



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
 บทที่ 1 บทนำ 	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 สารสีจากธรรมชาติ	5
2.2 การทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration)	8
2.3 น้ำผึ้ง	12
2.4 การตกผลึกในน้ำผึ้ง	20
2.5 เทคนิคเอนแคปซูลชัน (Encapsulation Techniques)	23
2.6 สมบัติของอาหารผง	38
2.7 ซอร์ปชัน ไอโซเทอร์ม (Sorption isotherm)	44
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	59
3.1 วัตถุประสงค์	59
3.2 สารเคมี	59
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	60
3.4 วิธีการศึกษา	61

ลิขสิทธิ์ในหนังสือวิจัยนี้โดย Chiang Mai University
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 การสกัดสารสีธรรมชาติจากพืชและการทำให้เข้มข้น	61
3.4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง โดยการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ	61
3.4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง โดยการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง	62
3.4.4 คุณภาพของแคปซูลสารสกัดสีในผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบสุญญากาศเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็งในสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด	63
3.4.5 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	64
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	65
4.1 การสกัดสารสีธรรมชาติจากพืชและการทำให้เข้มข้น	65
4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง โดยการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ	68
4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง โดยการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง	91
4.4 คุณภาพของแคปซูลสารสกัดสีในผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบสุญญากาศเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ในสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด	99
4.5 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	108
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	120
5.1 สรุปผลการทดลอง	120
5.2 ข้อเสนอแนะ	124
เอกสารอ้างอิง	125

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	134
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี	135
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	144
ภาคผนวก ค แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	152
ภาคผนวก ง รูปภาพ	155
ภาคผนวก จ ตารางแสดงค่าทางสถิติ	159
ภาคผนวก ฉ ตารางผลการทดลอง	185
ประวัติผู้เขียน	188

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	13
2.2	14
2.3	16
2.4	24
2.5	27
2.6	34
2.7	35
2.8	41
2.9	42
2.10	43
2.11	50
2.12	54
4.1	65
4.2	66
4.3	67
4.4	68
4.5	71
4.6	73
4.7	75
4.8	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงก่อนการอบแห้ง โดยตู้อบสุญญากาศ	79
4.10 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการอบแห้ง โดยตู้อบสุญญากาศ	81
4.11 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายก่อนการอบแห้ง โดยตู้อบสุญญากาศ	84
4.12 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้ง โดยตู้อบสุญญากาศ	85
4.13 สหสัมพันธ์ค่า Pearson's correlation ของสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูล สารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง	89
4.14 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง หลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	91
4.15 สมบัติทางเคมีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้ง แบบแช่เยือกแข็ง	92
4.16 สมบัติทางกายภาพของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้ง แบบแช่เยือกแข็ง	93
4.17 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงก่อนการทำแห้ง แบบแช่เยือกแข็ง	94
4.18 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการทำแห้ง แบบแช่เยือกแข็ง	95
4.19 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายก่อน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	97
4.20 ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลัง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	98
4.21 ขนาดของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง	99
4.22 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูล สารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผง	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.23 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูล สารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบขงละลาย	103
4.24 สรุปสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง จากสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด	105
4.25 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มของ Oswin	111
4.26 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มของ BET	111
4.27 ค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มของ GAB	112
4.28 ผลของอุณหภูมิและค่า water activity ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	113
4.29 ผลของอุณหภูมิและค่า water activity ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	116
จ-1 ค่าทางสถิติสมบัติทางกายภาพของสารสกัดสีจากบีทรูท	160
จ-2 ค่าทางสถิติสมบัติทางเคมีของสารสกัดสีจากบีทรูท	161
จ-3 ค่าทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสีจากบีทรูท	162
จ-4 ค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและปริมาณมอล โทเดคซ์ตริน ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง หลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	162
จ-5 ค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและปริมาณมอล โทเดคซ์ตริน ต่อปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งก่อนและหลัง การอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	163
จ-6 แสดงค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและปริมาณ มอล โทเดคซ์ตรินต่อค่า water activity ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ก่อนและหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	164
จ-7 ค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและปริมาณมอล โทเดคซ์ตริน ต่อความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง หลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	165

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ- 8 ค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง หลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	166
จ-9 ค่า Pearson's correlation จากผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงก่อนการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	167
จ-10 ค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	168
จ-11 ค่า Pearson's correlation จากผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายก่อนการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	169
จ-12 ค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	170
จ-13 ค่าทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	171
จ-14 ค่าทางสถิติของค่า water activity ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งก่อนและหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	172
จ-15 ค่าทางสถิติของความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	173
จ-16 ค่าทางสถิติของความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	173
จ-17 ค่าทางสถิติของความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	174
จ-18 ค่าทางสถิติของความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	174

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ-19 ค่า Pearson's correlation ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ในรูปผงก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	175
จ-20 ค่า Pearson's correlation ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ในรูปผงหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	176
จ-21 ค่า Pearson's correlation ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ในรูปสารละลายก่อนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	177
จ-22 ค่า Pearson's correlation ค่าสีของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ในรูปสารละลายหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	178
จ-23 ค่า Pearson's correlation จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผงที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	179
จ-24 ค่า Pearson's correlation จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของ แคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	180
จ-25 ค่า Pearson's correlation จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูล สารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบขงละลายที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	181
จ-26 ค่า Pearson's correlation จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคปซูล สารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งแบบขงละลายที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	182
จ-27 ค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและค่า water activity ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสี ในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	183
จ-28 ค่า Pearson's correlation จากผลของอุณหภูมิและค่า water activity ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสี ในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	184
ฉ-1 ปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้ง โดยตู้อบสุญญากาศหลังการทำซอร์ปชันไอโซเทอร์ม	186
ฉ-2 ปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้ง แบบแช่เยือกแข็งหลังการทำซอร์ปชันไอโซเทอร์ม	187

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของบีตาเลน	6
2.2 โครงสร้างทางเคมีของบีตาไซยานินและบีตาแซนทิน	7
2.3 โครงสร้างทางเคมีของบีตานิดิน ไอโซบีตานิดิน และบีตานิน	7
2.4 กระบวนการพื้นฐานของการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง	9
2.5 ลักษณะผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	22
2.6 ลักษณะผลึกน้ำผึ้งดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	23
2.7 การวัดค่ามุมกองของอาหารผงแบบสติดีย์	40
2.8 การวัดค่ามุมกองของอาหารผงแบบพลศาสตร์	40
2.9 ซอร์ปชัน ไอโซเทอร์ม	45
2.10 adsorption isotherm ของสารประเภท hygroscopic และ nonhygroscopic	47
2.11 ซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลหรือเกลือสูง และมี capillary adsorption ต่ำ	48
2.12 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่ระดับ a_w ต่างๆ	53
2.13 ประเภทของซอร์ปชัน ไอโซเทอร์ม	55
4.1 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่า IC_{50} ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยผู้อบสุญญากาศ	69
4.2 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยผู้อบสุญญากาศ	72
4.3 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่า a_w ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยผู้อบสุญญากาศ	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	76
4.5 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อความสามารถในการไหลของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	78
4.6 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่าความสว่าง (L*) ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	82
4.7 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปผงหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	83
4.8 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่าความสว่าง (L*) ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	87
4.9 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อค่าสี a* ของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งในรูปสารละลายหลังการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	88
4.10 รูปร่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	100
4.11 รูปร่างของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง	100
4.12 จุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	106
4.13 จุดหลอมเหลวของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง	107
4.14 จุดหลอมเหลวของกลูโคส	107
4.15 ซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศ	109

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งหลังผ่าน การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	109
4.17 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง water activity และความสามารถ ในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้ง โดยตู้อบสุญญากาศหลังการทำซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ	114
4.18 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง water activity และความสามารถ ในการต้านอนุมูลอิสระของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งที่ผ่านการทำแห้ง แบบแช่เยือกแข็งหลังการทำซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ	117
ง-1 ผลึกน้ำผึ้งก่อนการเอนแคปซูลร่วมกับสารสกัดสีจากบีทรูท	156
ง-2 เครื่องทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze concentration)	156
ง-3 การทำแห้งแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	157
ง-4 การอบแห้งแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ	157
ง-5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV visible Spectrophotometer	158
ง-6 ระดับความเข้มข้นของแคปซูลสารสกัดสีในผลึกน้ำผึ้ง ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	158
ง-7 เครื่องวิเคราะห์อุณหภูมิการหลอมเหลว Differential Scanning Calorimeter	158