 <sup>l</sup> ±0.99	3.55 <sup>fg</sup> ±0.04
	1.0	9.08 <sup>ji</sup> ±0.75	43.56 <sup>k</sup> ±0.96	3.52 <sup>h</sup> ±0.03
	1.5	13.09 <sup>h</sup> ±0.93	47.39 <sup>h</sup> ±0.88	3.50 <sup>hi</sup> ±0.03
	2.0	17.89 <sup>c</sup> ±0.93	47.88 <sup>h</sup> ±0.84	3.49 <sup>i</sup> ±0.04
	2.5	19.07 <sup>d</sup> ±0.91	49.45 <sup>de</sup> ±0.82	3.46 <sup>j</sup> ±0.05
5.18 (RH 11%)	0.5	9.42 <sup>i</sup> ±0.71	44.95 <sup>j</sup> ±0.52	3.64 <sup>e</sup> ±0.05
	1.0	16.19 <sup>f</sup> ±0.80	46.27 <sup>i</sup> ±0.71	3.56 <sup>f</sup> ±0.02
	1.5	19.36 <sup>d</sup> ±0.80	48.66 <sup>g</sup> ±0.78	3.54 <sup>g</sup> ±0.04
	2.0	20.58 <sup>c</sup> ±0.98	49.99 <sup>cd</sup> ±0.81	3.54 <sup>fg</sup> ±0.04
	2.5	21.34 <sup>b</sup> ±0.93	51.25 <sup>b</sup> ±1.04	3.54 <sup>g</sup> ±0.05
6.51 (RH 22%)	0.5	13.82 <sup>g</sup> ±0.68	47.32 <sup>h</sup> ±0.75	3.89 <sup>a</sup> ±0.04
	1.0	17.82 <sup>c</sup> ±0.91	48.99 <sup>ef</sup> ±0.78	3.87 <sup>b</sup> ±0.04
	1.5	19.02 <sup>d</sup> ±0.89	50.40 <sup>c</sup> ±0.80	3.84 <sup>c</sup> ±0.08
	2.0	20.97 <sup>b</sup> ±0.99	51.19 <sup>b</sup> ±1.03	3.82 <sup>d</sup> ±0.03
	2.5	23.21 <sup>a</sup> ±0.99	54.61 <sup>a</sup> ±1.19	3.80 <sup>d</sup> ±0.02

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 พบว่าระยะเวลาการแตกตัวและความแข็งของนมผงอัดเม็ดที่มีการปรับความชื้นสัมพัทธ์ระดับ 0% ไม่แตกต่างกับนมผงที่ไม่ผ่านการปรับความชื้น (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่จากตารางที่ 4.6 พบว่าสมบัติด้านการไหลของนมผงที่มีการปรับความชื้นสัมพัทธ์ระดับ 0% มีค่าต่ำกว่านมผงที่ไม่ผ่านการปรับความชื้น (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) มีการไหลของผงที่ต่ำกว่านมผงที่ไม่ได้ปรับความชื้น รวมถึงค่า  $a_w$  และความชื้นที่ต่ำกว่า control จึงเลือกนมผงที่มีการปรับความชื้นในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 0% และแรงตอกอัดที่ระดับไม่เกิน 0.5 ตัน (500 กิโลกรัม) ซึ่งมีค่าความแข็งและระยะเวลาการแตกตัวของเม็ดนมผงน้อยที่สุด

#### 4.4 การเพิ่มขนาดการผลิตนมผงอัดเม็ดโดยใช้เครื่องอัดเม็ดแบบสากลเดียว (single punch tableting machine)

นำนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 0% และแรงในการตอกอัดเม็ดประมาณ 500 กิโลกรัม มาใช้ผลิตนมผงอัดเม็ดโดยเพิ่มขนาดการผลิตด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบสากลเดียว (single punch tableting machine) เนื่องจากการผลิตนมผงอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ hydraulic press นั้น มีกำลังการผลิตต่ำ (อัดได้ทีละ 1 เม็ด/ครั้ง) ไม่เหมาะสมต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม แต่ใช้เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการผลิตได้ ดังนั้นจึงนำมาผลิตนมผงอัดเม็ด โดยการตอกอัดผงนมผงบริสุทธิ์โดยปรับสภาวะภายในห้องทดลองให้มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 45 % อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส (Masaaki *et al.*, 2002) เพื่อป้องกันการดูดความชื้นของนมผงผง ทำให้ผงนมผงสามารถไหลลงสู่เป้าตอกได้

จากการวิเคราะห์คุณภาพของนมผงอัดเม็ดได้ผลดังตารางที่ 4.7 พบว่านมผงอัดเม็ดมีสีเหลืองนวล มีค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ  $90.37\pm 0.22$ ,  $-3.06\pm 0.17$  และ  $21.96\pm 0.25$  ตามลำดับ เม็ดนมผงมีลักษณะผิวหน้าโค้ง มี เส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเท่ากับ  $8.57\pm 0.01$  และ  $4.82\pm 0.08$  ตามลำดับ เม็ดนมผงมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย  $257.53 \pm 6.72$  มิลลิกรัม มีความแข็ง  $7.58\pm 0.70$  กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการแตกตัวโดยเฉลี่ยประมาณ  $42.15 \pm 1.48$  นาที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุภาคของนมผงผงค่อนข้างเล็ก เมื่ออยู่ภายใต้แรงตอกอัด ทำให้มีช่องว่างภายในน้อย อนุภาคเกาะกันด้วยพันธะที่แข็งแรง (Nokhodchi *et al.*, 1995) เมื่อทำการวิเคราะห์การแตกตัวจะพบว่าลักษณะของนมผงอัดเม็ดจะเกิดการพองตัว เกิดเป็นชั้นของเหลว (liquid bridge) ที่บริเวณผิวโดยรอบ ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปภายในได้ยาก จึงใช้เวลาในการแตกตัวนาน และเมื่อวิเคราะห์ค่าความกร่อนของนมผงบริสุทธิ์อัดเม็ด พบว่านมผงอัดเม็ดไม่มีเศษผงหลุดออกมาในระหว่างทดสอบ เม็ดนมผงไม่เกิดการแตกหัก เนื่องจากนมผงอัดเม็ดมีความสามารถในการดูดความชื้นที่ผิวเร็ว ทำให้น้ำหนักหลังจากการ

วิเคราะห์หาค่าเพิ่มขึ้น ไม่มีเศษผงหลุดออกมา จึงถือว่านมผงบริสุทธิ์อัดเม็ดไม่มีเปอร์เซ็นต์ค่าการกร่อน

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางกายภาพของนมผงอัดเม็ดที่เพิ่มขนาดการผลิตด้วยเครื่องอัดเม็ดสากลเดี่ยว

สมบัติของเม็ดนมผง	Mean $\pm$ SD
ค่า L*	90.37 $\pm$ 0.22
ค่า a*	-3.06 $\pm$ 0.17
ค่า b*	21.96 $\pm$ 0.25
เวลาการแตกตัว (นาที)	42.15 $\pm$ 1.48
เส้นผ่านศูนย์กลาง(mm)	8.57 $\pm$ 0.01
ความหนา (mm)	4.82 $\pm$ 0.08
น้ำหนัก(mg)	257.53 $\pm$ 6.72
ความแข็ง (kg)	7.58 $\pm$ 0.70
ความกร่อน (%)	ไม่กร่อน



รูปที่ 4.17 : นมผงบริสุทธิ์อัดเม็ดที่ผลิตด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบสากลเดี่ยว

นมผึ้งปริมาณ 300 กรัมสามารถผลิตเป็นเม็ดขนาด 250 มิลลิกรัม ได้ประมาณ 1060 เม็ด คิดเป็นปริมาณผลผลิต 88.33% ของน้ำหนักนมผึ้ง ทั้งนี้เกิดการสูญเสียระหว่างการตอกอัดค่อนข้างมาก เนื่องจากผงนมผึ้งอาจมีการดูดซับความชื้นในช่วงหลังของการตอกอัด จึงทำให้การไหลลงสู่เบ้าตอกในช่วงท้ายของการตอกอัดไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้นมผึ้งเม็ดที่มีลักษณะไม่เต็มเม็ดจึงต้องหยุดเครื่องก่อน

สำหรับการนำวิธีการอัดเม็ดมาประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นมผึ้งนั้น ก่อนหน้านี้พบว่านมผึ้งมีสมบัติในการเกาะตัวค่าเม็ดที่อัดเกิดการอ่อนตัว ลึกกร่อนและแตกง่าย จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับสารช่วยการเกาะตัวที่จะใช้ในกระบวนการอัดเม็ดนมผึ้ง ผลิตนมผึ้งอัดเม็ดที่มีส่วนประกอบแตกต่างกัน เช่น (1) นมผึ้ง 75% ผสมกับ isoflavon starch 20% sugar ester 3% โดยใช้แรงในการตอกอัด 1400 กิโลกรัม (1.4 ตัน) ผลิตด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ rotary เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ด 9 มิลลิเมตร น้ำหนัก 310 มิลลิกรัมต่อเม็ด ได้นมผึ้งที่มีความแข็ง 14.5 กิโลกรัม เม็ดนมผึ้งที่ได้ไม่แตกหัก และไม่ติดสากและเบ้าระหว่างการผลิต (capping) (2) ใช้ผงนมผึ้ง 75% isoflavon ผสมกับ granulation starch 20% และ sugar ester 2.8% ได้นมผึ้งที่มีความแข็ง 5 กิโลกรัม (3) เพิ่ม maltose ผงลงไปในส่วนผสมแบบที่ 1 จะทำให้เม็ดนมผึ้งมีความแข็งลดลงเหลือ 3.5 กิโลกรัม แต่ทำให้เกิดการติดกับสากและเบ้าทำให้ได้เม็ดที่เกิด capping (4) เพิ่มแป้งข้าวโพดและ porosity starch ผงลงไปในส่วนผสมแบบที่ 1 จะทำให้ได้เม็ดนมผึ้งที่มีความแข็ง 1.1 กิโลกรัม แต่เม็ดที่ได้เกิดการแตกหักเปราะ และเกิด capping (5) เพิ่ม dietary fiber ผงลงไปในส่วนผสมแบบที่ 1 จะทำให้เม็ดนมผึ้งมีความแข็ง 1.9 กิโลกรัม และเกิด capping (6) เพิ่ม crystalline cellulose ผสมกับส่วนผสมแบบที่ 1 จะได้นมผึ้งที่มีความแข็ง 3.7 กิโลกรัม (7) ใช้นมผึ้ง 80% porosity starch 10% ผง maltose 7% และ sugar ester 3% ทำให้ได้นมผึ้งที่มีความแข็ง 8 กิโลกรัม เม็ดที่ได้ไม่แตกหัก และไม่เกิด capping (8) ใช้นมผึ้งที่มีการย่อยด้วยเอนไซม์ 80% ผสมกับส่วนผสมแบบที่ 7 จะได้นมผึ้งที่มีความแข็ง 7 กิโลกรัม เม็ดนมผึ้งไม่แตกหัก ไม่เหนียว ไม่เกิด laminating (9) ใช้นมผึ้ง 50% เกสรจากผึ้ง 10% ผสมกับ porosity starch ผง 30% นมผงแคลเซียม 5% และ sugar ester 5% ได้เม็ดนมผึ้งที่มีความแข็ง 9 กิโลกรัม เม็ดที่ได้ไม่เกิดการแตกหัก ไม่เหนียว ไม่เกิด laminating และ capping (Kazuhisa and Kazunori, 2007). เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตนมผึ้งบริสุทธิ์อัดเม็ดที่ได้จากการทดลองซึ่งมีความแข็งประมาณ 7 กิโลกรัม ไม่เกิดการแตกหัก แต่จะเหนียวถ้าสัมผัสอากาศ เนื่องจากมีการดูดความชื้นที่ผิวเร็ว แต่สามารถป้องกันการเหนียวโดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยป้องกันการสัมผัสความชื้นจากอากาศได้ ซึ่งความแข็งของเม็ดนมผึ้งมีค่าใกล้เคียงกับการผลิตในแบบที่ 7 ของ Kazuhisa and Kazunori (2007)



#### 4.5 ลักษณะ sorption isotherm ของนมผงอัดเม็ด

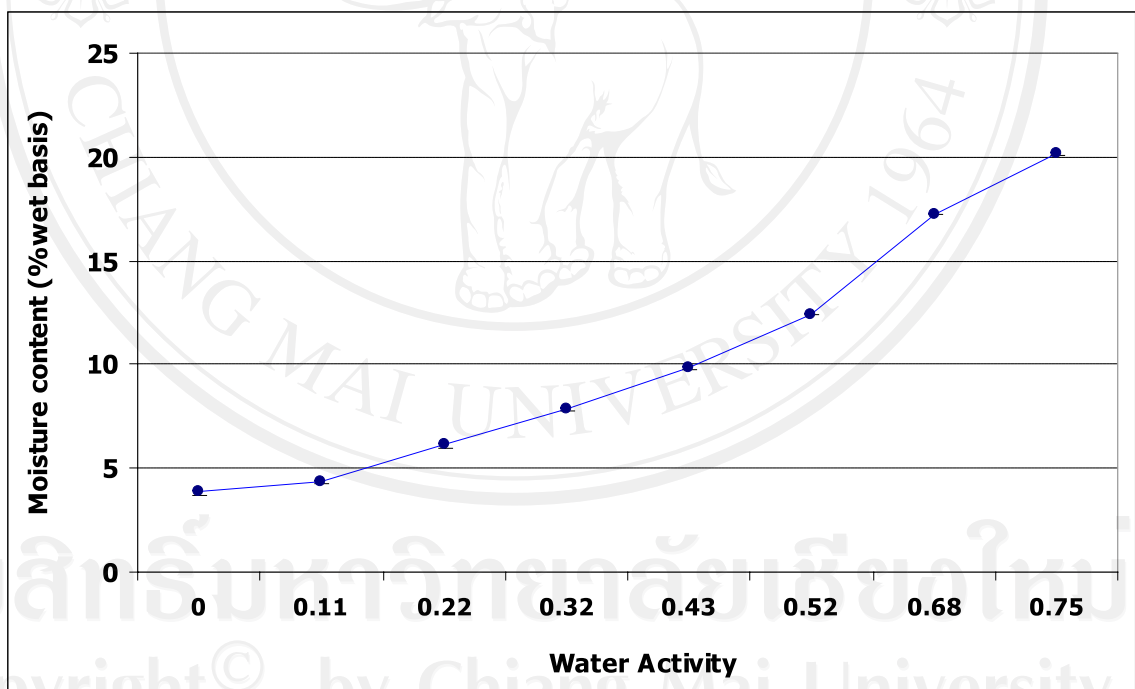
นำนมผงอัดเม็ดที่ผลิตในตอนที 4.4 มาศึกษาลักษณะ sorption isotherm โดยเก็บตัวอย่างนมผงอัดเม็ดที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน 8 ระดับ (0-75%) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพของนมผงอัดเม็ด



รูปที่ 4.18 : ลักษณะของนมผงอัดเม็ดที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 8 ระดับ

ลักษณะของ sorption isotherm ของนมผงอัดเม็ดแสดงในกราฟที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นกราฟของค่าความชื้นในนมผงอัดเม็ดมีความชันเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือ  $a_w$  แสดงเป็นกราฟของ sorption isotherm ซึ่งจะมีกระบวนการเพิ่มความชื้น (adsorption) เกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และมีผลต่อค่า  $a_w$  ด้วย (นิธิยา, 2549) ลักษณะของ sorption isotherm จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและส่วนที่เป็นองค์ประกอบภายในของอาหาร เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนถึงคุณภาพ และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา จากปริมาณความชื้นของนมผงที่เพิ่มขึ้นในตารางที่ 4. 11 และความชันของเส้นกราฟที่ 4.19 พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์นมผงบริสุทธิ์อัดเม็ดมี

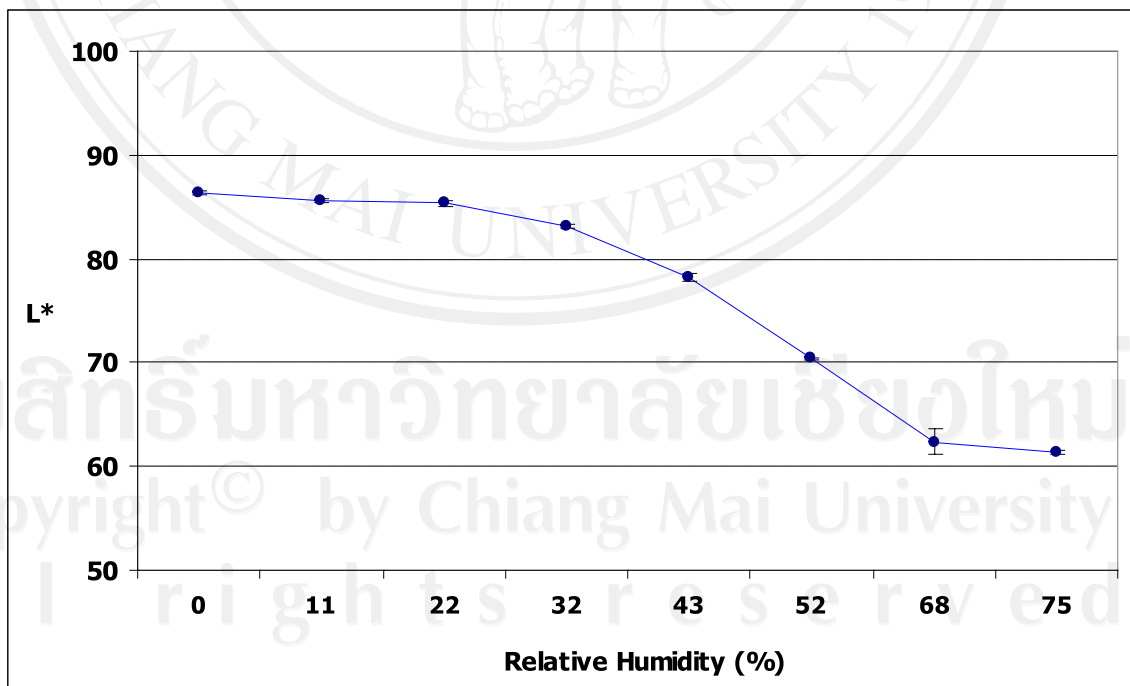
ความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟ adsorption isotherm จะมีความชันมาก แสดงว่านมผงเป็นผลิตภัณฑ์ไวต่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เพิ่มขึ้น (hygroscopic product) เนื่องจากอาหารที่มีสมบัติเป็น hygroscopic นั้นเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (นิธิยา, 2549) เมื่อสังเกตลักษณะภายนอกแล้วพบว่าเมื่คนมผงเก็บรักษาที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 43% เริ่มมีสีเข้มชัดเจนขึ้น (ดังรูปที่ 4.18) และที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 52% ขึ้นไป เมื่คนมผงจะมีลักษณะเป็นเจลนุ่มโดยรอบ เปื่อยยุ่ย มีสีเข้ม เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นนมผงอัดเม็ดจะเกิดการพองตัว เกิดเป็นชั้นของเหลว (liquid bridge) ที่บริเวณผิวโดยรอบ ความสามารถในการดูดซับน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดชั้นของเหลว (liquid bridge) (Saša *et al.*, 2006) เนื่องจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ (เช่น น้ำตาล เกลือ) จะดูดซับน้ำโมเลกุลไว้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดชั้นของเหลวที่ผิวเมื่ออยู่ในสภาวะความชื้นสูง (Mollab and Celik, 1995)



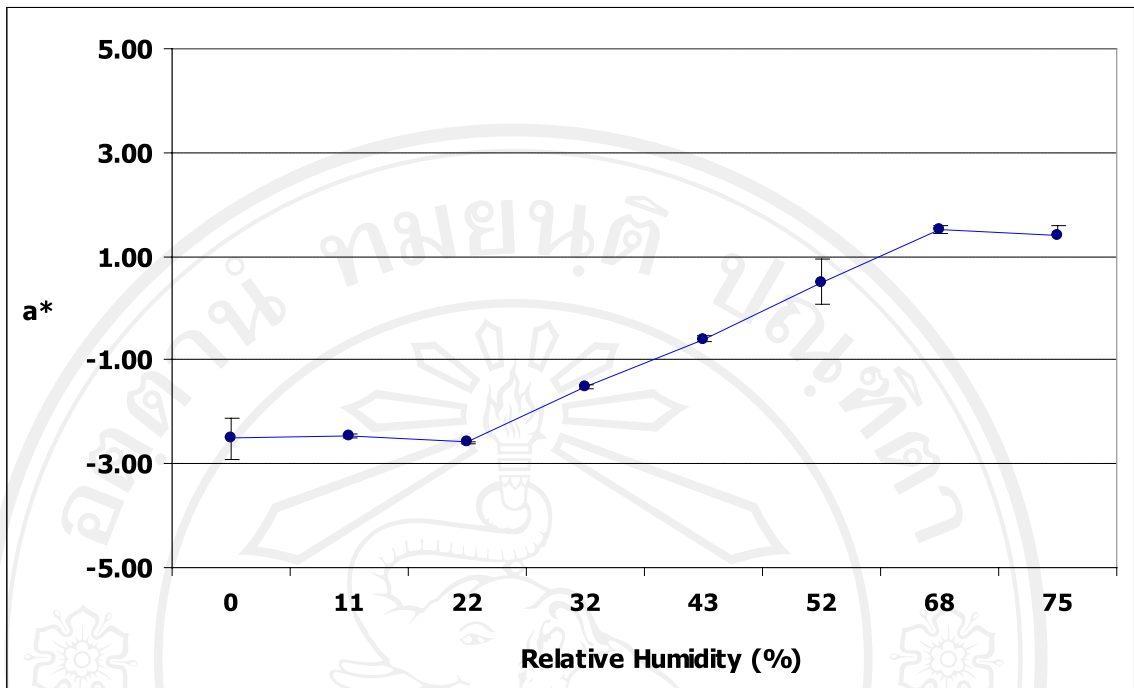
กราฟที่ 4.19 ลักษณะ sorption isotherm ของนมผงอัดเม็ด

ตารางที่ 4.11 ผลการศึกษา sorption isotherm ของนมผงอัดเม็ดที่ความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่างๆ

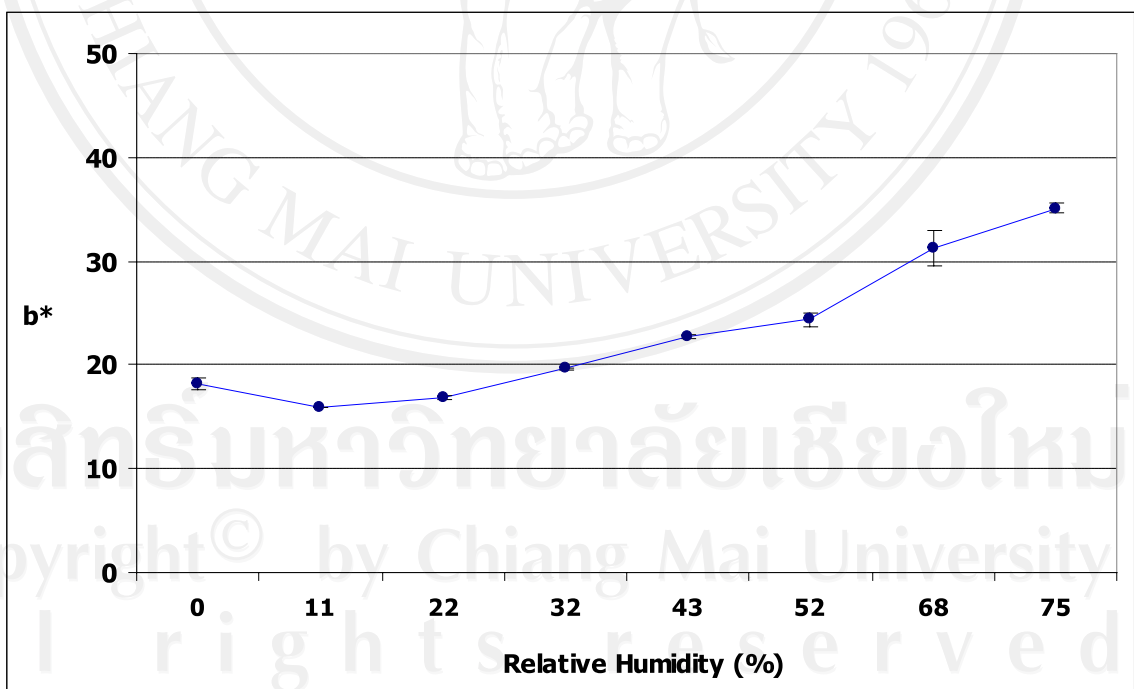
$a_w$ ที่สถานะ ควบคุม	ความชื้น สัมพัทธ์ (%) ในระบบปิด	$L^*$	$a^*$	$b^*$	ความชื้น (% wet basis)
0.00	0	$86.35 \pm 0.25$	$-2.51 \pm 0.40$	$18.14 \pm 0.52$	$3.85 \pm 0.14$
0.11	11	$85.58 \pm 0.14$	$-2.47 \pm 0.03$	$15.88 \pm 0.05$	$4.37 \pm 0.14$
0.22	22	$85.36 \pm 0.29$	$-2.59 \pm 0.03$	$16.85 \pm 0.12$	$6.11 \pm 0.10$
0.32	32	$83.11 \pm 0.23$	$-1.52 \pm 0.05$	$19.61 \pm 0.15$	$7.84 \pm 0.08$
0.43	43	$78.22 \pm 0.43$	$-0.63 \pm 0.06$	$22.72 \pm 0.20$	$9.85 \pm 0.10$
0.52	52	$70.39 \pm 0.12$	$0.51 \pm 0.42$	$24.37 \pm 0.66$	$12.39 \pm 0.03$
0.68	68	$62.40 \pm 1.21$	$1.52 \pm 0.08$	$31.28 \pm 1.68$	$17.27 \pm 0.03$
0.75	75	$61.41 \pm 0.17$	$1.41 \pm 0.17$	$35.13 \pm 0.40$	$20.15 \pm 0.09$



กราฟที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  ของนมผงอัดเม็ดที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ



กราฟที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของนมพื้งอัดเม็ดที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ



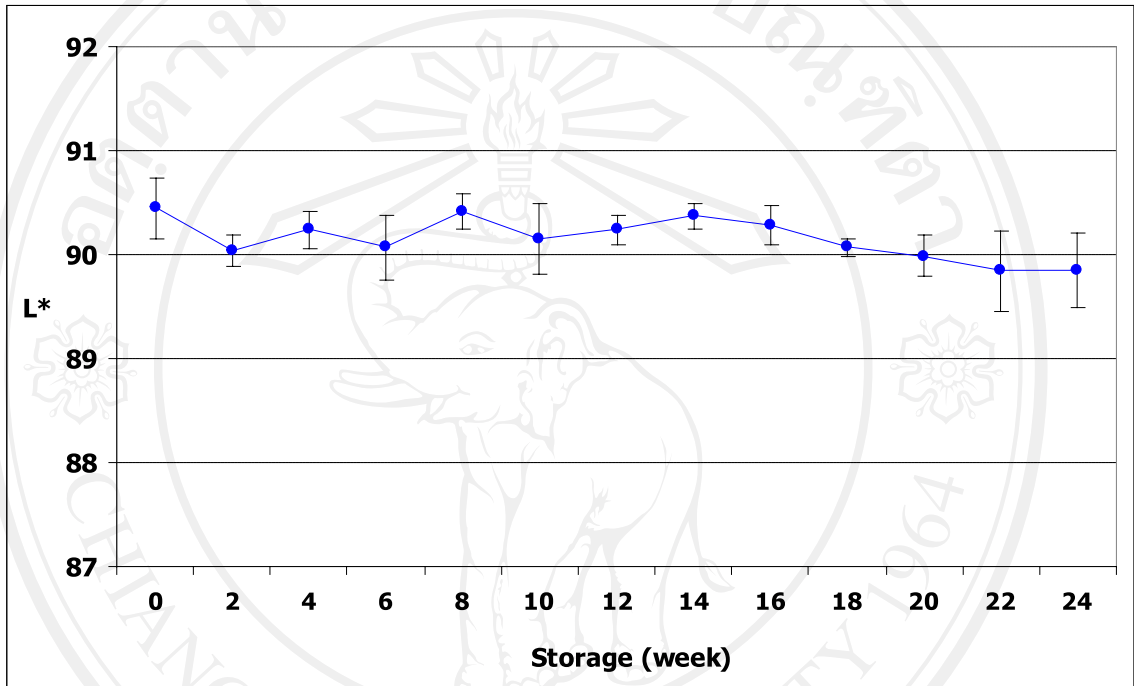
กราฟที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  ของนมพื้งอัดเม็ดที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

นมผงอัดเม็ดมีค่า  $L^*$  ลดลง ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น (กราฟที่ 4.20) ค่า  $L^*$  เริ่มลดลง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 22% และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 32% สำหรับค่า  $a^*$  (กราฟที่ 4.21) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 22% โดยค่าที่เพิ่มขึ้นแสดงว่าค่า สีแดงเพิ่มขึ้น และค่า  $b^*$  (กราฟที่ 4.22) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 22% เช่นกัน การที่นมผงอัดเม็ดมีสีเหลืองเข้มขึ้นเรื่อยๆ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในนมผงอัดเม็ด ซึ่งค่า  $a_w$  ที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบภายในของผลิตภัณฑ์นม ผึ่ง โดยปฏิกิริยานี้จะไม่เกิดขึ้นเมื่อ  $a_w$  ของอาหารมีค่าต่ำกว่า 0.25 แต่จะเริ่มสูงขึ้นเมื่อ  $a_w$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.4 และจะเกิดอย่างรวดเร็วและถึงจุดสูงสุดเมื่อ  $a_w$  เป็น 0.8 เพราะความชื้นที่เพิ่มมากขึ้น ช่วยทำให้ซบสเตรตเคลื่อนย้ายได้ง่าย (นิธิยา, 2549)

#### 4.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของนมผงอัดเม็ดในระหว่างการเก็บรักษา

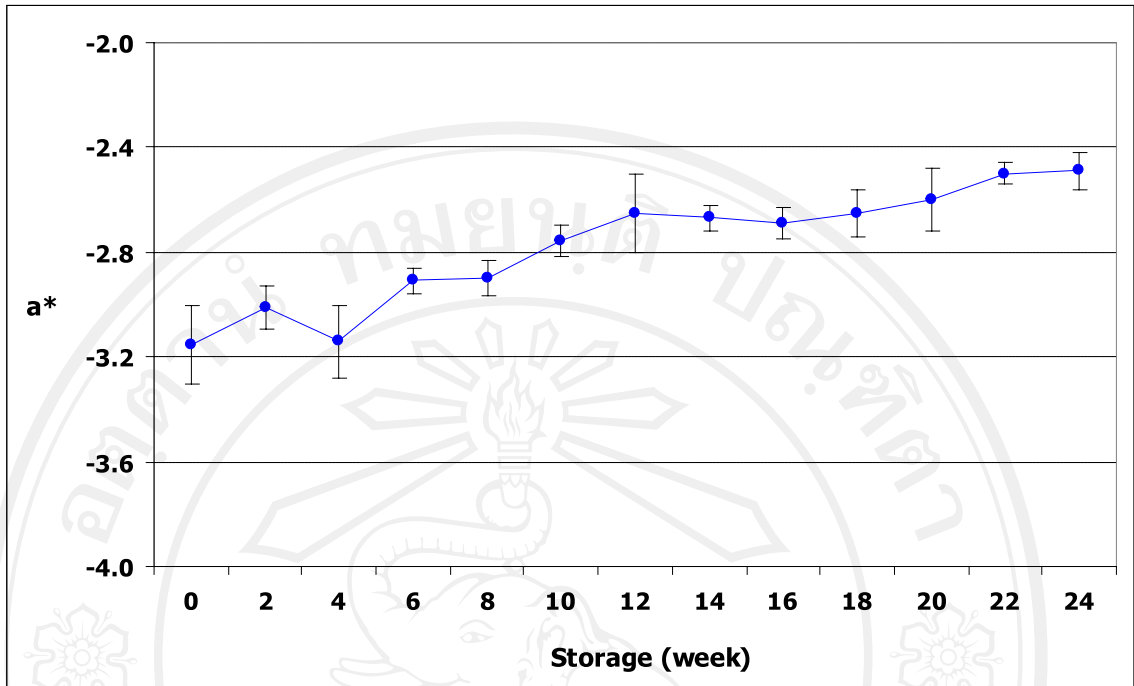
นมผงอัดเม็ดที่ผลิตในตอนต้นที่ 4.4 มาบรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ ขนาด 7.3x10.5 ตาราง เซนติเมตร ผลิตจากฟิล์มพลาสติกประกบ (laminated plastic film) OPP 20 $\mu$ m/LDPE 25  $\mu$ m/Al 7  $\mu$ m/LDPE 20  $\mu$ m/LLDPE 30  $\mu$ m (OPP = oriented polypropylene, LDPE = low density polyethylene, LLDPE = linear low density polyethylene) เก็บไว้ที่สภาวะจริงที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 28 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-70%) เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ (6 เดือน) สุ่ม ตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ พบว่าเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสี เล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา โดยค่า  $L^*$  ลดลงจาก 90.45 $\pm$ 0.29 เป็น 89.75  $\pm$ 0.35 (กราฟที่ 4.23) ส่วนค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นจาก -3.15  $\pm$ 0.15 เป็น -2.49  $\pm$ 0.07 และ 19.89  $\pm$ 0.13 เป็น 22.40 $\pm$ 0.36 ตามลำดับ (ดังกราฟที่ 4.24 และ 4.25) นมผงอัดเม็ดมีสีเหลืองเข้มขึ้นเล็กน้อยตลอด ระยะเวลาในการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสีเหลือง (+ $b^*$ ) และสีแดง (+ $a^*$ ) โดยนมผงที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่ เยือกแข็งจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ง่ายกว่านมผงสด เนื่องจากการทำแห้งทำให้ปริมาณ โปรตีน และน้ำตาลในนมผงเข้มข้นขึ้น (Messia *et al.*, 2005) ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ ความชื้น ค่า  $a_w$  และอุณหภูมิ (Miao and Roos, 2006) โดยผลิตภัณฑ์นมผงบริสุทธิ์อัดเม็ดนั้น มีความชื้นไม่เกิน 5% (wet basis) และค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.2 ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ช้าเมื่อ  $a_w$  ของอาหาร มีค่าต่ำกว่า 0.25 (นิธิยา, 2549) อีกทั้งยังเก็บในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ซึ่งป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี สามารถป้องกันแสงจากภายนอกที่จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้อีกด้วย (นงสุดา, 2545) ดังนั้นจึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นได้น้อย จึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี

ตลอดอายุการเก็บรักษาน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ นงสุดา (2545) ที่เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วแดง หลวงอัดเม็ด เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่า  $L^*$  ลดลง ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างโปรตีนและน้ำตาลในนมผงและแป้งถั่วแดงที่ใช้เป็นส่วนประกอบ รวมทั้งเกิดสารสีน้ำตาลเมลานอยดิน (melanoidins) ขึ้นด้วย

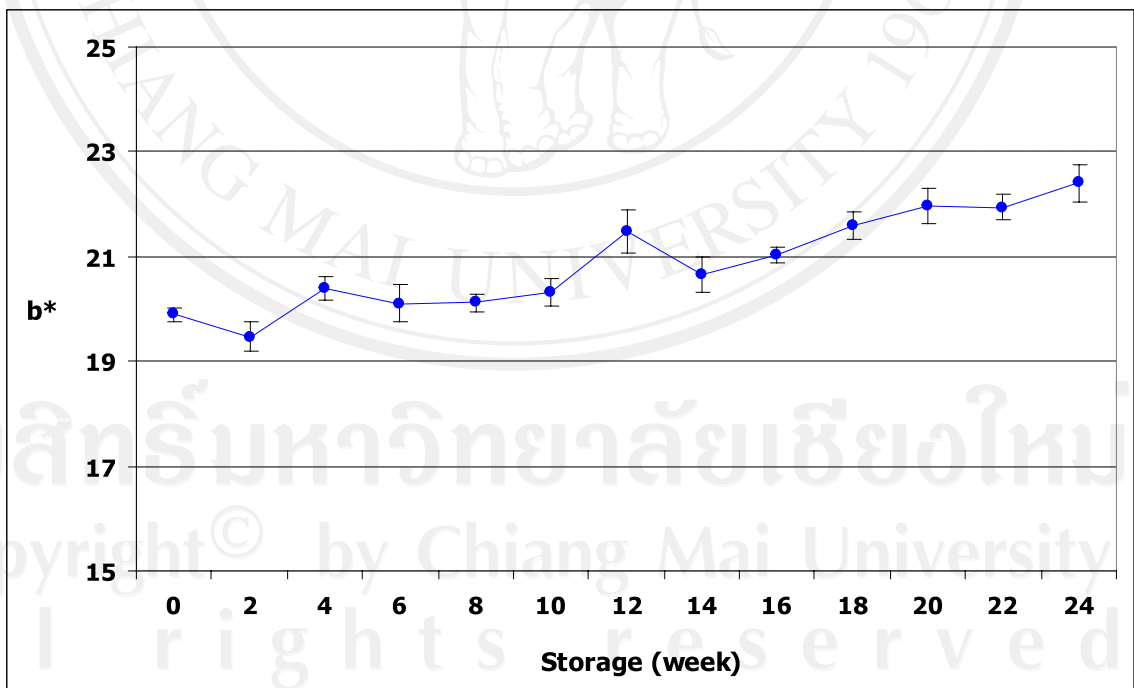


กราฟที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  ของนมผงอัดเม็ดระหว่างเก็บรักษา



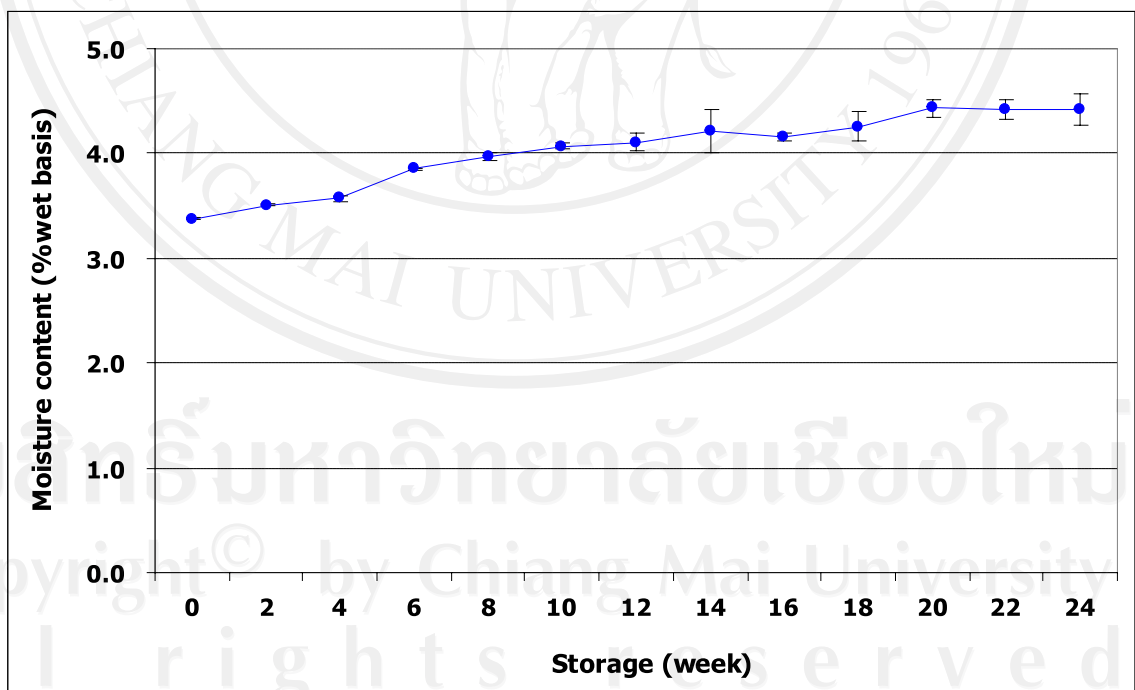


กราฟที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของนมผงอัดเม็ดระหว่างเก็บรักษา

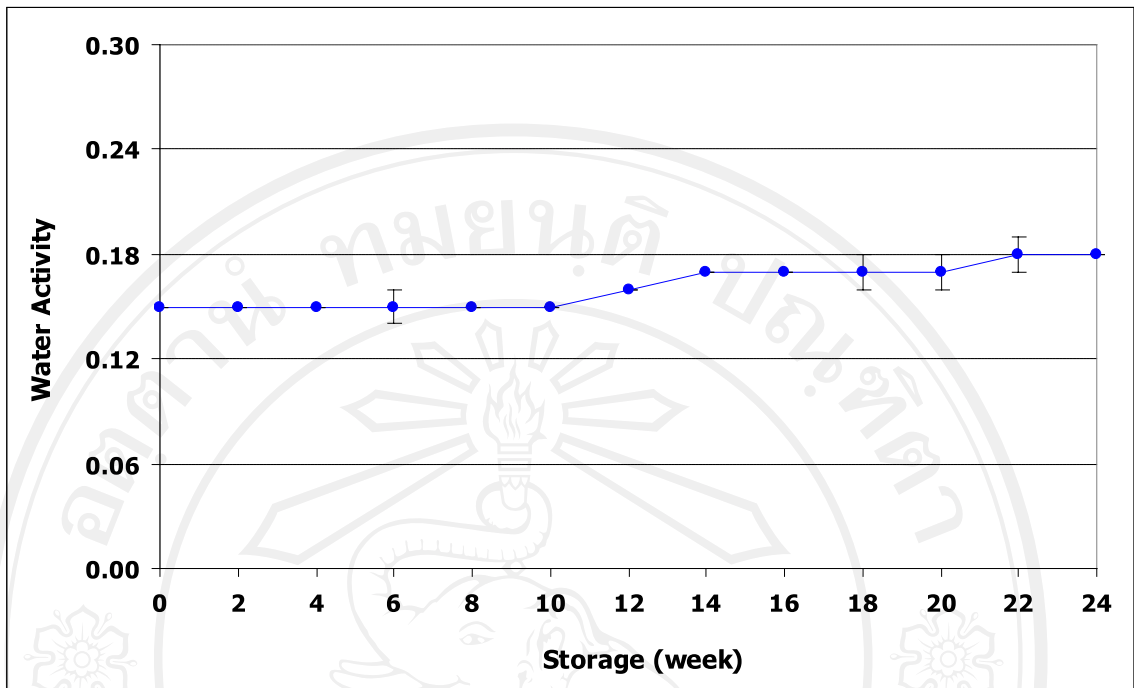


กราฟที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า  $b^*$  ของนมผงอัดเม็ดระหว่างเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อครบระยะเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าปริมาณความชื้นและค่า  $a_w$  ของนมผงอัดเม็ดเพิ่มขึ้น โดย นมผงอัดเม็ดมีความชื้นเพิ่มขึ้นจาก  $3.38 \pm 0.01\%$  เป็น  $4.42 \pm 0.15\%$  (wet basis) (กราฟที่ 4.26) และมีค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นจาก  $0.15 \pm 0.00$  เป็น  $0.18 \pm 0.01$  (กราฟที่ 4.27) ซึ่งอยู่ระดับต่ำ ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์นมผงบริสุทธิ์อัดเม็ดมีค่าต่ำกว่า 5% (wet basis) ซึ่งได้มาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (ภาคผนวก ข) ที่ระบุให้ผลิตภัณฑ์นมผงที่มีการระเหยน้ำออกจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 5% (wet basis) นมผงอัดเม็ดมีค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ที่ระบุให้นมถั่วเหลืองอัดเม็ดต้องมีค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.6 (ภาคผนวก ค) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการบรรจุนมผงอัดเม็ดลงในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่อยู่ในอากาศได้ดี (นงสุดา, 2545) จึงทำให้ปริมาณความชื้นและค่า  $a_w$  ของผลิตภัณฑ์นมผงอัดเม็ดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือนมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยค่าความชื้นและค่า  $a_w$  ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษานั้น อาจเกิดจากการถ่ายเทความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์และบรรยากาศภายในถุงอะลูมิเนียมพอยล์



กราฟที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของนมผงอัดเม็ดระหว่างการเก็บรักษา



กราฟที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงค่า  $a_w$  ของนมผึ้งอัดเม็ดระหว่างการเก็บรักษา

ซึ่งสอดคล้องกับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นมอัดเม็ดเสริมโปรตีนของมยุรฉัตร (2550) ซึ่งเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ในสภาวะจริงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน พบว่านมอัดเม็ดเสริมโปรตีนมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 2.31% เป็น 2.79% ( wet basis) และค่า  $a_w$  ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจาก 0.219 เป็น 0.318 ผลิตภัณฑ์ยังคงคุณภาพหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน นอกจากนี้ นางสาว (2545) ได้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วแดงหลวงอัดเม็ด เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงด้านความชื้นจาก 3.55% เป็น 5.45% และ 5.02% ที่อุณหภูมิ 0 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นจาก 0.23 เป็น 0.38 ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และ 0.44 ที่ 35 องศาเซลเซียส และ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโปรตีนอัดเม็ดจากไข่แดงผงและนมผงของวุฒินันท์ (2541) เมื่อเก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงด้านความชื้นจาก 2.23% เป็น 2.78% และ 3.14% ที่อุณหภูมิ 0 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นจาก 0.186 เป็น 0.237 ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และ 0.243 ที่ 28 องศาเซลเซียส ดังนั้นผลิตภัณฑ์นมผึ้งบริสุทธิ์อัดเม็ดที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์ และเมื่อวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ ยีสต์และรา ในนมผึ้งอัดเม็ดระหว่างการเก็บรักษา ไม่พบว่าการเจริญของจุลินทรีย์ (<10 โคโลนี/กรัม) เนื่องจากนมผึ้งอัดเม็ดมีความชื้นและระดับ  $a_w$  ต่ำ ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงทำให้นมผึ้งบริสุทธิ์อัดเม็ดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์มีความปลอดภัยในการบริโภค ซึ่งงานวิจัยของ Pisanu (1990) ที่ศึกษา

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นมผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นเวลา 5 เดือน พบว่าการเก็บรักษานมผงด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์จะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าความสามารถในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ ปริมาณโปรตีนและสาร 10 HDA สูงกว่าการใช้ถุง HDPE ในการบรรจุ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยรักษาคุณภาพของนมผงได้มากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นการบรรจุผลิตภัณฑ์นมผงอัดเม็ดด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์จึงสามารถเก็บรักษาเม็ดนมผงให้มีความปลอดภัยต่อการบริโภคได้นาน 6 เดือน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved