

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้องและงานวิจัย	5
2.1 มะม่วง	5
2.2 การสุกของผลไม้	6
2.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกของผลไม้	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพระหว่างการสุกของผลมะม่วง	9
2.5 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีระหว่างการสุกของผลมะม่วง	11
2.6 สารแคโรทีนอยด์	24
2.7 การจำแนกสารกลุ่มแคโรทีนอยด์	27
2.8 ประโยชน์ของสารแคโรทีนอยด์	28
2.9 การเสื่อมสลายของแคโรทีนอยด์	32
2.10 การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์	36
2.11 การแช่เยือกแข็งผลไม้	38
2.12 ขั้นตอนการเตรียมผลไม้ก่อนแช่เยือกแข็ง	39
2.13 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีระหว่างการเก็บรักษาผลไม้แช่เยือกแข็ง	40

2.14	เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและโพลีฟีนอลออกซิเดส	42
2.15	วิธีการป้องกันการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์	45
บทที่ 3	วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	49
3.1	วัตถุดิบ	49
3.2	สารเคมีและวิธีการเตรียมสารเคมี	49
3.3	วิธีการวิจัย	56
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์	70
4.1	ศึกษาวิธีการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเนื้อมะม่วงสุก หั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง	70
4.2	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางชีวเคมี และทางเคมีระหว่าง การเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแบบแช่เยือกแข็ง	73
4.2.1	การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	74
4.2.2	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางชีวเคมี	84
4.2.3	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี	90
4.2.4	การวิเคราะห์จุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุก แช่เยือกแข็ง	105
4.2.5	การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบชิม	107
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	119
5.1	สรุปผลการทดลอง	119
5.2	ข้อเสนอแนะ	120
เอกสารอ้างอิง		121
ภาคผนวก		132
ภาคผนวก ก.	รูปขั้นตอนการเตรียมเนื้อมะม่วงสุกก่อนแช่เยือกแข็ง	132
ภาคผนวก ข.	ผลการทดลอง	135
ภาคผนวก ค.	ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพ ปริมาณส่วนประกอบทางชีวเคมี และเคมีในเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์มหาชนก	141
ภาคผนวก ง.	ตารางวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล	143
ภาคผนวก จ.	แบบประเมินการทดสอบทางประสาทสัมผัส	145
ประวัติผู้เขียน		147

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลมะม่วงดิบและมะม่วงสุก	12
2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ระหว่างการสุกของผลมะม่วง	18
2.3 ปริมาณวิตามินเอ บี และซีในผลไม้บางชนิด	19
2.4 ปริมาณแร่ธาตุ แคโรทีนทั้งหมด และเบต้า-แคโรทีนในเนื้อมะม่วง 100 กรัมของน้ำหนักสด	20
2.5 ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อมะม่วงพันธุ์แก้ว หนึ่งกลางวัน สามปี และคัลบีนาค	23
2.6 สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์เมื่อเปรียบเทียบกับ activity ของวิตามินเอ	31
2.7 ค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max} ; nm) ของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ในตัวทำละลายต่างชนิดกัน	37
4.1 กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลืออยู่ในเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกภายหลังการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.0% ที่มีแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 2 นาที	72
4.2 ค่า L^* ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	75
4.3 ค่า a^* ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	76
4.4 ค่า b^* ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	79
4.5 ค่า C^* ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	80
4.6 ค่า H° ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	83

4.7	การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (หน่วย/มิลลิกรัมของโปรตีน/นาที) ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	86
4.8	การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (หน่วย/มิลลิกรัมของโปรตีน/นาที) ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	88
4.9	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (%) ในรูปกรดซิตริกของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	91
4.10	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	92
4.11	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%) ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	95
4.12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง (%) ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	96
4.13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครส (%) ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	98
4.14	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%) ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	100
4.1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด) ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	103

4.16	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด) ของเนื้อ มะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	104
4.17	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	107
4.18	ปริมาณเชื้อยีสต์ และราของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	107
4.19	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบสีที่ปรากฏของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	109
4.20	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	110
4.21	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบกลิ่นของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	112
4.22	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบรสหวานของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	113
4.23	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบรสเปรี้ยวของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	115
4.24	การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับโดยรวมของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์ มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	117
	ภาคผนวก ค. 1 ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพ ปริมาณส่วนประกอบทางชีวเคมี และ เคมีในเนื้อมะม่วงสุกพันธุ์มหาชนก	142
	ภาคผนวก ง. 1 ตารางเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในการไตเตรทกับสารละลาย Fehling's 10 มิลลิลิตร	144

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบอัตราการหายใจของผลไม้ประเภท climacteric และ non-climacteric ในช่วงของการสุก และแสดงถึง pre-climacteric = 1 climacteric rise = 2 climacteric peak = 3 และ post-climacteric = 4	8
2.2 ลักษณะการหายใจของผลไม้ชนิดต่างๆ ในแต่ละกลุ่ม (ก) กลุ่ม climacteric (ข) กลุ่ม non-climacteric	8
2.3 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ หนึ่งกลางวัน และแรด เมื่อระยะการสุกเพิ่มขึ้นและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	10
2.4 ปฏิริยาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่ภาวะต่างๆ	16
2.5 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล และปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาล	21
2.6 สูตรโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลชนิดต่างๆ	22
2.7 สูตรโครงสร้างของหมู่ไอโซพรีน	25
2.8 ลักษณะการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีน	25
2.9 ลักษณะรูปแบบ cis และ trans ไอโซเมอร์ในโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์	25
2.10 โครงสร้างของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ	26
2.11 ปฏิริยาการเปลี่ยนแปลงเบต้า-แคโรทีนเป็นวิตามินเอในร่างกาย	31
2.12 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างโมเลกุลของเบต้า-แคโรทีนเนื่องจากความร้อน	33
2.13 ปฏิริยาการเกิด Epoxide isomerism	33
2.14 ลักษณะของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการแช่เยือกแข็งแตกต่างกัน	42
2.15 ปฏิริยา peroxidatic reaction ซึ่งเร่งปฏิริยาโดยเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ในสภาพที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	44
2.16 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเร่งปฏิริยาโดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส	45
3.1 ขั้นตอนการเตรียมและการแช่เยือกแข็งมะม่วงพันธุ์มหาชนก	56

- 4.1 กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เหลื่ออยู่ในเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์
มหาชนกภายหลังการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.0% ที่มี
แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5, 2.0 หรือ 2.5% ตามลำดับ เป็นเวลา 2 นาที 73
- 4.2 ค่า L^* ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา
ที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 77
- 4.3 ค่า a^* ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา
ที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 77
- 4.4 ค่า b^* ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา
ที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 81
- 4.5 ค่า C^* ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา
ที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 81
- 4.6 ค่า H° ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บ
รักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 84
- 4.7 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของเนื้อมะม่วงสุก
หั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18
องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 89
- 4.8 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของเนื้อมะม่วงสุก
หั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18
องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 89
- 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น
พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส
นาน 6 เดือน 93
- 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็ง
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 93
- 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น
พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส
นาน 6 เดือน 97

4.12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์ มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	97
4.13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครสของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์ มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	101
4.14	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์ มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	101
4.15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์ มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	106
4.16	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้นพันธุ์มหาชนกแช่ เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	106
4.17	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบสีที่ปรากฏของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	111
4.18	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	111
4.19	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบกลิ่นของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	114
4.20	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบรสหวานของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	114

4.21	การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบรสเปรี้ยวของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	118
4.22	การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับโดยรวมของเนื้อมะม่วงสุกหั่นชิ้น พันธุ์มหาชนกแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน	118
ภาคผนวก ก. 1	ขั้นตอนการเตรียมเนื้อมะม่วงสุกก่อนแช่เยือกแข็ง และลักษณะ เนื้อมะม่วงภายหลังการแช่เยือกแข็ง	134
ภาคผนวก ก. 2	ลักษณะถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่บรรจุเนื้อมะม่วงแช่เยือกแข็ง และตู้แช่ เยือกแข็งที่ใช้เก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส	134
ภาคผนวก ข. 1	กราฟสารละลายไปรีตินมาตรฐาน	136
ภาคผนวก ข. 2	กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายมาตรฐานเบต้า- แคโรทีนในสารละลายอะซีโตนความเข้มข้น 10% ในเฮกเซน	138
ภาคผนวก ข. 3	กราฟมาตรฐานเบต้า-แคโรทีนในสารละลายอะซีโตนความเข้มข้น 10% ในเฮกเซน	139