

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 นมผงหรือรอยัลเลดี้	4
2.2 สมบัติสำคัญของอาหารผง	16
2.3 การตอกอัดเม็ด	29
2.4 Sorption Isotherm	46
บทที่ 3 อุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุดิบ	53
3.2 สารเคมี	53
3.3 บรรจุภัณฑ์	53
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์	54
3.5 วิธีการศึกษา	55

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยาของนมผงสด	68
4.2 สมบัติของนมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	70
4.3 อิทธิพลของปริมาณความชื้น และแรงอัดที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของเม็ดนมผง	75
4.4 การเพิ่มขนาดการผลิตนมผงอัดเม็ดโดยใช้เครื่องอัดเม็ดแบบสากลเดียว	93
4.5 ลักษณะ sorption isotherm ของนมผงอัดเม็ด	96
4.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของนมผงอัดเม็ดในระหว่างการเก็บรักษา	100
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	106
เอกสารอ้างอิง	109
ภาคผนวก	121
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยา	122
ภาคผนวก ข ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 294 (พ.ศ. 2548)	128
ภาคผนวก ค มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน นมถั่วเหลืองอัดเม็ด	133
ภาคผนวก ง ตารางผลการทดลอง	140
ภาคผนวก จ ภาพประกอบการวิจัย	144
ประวัติผู้เขียน	149

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 องค์ประกอบของนมผง	7
2.2 วิตามินที่พบในนมผง	8
2.3 กรดอะมิโนอิสระที่พบในนมผง	9
2.4 สอร์โม่ที่พบในนมผง	10
2.5 แร่ธาตุที่พบในนมผง	10
2.6 ข้อดีและข้อเสียของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	15
2.7 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคในอาหารชนิดต่างๆ	17
2.8 คำนิยามลักษณะของอาหารผง	17
2.9 สมบัติการไหลของอาหารผงจากการวัดค่ามุมกองแบบสถิต	24
2.10 การจัดประเภทความสามารถในการไหลของผงที่นำไปใช้ในกระบวนการอัดเม็ด	24
2.11 สมบัติการไหลของผงจากค่า compressibility ratio	27
2.12 สมบัติการไหลของผงจากค่า Hauser ratio (HR)	27
2.13 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตโดยวิธีตอกเม็ดโดยตรงและวิธีแกรนูลแบบเปียก	36
2.14 สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาในการตอกเม็ดและแนวทางการแก้ไข	38
2.15 ขอบเขตการเบี่ยงเบนของน้ำหนักเม็ดตัวอย่าง	42
2.16 ค่า α_w ของสารละลายเกลือที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 25°C	50
3.1 สารละลายเกลือที่ใช้ปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ สำหรับนมผงผง	60
3.2 สารละลายเกลือที่ใช้ปรับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ 8 ระดับ สำหรับนมผงอัดเม็ด	66
4.1 สมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของนมผงสด	68
4.2 ปริมาณการผลิตนมผงผง	70
4.3 ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของนมผงผง	72
4.4 สมบัติทางกายภาพของนมผงผง	74
4.5 ค่าสีของผงนมผงที่นำมาปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ	77
4.6 สมบัติด้านการไหลของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่างๆ	81

ตาราง	หน้า
4.7 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ	83
4.8 ผลของความชื้นสัมพัทธ์และแรงตอกอัดที่มีผลต่อค่าสีของนมผงอัดเม็ด	87
4.9 ผลของความชื้นสัมพัทธ์และแรงตอกอัดที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของเม็ดนมผง	92
4.10 สมบัติทางกายภาพของนมผงอัดเม็ดที่เพิ่มขนาดการผลิตด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบสากเดี่ยว	94
4.11 ผลการศึกษา sorption isotherm ของนมผงอัดเม็ดที่ความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่างๆ	98
ง-1 ผลการวิเคราะห์ size distribution โดยใช้ Particle size analyzer ของนมผงที่ใช้ Hammer mil ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร	141
ง-2 ผลการวิเคราะห์ size distribution โดยใช้ Particle size analyzer ของนมผงที่ใช้ Hammer mil ตะแกรงขนาด 1.2 มิลลิเมตร	141
ง-3 อิทธิพลของความชื้นและแรงตอกที่มีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักของเม็ดนมผง	142
ง-4 ผลของการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ และเคมีของนมผงอัดเม็ดระยะเวลา 24 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 28±3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-70%	143

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 คอนสำหรับผลิตนมผง	5
2.2 ขั้นตอนการผลิตนมผง	6
2.3 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันที่มีอยู่ในนมผง	11
2.4 รูปร่างของอนุภาคผง	20
2.5 เครื่องเขย่าเพื่อหาปริมาณอัดแน่นของผง	22
2.6 การวัดค่ามุมกองของอาหารผงแบบสถิตย์	23
2.7 การวัด Dynamic angle of repose (a คือผิวลาดเอียงเริ่มต้น, b คือผิวลาดเอียงสูงสุด)	25
2.8 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อัดเม็ดแบบต่างๆ	35
2.9 ผลิตภัณฑ์อัดเม็ดที่มีคำหยาบในลักษณะต่าง ๆ	37
2.10 เครื่องมือทดสอบการแตกตัวของเม็ด	43
2.11 ส่วนประกอบและขนาดของเครื่องทดสอบการแตกตัวของเม็ด	44
2.12 ตัวอย่าง sorption isotherm ของอาหาร	47
2.13 ลักษณะ adsorption isotherm สารประเภท hygroscopic product (A) และ nonhygroscopic product (B)	49
2.14 ตัวอย่าง sorption isotherm ของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลหรือเกลือสูง และมี capillary adsorption ต่ำ	50
3.1 วิธีการหามุมกองแบบสถิตย์ (Static angle of repose)	57
3.2 วิธีการวัดมุมกองแบบสถิตย์ (Static angle of repose)	58
4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคนมผงผงที่ใช้ Hammer mill ตะแกรงขนาด 3.0 มิลลิเมตร	72
4.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคนมผงผงที่ใช้ Hammer mil ตะแกรงขนาด 1.2 มิลลิเมตร	72
4.3 นมผงที่ผ่านการปรับความชื้น 5 ระดับ	76
4.4 ค่า L^* ของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ	77
4.5 ค่า a^* ของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ	78
4.6 ค่า b^* ของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ	78

รูปที่	หน้า
4.7 ความชื้นของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ	79
4.8 ค่า water activity ของผงนมผงที่ผ่านการปรับความชื้นที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5	80
4.9 อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของผงนมผงที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 5 ระดับ	83
4.10 ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อค่า L^* ของนมผงอัดเม็ด	85
4.11 ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อค่า a^* ของนมผงอัดเม็ด	86
4.12 ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อค่า b^* ของนมผงอัดเม็ด	86
4.13 ลักษณะผิวของเม็ดนมผงที่ความชื้นสัมพัทธ์และแรงในการตอกอัดเม็ดที่ระดับต่าง ๆ	88
4.14 ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อความแข็งของนมผงอัดเม็ด	90
4.15 ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อระยะเวลาการแตกตัวของเม็ดนมผง	90
4.16 ความสัมพันธ์ของความชื้นและแรงตอกอัดที่มีผลต่อความหนาของนมผงอัดเม็ด	91
4.17 นมผงบริสุทธิ์อัดเม็ดที่ผลิตด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบสากเดี่ยว	94
4.18 ลักษณะของนมผงอัดเม็ดที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 8 ระดับ	96
4.19 ลักษณะ sorption isotherm ของนมผงอัดเม็ด	97
4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของนมผงอัดเม็ดที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ	98
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของนมผงอัดเม็ดที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ	99
4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของนมผงอัดเม็ดที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ	99
4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของนมผงอัดเม็ดระหว่างเก็บรักษา	101
4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า a^* ของนมผงอัดเม็ดระหว่างเก็บรักษา	102
4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า b^* ของนมผงอัดเม็ดระหว่างเก็บรักษา	102
4.26 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของนมผงอัดเม็ดระหว่างการเก็บรักษา	103
4.27 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของนมผงอัดเม็ดระหว่างการเก็บรักษา	104
จ-1 นมผงสดที่ผ่านการแช่แข็ง	145
จ-2 ลักษณะของนมผงผง	145
จ-3 นมผงอัดเม็ดที่ทำ Sorption isotherm ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 8 ระดับ (0-75%)	145
จ-4 เครื่อง freeze dryer ที่ใช้อบแห้งแบบระเหิดนมผงแช่แข็ง	146
จ-5 เครื่อง “Hammer mill” ที่ใช้ในการบดนมผงให้เป็นผง	146
จ-6 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)	146
จ-7 เครื่องเคาะผง Jolting volumeter	147

รูปที่	หน้า
จ-8 เครื่องอัดแบบ hydraulic press	147
จ-9 เครื่องวัดค่าความแข็งของนมผงอัดเม็ด	147
จ-10 เครื่องวัดค่าการแตกตัวของนมผงอัดเม็ด	148
จ-11 เครื่องวัดความกร่อนนมผงอัดเม็ด	148
จ-12 เครื่องอัดเม็ดแบบเสาเดี่ยว (single punch tableting machine)	148