

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความสำคัญ	3
2.2 แหล่งการผลิตส้ม	3
2.3 พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์	4
2.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มเขียวหวาน	6
2.5 คุณค่าทางอาหารของส้ม	8
2.6 การเก็บเกี่ยวผลส้ม	9
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของส้ม	11
2.8 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลส้ม	12
2.9 ความผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลส้ม	14
2.10 การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลส้ม	16
2.11 คุณภาพของผลิตผลและมาตรฐาน	20
2.12 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	19
2.13 การตรวจสอบคุณภาพในผลผลิตการเกษตร	31
2.14 การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	43
3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง	43
3.2 สารเคมี	43
3.3 การเตรียมตัวอย่างส้มที่ใช้ทดสอบ	43
3.4 สถานที่ทำการวิจัย	43
3.5 วิธีวิจัยและการบันทึกผลการทดลอง	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	57
ตอนที่ 1 ผลการทดลองการตรวจสอบด้วย Near Infrared Spectroscopy	57
ตอนที่ 2 ผลการทดลองการตรวจสอบคุณภาพของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง	
โดยการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส(Sensory evaluation)	120
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	125
ข้อเสนอแนะ	125
บรรณานุกรม	126
ประวัติผู้เขียน	133

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางอาหารของผลส้มเขียวหวานต่อ 100 กรัม ส่วนที่บริโภคได้	9
2.2 การใช้ประโยชน์เทคนิค NIR ในประเทศไทย	33
2.3 การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) ตรวจสอบคุณภาพผลผลิตแบบไม่ทำลายผล	34
2.4 การแปลค่าศัพท์ของลักษณะผลิตภัณฑ์เบียร์	41
3.1 ข้อมูลค่าทางเคมีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่ใช้วิเคราะห์หาสมการ calibration	49
4.1 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยปรับสเปกตรัม ในการสร้างสมการ calibration เพื่อประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	57
4.2 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยปรับสเปกตรัม ในการสร้างสมการ calibration เพื่อประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เปลือกเปลือก	74
4.3 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยปรับสเปกตรัม ในการสร้างสมการ calibration เพื่อประเมินปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) ของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	87
4.4 การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยปรับสเปกตรัม ในการสร้างสมการ calibration เพื่อประเมินปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) ของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เปลือกเปลือก	104
4.5 เกณฑ์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (n= 512)	121
4.6 สหสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (n=512)	122
4.7 สหสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และ องค์ประกอบทางเคมี (n=512)	123
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TA และความเปรี้ยวจากการประเมินทางประสาทสัมผัส (n=512)	124
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS และความหวานจากการประเมินทางประสาทสัมผัส (n=512)	124

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของผลส้ม	8
2.2 รูปแบบโรคคัดบรรจุหีบห่อที่ประเทศออสเตรเลีย	17
2.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงต่างๆ	20
2.4 ช่วงคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด (near infrared)	21
2.5 ปฏิกริยาที่วัตถุตัวอย่างมีต่อแสงที่ฉายด้วยแสง near infrared	22
2.6 การวัดพลังงานที่ทะลุผ่านตัวอย่าง	24
2.7 ลักษณะการวัดผลไม้ทั้งผลแบบ interactance ด้วย fiber optic	24
2.8 การวัดความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่าง	25
2.9 การวัดปริมาณพลังงานของแสงที่สะท้อนออกมา	26
3.1 สัมเขี้ยวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง เกรด A	44
3.2 สัมเขี้ยวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง เกรด B	45
3.3 เครื่อง Near Infrared Spectroscopy (NIRS) Model NIRS FOSS 6500	45
3.4 (ก) เครื่อง NIRS และสาย fiber-optic (ข) fiber-optic probe	46
3.5 การวางผลส้มเพื่อวัดสเปกตรัม (ก) วัดผลส้มมีเปลือก (ข) วัดผลส้มปอกเปลือก	47
3.6 ตัวอย่างของสเปกตรัมในขณะที่วัด	48
3.7 ข้อมูลค่าทางเคมีที่เป็นสเปกตรัม (ก) ผลส้มมีเปลือก (ข) ผลส้มปอกเปลือก	51
4.1 spectrum (original data) ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	59
4.2 spectrum (derivative data) ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	59
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None first derivative ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	60
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None second derivative ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	60

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	61
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	61
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	62
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	62
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	64
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	64
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	65
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	65
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	66
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	66
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	68
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	68

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	69
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	69
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	70
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	71
4.21 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	72
4.22 การกระจายตัวของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ของผลสัมฤทธิ์หวาน พันธ์สายน้ำผึ้ง	73
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	75
4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่เปลือกเปลือก	75
4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่เปลือกเปลือก	76
4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่เปลือกเปลือก	76
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่เปลือกเปลือก	77
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่เปลือกเปลือก	77

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	78
4.30	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	79
4.31	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	79
4.32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	80
4.33	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	80
4.34	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	81
4.35	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	82
4.36	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	82
4.37	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	83
4.38	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	83
4.39	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	84
4.40	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.41 การดูตกดินแสงที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้(TSS) ผลสัมสายนํ้าฝิ่งที่ปอกเปลือก	86
4.42 spectrum (original data) ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	88
4.43 spectrum (derivative data) ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	88
4.44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None first derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	89
4.45 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None second derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	90
4.46 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV first derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	90
4.47 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV second derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	91
4.48 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) MSC first derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	91
4.49 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) MSC second derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	92
4.50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) None first derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	93
4.51 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) None second derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	94
4.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) NSDV first derivative ผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่มีเปลือก	94

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.53 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	95
4.54 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	95
4.55 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (PCR) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	96
4.56 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	97
4.57 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	98
4.58 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	98
4.59 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	99
4.60 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	100
4.61 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	100
4.62 การดูตกสีแสงที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้(TA) ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่มีเปลือก	101
4.63 การกระจายตัวของปริมาณกรดที่ไต่เตรทได้ (TA) ของผลส้มเขียวหวาน พันธุ์สายน้ำผึ้ง	103
4.64 spectrum (original data) ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปลือก	105

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.65	spectrum (derivative data) ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	105
4.66	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	106
4.67	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	107
4.68	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	107
4.69	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	108
4.70	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	108
4.71	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	109
4.72	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	110
4.73	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	111
4.74	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	111
4.75	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	112
4.76	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	112
4.77	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MPLS) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปิด	113

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.78 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) None first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปลือก	114
4.79 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) None second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปลือก	115
4.80 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) NSDV first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปลือก	115
4.81 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) NSDV second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปลือก	116
4.82 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปลือก	116
4.83 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC second derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปลือก	117
4.84 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง calibration set และ validation set (MLR) MSC first derivative ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่ปกเปลือก	118