สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
บทคัดย่อภาษาไทย	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vii
สารบัญรูป	viii
ตัวย่อ	xiii
1 – บทนำ	**1**
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย	1
ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
แป้งต้านทานการย่อย	4
แป้งเมล็ดขนุน	8
แป้งดัดแปรด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น	14
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	15
2 – เครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุสารเคมีและวิธีการทดลอง	**16**
เครื่องมือและอุปกรณ์	16
วัสดุสารเคมี	17
วิธีการทดลอง	18
การเตรียมแป้งเมล็ดขนุน	18
การเตรียมแป้งต้านทานการย่อยจากแป้งดิบเมล็ดขนุน	20
การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในแป้งดิบและแป้งดัดแปร	25
การวิเคราะห์ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งดัดแปรที่เตรียมได้	26
การหาค่าระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลในแป้งเมล็ดขนุน คาร์บอกซีเมทิล	30
สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงกลของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปร	31
ลักษณะปรากฏทั่วไป	31
ปริมาณความชื้น	31

การละลายและ/หรือการพองตัวในน้ำ 31
ลักษณะพื้นผิวและรูปร่างแกรนูลภายใต้ SEM 32
การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 32
ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริเมทรี (DSC) 32
การเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต้านทาน
การย่อย 32
สมบัติการไหลของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรที่มีปริมาณแป้งต้านทาน
การย่อยสูง 33
สมบัติเชิงหน้าที่ทางเภสัชกรรมของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรที่มีปริมาณ
แป้งต้านทานการย่อยสูง 34
ความจุการพองตัวอิสระ 34
ความสามารถในการดูดน้ำ 35
รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดอกอัดกับความแข็งของเม็ดยา 36
การเตรียมผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากแป้งต้านทานการย่อยในรูปแบบ
ยาเม็ดเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 36
การวิเคราะห์ทางสถิติ 37

3 – ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 38
แป้งเมล็ดขนุนดัดแปรทางกายภาพด้วยความร้อนชื้น (HMT-JFS) 38
ปริมาณอะมิโลส (Amylose Content, AC) 38
ปริมาณแป้งต้านทานการย่อย 39
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งต้านทานการย่อยกับ
ปริมาณอะมิโลส 44
สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงกลของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปร 46
ลักษณะปรากฏทั่วไป 46
ปริมาณความชื้น 46
การละลายและ/หรือการพองตัวในน้ำ 51
ลักษณะพื้นผิวและรูปร่างแกรนูลภายใต้ SEM 56
การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 72
ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริเมทรี (DSC) 88
การเตรียมแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรทางเคมี 94
แป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล 94
แป้งเชื่อมขวาง 96

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนด้านทานการย่อย 97
สมบัติเชิงหน้าที่ทางเภสัชกรรม 91
การไหล 98
ความจุการพองตัวอิสระ 98
ความสามารถในการดูดน้ำ 98
รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงตอกอัดกับความแข็งของเม็ดยา 100
การเตรียมผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากแป้งด้านทานการย่อยในรูปแบบ
ยาเม็ดเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร 101

4 – สรุปผลการวิจัย **106**

เอกสารอ้างอิง **110**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	รหัสตัวอย่าง และสภาวะความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลา ของการดัดแปรแป้งเมล็ดขนุนด้วยความร้อน-ความชื้น (HMT) จำนวน 75 สภาวะ	21
2.2	สภาวะการดัดแปรแป้งเมล็ดขนุนด้วยปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิเลชัน จำนวน 18 สภาวะ	22
2.3	สภาวะการดัดแปรแป้งเมล็ดขนุนด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางจำนวน 15 สภาวะ	24
3.1	ร้อยละปริมาณอะมิโลสในแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรด้วยความร้อน-ความชื้น จำนวน 75 สภาวะ	38
3.2	ความชื้นของแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ภายใต้ความชื้นและเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 80°C	46
3.3	ความชื้นของแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ภายใต้ความชื้นและเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 90°C	47
3.4	ความชื้นของแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ภายใต้ความชื้นและเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 100°C	48
3.5	ความชื้นของแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ภายใต้ความชื้นและเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 110°C	49
3.6	ความชื้นของแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ภายใต้ความชื้นและเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 120°C	50
3.7	ความสามารถในการพองตัวและค่าการละลายของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรด้วยความร้อนชื้น (HMT) 10-35% MC, 80-120°C นาน 6 ชั่วโมง	53
3.8	ความสามารถในการพองตัวและค่าการละลายของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรด้วยความร้อนชื้น (HMT) 10-35% MC, 80-120°C นาน 12 ชั่วโมง	54
3.9	ความสามารถในการพองตัวและค่าการละลายของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรด้วยความร้อนชื้น (HMT) 10-35% MC, 80-120°C นาน 16 ชั่วโมง	55
3.10	สมบัติทางอุณหภูมิของแป้งขนุนดัดแปรผ่านกระบวนการ HMT ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	90
3.11	สมบัติทางอุณหภูมิของแป้งขนุนดัดแปรผ่านกระบวนการ HMT ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	91
3.12	สมบัติทางอุณหภูมิของแป้งขนุนดัดแปรผ่านกระบวนการ HMT ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง	92

3.13 ค่าระดับการแทนที่ ปริมาณอะมิโลส ปริมาณแป้งต้านทานการย่อย ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิเลชัน จำนวน 18 สภาวะ 95
3.14 ปริมาณอะมิโลส และแป้งต้านทานการย่อย ของแป้งเมล็ดขนุนเชื่อมขวาง จำนวน 15 สภาวะ 96
3.15 สมบัติของแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง (JF-25-80-16) ได้จากการดัดแปรด้วยความร้อนชื้นเปรียบเทียบกับแป้งดิบเมล็ดขนุน (JFS) 97
3.16 ผลการควบคุมคุณภาพและความคงสภาพของยาเม็ดแป้งขนุนต้านทานการย่อย ที่เวลา 0, 1, 3 และ 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 103
3.17 ผลการควบคุมคุณภาพและความคงสภาพของยาเม็ดแป้งขนุนต้านทานการย่อย ที่เวลา 1, 3 และ 6 เดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 40%RH อุณหภูมิ 30°C 103
3.18 ผลการควบคุมคุณภาพและความคงสภาพของยาเม็ดแป้งขนุนต้านทานการย่อย ที่เวลา 1, 3 และ 6 เดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50%RH อุณหภูมิ 30°C 104
3.19 ผลการควบคุมคุณภาพและความคงสภาพของยาเม็ดแป้งขนุนต้านทานการย่อย ที่เวลา 1, 3 และ 6 เดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75%RH อุณหภูมิ 30°C 104
3.20 ผลการควบคุมคุณภาพและความคงสภาพของยาเม็ดแป้งขนุนต้านทานการย่อย ที่เวลา 1, 3 และ 6 เดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80%RH อุณหภูมิ 30°C 105
3.21 ผลการควบคุมคุณภาพและความคงสภาพของยาเม็ดแป้งขนุนต้านทานการย่อย ที่เวลา 1, 3 และ 6 เดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90%RH อุณหภูมิ 30°C 105

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ภาชนะเตรียมตัวอย่างแป้งเมล็ดขนุนต้านทานการย่อยด้วยวิธีความร้อนชื้น	20
2.2	การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในตัวอย่างแป้ง (ซ้าย) สารมาตรฐานอะมิโลส (ขวา) ตัวอย่างแป้งเมล็ดขนุนดิบและดัดแปร	26
2.3	การวิเคราะห์ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยตามวิธี AOAC 2002.02	29
3.1	ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งขนุนที่ผ่าน HMT ภายใต้สภาวะความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	41
3.1	ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งขนุนที่ผ่าน HMT ภายใต้สภาวะความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	42
3.2	ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งขนุนที่ผ่าน HMT ภายใต้สภาวะความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง	43
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแป้งต้านทานการย่อยกับปริมาณอะมิโลส	45
3.5	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 80°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	57
3.6	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 90°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	58
3.7	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 100°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	59
3.8	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 110°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	60
3.9	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 120°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	61
3.10	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 80°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	62
3.11	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 90°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	63
3.12	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	64
3.13	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 110°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	65
3.14	SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 120°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	66

3.15 SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 80°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 67

3.16 SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 90°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 68

3.17 SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 100°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 69

3.18 SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 110°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 70

3.19 SEM (2000X) ของแป้งเมล็ดขนุนที่ผ่าน heat-moisture treatment ที่สภาวะความชื้น 20-35% ความร้อน 120°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 71

3.20 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 80°C นาน 6 ชั่วโมง 73

3.21 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 90°C นาน 6 ชั่วโมง 74

3.22 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 100°C นาน 6 ชั่วโมง 75

3.23 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 110°C นาน 6 ชั่วโมง 76

3.24 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 120°C นาน 6 ชั่วโมง 77

3.25 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 80°C นาน 12 ชั่วโมง 78

3.26 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 90°C นาน 12 ชั่วโมง 79

3.27 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 100°C นาน 12 ชั่วโมง 80

3.28 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 110°C นาน 12 ชั่วโมง 81

3.29 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 120°C นาน 12 ชั่วโมง 82

3.30 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 80°C นาน 16 ชั่วโมง 83

3.31 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 90°C นาน 16 ชั่วโมง 84

3.32 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 100°C นาน 16 ชั่วโมง 85

3.33 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 110°C นาน 16 ชั่วโมง 86

3.34 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งขนุนดิบ (JF) และแป้งขนุนดัดแปรด้วย HMT ที่สภาวะความชื้น 20-35% อุณหภูมิ 120°C นาน 16 ชั่วโมง 87

3.35 ค่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเจล (T_{gel}) ของแป้งดัดแปรด้วยความร้อนชื้นที่สภาวะความชื้น 10-35°C อุณหภูมิ 80-120°C เป็นเวลา 6-16 ชั่วโมง 93

3.36 ความจุการพองตัวอิสระของแป้งดิบเมล็ดขนุน และแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรที่มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง 99

3.37 รูปแบบการดูดน้ำ (water uptake) ของแป้งดิบเมล็ดขนุนและแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรที่มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง 99

3.38 การพองตัวในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ของแป้งดิบเมล็ดขนุน (A) และแป้งขนุนปริมาณต้านทานการย่อยสูง (B) 100

3.39 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดอกอัดกับความแข็งของเม็ดยาที่เตรียมจากแป้งดิบเมล็ดขนุน เปรียบเทียบกับแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง 100

ตัวย่อ

%v/v	ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร
%w/v	ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร
%w/w	ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก
AC	ปริมาณอะมิโลส (amylose content)
BD	ความหนาแน่นก่อนเคาะ หรือความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)
CR	Compressibility Ratio
DS	ค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution)
DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter)
DSt	ค่าระดับการแทนที่ในทางทฤษฎี (theoretical degree of substitution)
FSC	ความจุการพองตัวอิสระ (free swelling capacity)
HMT	การดัดแปรด้วยความร้อน-ความชื้น (heat-moisture treatment)
HR	Hausner Ratio
JFS	แป้งเมล็ดขนุน (jackfruit seed starch)
M	โมลาร์
MC	ปริมาณความชื้น (moisture content)
MCA	กรดคลอโรอะซิติค (monochloroacetic acid)
N	นอร์มอล
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
RS	แป้งต้านทานการย่อย (resistant starch)
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนสแกนนิง (scanning electron microscopy)
TD	ความหนาแน่นหลังเคาะ (Tapped density)
USP	เภสัชตำรับของสหรัฐอเมริกา (United States Pharmacopeia)
XRD	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction)