แบบจำลองปริมาณสารประกอบ Phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

จันจิรา จันทร์ประเสริฐ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตรและพัฒนาชนบท คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2550

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

A SIMULATION MODEL OF PHENOLIC COMPOUNDS IN ANTIDESMA FRUIT DURING STORAGE

JANJIRA JANPRASERT

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN AGRICULTURAL INFORMATION TECHNOLOGY
AND RURAL DEVELOPMENT FACULTY OF AGRICULTURE
UBONRATCHATHANI UNIVERSITY
YEAR 2007

COPYRIGHT OF UBONRATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตรและพัฒนาชนบท คณะเกษตรศาสตร์

เรื่อง แบบจำลองปริมาณสารประกอบ Phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

ผู้วิจัย นางสาวจันจิรา จันทร์ประเสริฐ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสุ อมฤตสุทธิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถชัย จินตะเวช)

..... กรรมการ

(ดร.นรินทร บุญพราหมณ์)

..... คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ วัฒนกูล)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2550

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความกรุณาจากที่ปรึกษาที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถชัย จินตะเวช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสุ อมฤตสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าอิสระรวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ทำให้สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาค้นคว้าอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่ให้กำลังใจและกำลังทรัพย์ก่อให้เกิดความมุ่งมั่นจนเกิดมานะและประสบผลสำเร็จขอบคุณเพื่อนและพี่ ๆ รุ่น 3 ทุกคน ในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตรและพัฒนาชนบท คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

จันจิรา

(นางสาวจันจิรา จันทร์ประเสริฐ)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : แบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา
โดย : จันจิรา จันทร์ประเสริฐ
ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา : เทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตรและพัฒนาชนบท
ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสุ อมฤตสุทธิ์

ศัพท์สำคัญ : แบบจำลองระบบ สารประกอบ phenolics การเก็บรักษา ผลหมากเม่า SIMILE

การพัฒนาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา เพื่อใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจจัดการทรัพยากรของระบบและช่วยคาดการณ์ ผลลัพธ์ของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่า ระหว่างการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ เพื่อลดความซ้ำซ้อนและความผิดพลาด โดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง เรื่องอิทธิพลของระยะบริบูรณ์และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics สารต้านอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในผลหมากเม่า จากการทดลองที่สอง ผลของอุณหภูมิและวันเก็บรักษาต่อปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่าระยะสุขเต็มที่มาพัฒนาแบบจำลองและได้ดำเนินการตามหลักการและขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองระบบทั้งสิ้น 6 หลักการ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์ ปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่า อยู่ในระดับที่ดีโดยมีปริมาณสารประกอบ phenolics จากตัวอย่างการทดลองที่ 1 มีค่า R, R^2, t-test, MAE และค่า RMSE เท่ากับ 0.943, 0.889, 2.831, 0.013 และ 0.012 ในการประเมินประสิทธิภาพเชิงคุณภาพของแบบจำลองระบบแต่ล่ะด้าน ได้ค่าเฉลี่ยจากการประเมินอยู่ในระดับ 8.49 ทำให้แบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ phenolics ระหว่างการเก็บรักษามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีและสามารถใช้งานในภาคปฏิบัติได้ดี

ABSTRACT

TITLE : A SIMULATION MODEL OF PHENOLIC COMPOUNDS IN ANTIDESMA FRUIT DURING STORAGE

BY : JANJIRA JANPRASERT

DEGREE : MASTER OF SCIECE

MAJOR : AGRICULTURAL INFORMATION TECHNOLOGY AND RURAL DEVELOPMENT

CHAIR : ASST. PROF. WASU AMARITSUT, Ph.D.

KEYWORDS : MODEL / PHENOLICS COMPOUDS / ANTIDERMA FRUIT / STORAGE / SIMILE

A simulation model was developed to allow simulation the dynamic of phenolics compounds in Antidesma fruits during one-week storage period, in two different temperature regimes. The major aim was to gain better understanding and to use the model for decision making in storage of the fruits to maximize the amount of antioxidants. Data from a laboratory experiment was used to develop a SIMILE simulation of dynamic of phenolics compounds, based on standard six steps of model development and testing progress. The results show that the simulation model predicts dynamics of phenolics compounds dynamic satisfactorily, with R, R^2, t-test, MAE and RMSE of 0.943, 0.889, 2.831, 0.013 and 0.012 from the 1^{rd} experiment, respectively. Evaluation of the model by users give an overall evaluation score of 8.49, which lead to the conclusion that the model may be used to assist in simulating dynamic of phenolics compounds in Antidesma under various storage conditions.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ปัญหาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของสารนิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา	3
2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้เกี่ยวกับหมากเม่า	4
2.2 สารประกอบ Phenolics	8
2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid; TSS)	15
2.4 ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable Acidity; TA)	16
2.5 การเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว	17
2.6 แบบจำลองระบบ	23
2.7 การพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์	25
2.8 การใช้โปรแกรม SIMILE สร้างแบบจำลองระบบ	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดจุดประสงค์ กำหนดระบบที่ทำการศึกษา 29

3.2 ตรวจเอกสาร 29

3.3 พัฒนาแบบจำลอง 29

3.4 การทดสอบแบบจำลอง 39

3.5 การทดสอบความอ่อนไหว 40

3.6 การใช้แบบจำลอง 41

4 ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบการใช้งานของระบบแบบจำลอง 43

4.2 สรุปผลการทดสอบแบบจำลองระบบ 46

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 47

5.2 สรุปผลการพัฒนาแบบจำลอง 48

5.3 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบแบบจำลอง 48

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาแบบจำลองในครั้งต่อไป 49

เอกสารอ้างอิง **50**

ภาคผนวก

ก คู่มือการติดตั้งโปรแกรม SIMILE version 5.0 54

ข คู่มือการใช้โปรแกรม SIMILE ในการ run แบบจำลองระบบ 62

ค ค่าสถิติ (Statistics) สำหรับการทดสอบแบบจำลอง 71

ง แบบประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา 79

จ รายนามผู้ประเมินระสิทธิภาพแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา 84

ประวัติผู้วิจัย **86**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่มีในผลไม้สุก	9
2.2	สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่ที่พบในพืช	10
2.3	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugars) และน้ำตาลบางชนิดที่พบในผลไม้	16
2.4	ลักษณะของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวแยกตามความแตกต่างทางสรีรวิทยา	19
2.5	ตัวอย่างผลไม้จำแนกตามลักษณะของการหายใจภายหลังการเก็บเกี่ยว	20
4.1	ความคิดเห็นด้านความเหมาะสมในหน้าที่การทำงานของแบบจำลอง (Functional-Requirement Test)	45
4.2	ความคิดเห็นด้านความถูกต้องในการทำงานแบบจำลอง (Functional Test)	45
5.1	การประเมินประสิทธิภาพด้านการทำงานของแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ระหว่างการเก็บรักษา	48
ข.1	ผลการวัดค่า Absorbance ของสารตัวอย่างหมากเม่า	65
ข.2	ผลวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) การวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titrable Acidity, TA) และค่า Sugar: Acid radio ของสารตัวอย่าง หมากเม่า	65
ค.1	ผลการวัดค่า absorbance ของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3	74
ค.2	ผลวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) การวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titrable Acidity, TA) ของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3	75
ค.3	ผลการวัดค่า absorbance และ ปริมาณสารประกอบ Phenolics ของหมากเม่าทั้ง 3 ตัวอย่าง	77
ค.4	ผลวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) การวัดปริมาณการวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titrable Acidity, TA) ของหมากเม่าของหมากเม่าทั้ง 3 ตัวอย่าง	78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล	14
2.2	ชนิดแบบจำลองของระบบโลกของความจริง เริ่มจากแบบจำลองชนิดที่เป็นความเชื่อถึงแบบจำลองชนิดที่เป็นโปรแกรมหรือแบบจำลองคอมพิวเตอร์	25
2.3	แสดงสัญลักษณ์การสร้างแบบจำลองโปรแกรม SIMILE	26
3.1	ขั้นตอนการวิจัยตามแนวคิด SMS เพื่อพัฒนา ทดสอบ และการใช้งานแบบจำลอง	28
3.2	Use Case Diagram แบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ Phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา	30
3.3	Activity Diagram แบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ Phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา	31
3.4	ค่าที่ได้จากการวัดของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid; TSS) จากสารตัวอย่างมะเม่าระยะบริบูรณ์ ที่ 4 สีม่วงหรือสีดำก่อนการเก็บรักษา	32
3.5	ค่าที่ได้จากการวัด ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable Acidity; TA) จากสารตัวอย่างมะเม่าระยะบริบูรณ์ ที่ 4 สีม่วง หรือสีดำก่อนการเก็บรักษา	32
3.6	ค่าที่ได้จากการวัด absorbance ของสารตัวอย่างมะเม่าระยะบริบูรณ์ ที่ 4 สีม่วงหรือสีดำ ในการหา Total Phenolic Compounds ด้วยวิธี Folin-ciocalteu ที่ความยาวคลื่น 760 nm ก่อนการเก็บรักษา	32
3.7	ตัวแปรอัตราเปลี่ยนที่ลดลงของปริมาณ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid; TSS) เมื่อเก็บรักษาใน 1 สัปดาห์	32
3.8	ตัวแปรอัตราเปลี่ยนที่เพิ่มขึ้นของปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable Acidity; TA) เมื่อเก็บรักษาใน1 สัปดาห์	33
3.9	ตัวแปรอัตราเปลี่ยนที่ลดลงของค่า absorbance เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10°C และ25°C ใน1 สัปดาห์	33
3.10	ค่า sugar:acid ratio โดยนำของปริมาณ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) หารด้วยปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (TA)	33
3.11	ค่า อุณหภูมิที่เก็บรักษาหมากเม่าหลังการเก็บเกี่ยว	33
3.12	การนำเข้าข้อมูลจากการวัดปริมาณ TA TSS และ ค่า absorbance	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.13	ค่า absorbance ที่ได้จากการเก็บรักษา	34
3.14	สมการระหว่างค่า absorbance กับปริมาณ standard gallic acid	34
3.15	ค่าหมากเม่าที่ 100 g	34
3.16	ค่าหมากเม่าที่บด (g) ต่อสารที่นำมาสกัด (1.2 M HCI in Water)	34
3.17	ค่าปริมาณ Total Phenolic compound ในหมากเม่า 100 ul	34
3.18	Submodel ของ ปัจจัยภายนอก (Environment) คือ อุณหภูมิ	34
3.19	Submodel ของค่าที่วัดก่อนการเก็บรักษา คือ ค่า TA TSS และ ค่า absorbance	35
3.20	Submodel ของปริมาณ total phenolic compoundsในหมากเม่า	35
3.21	แบบจำลองปริมาณ สารประกอบ Phenolics ของผลหมากเม่า	35
3.22	สมการในแบบจำลองปริมาณสารประกอบ Phenolics ในผลหมากเม่า ระหว่างการเก็บรักษา	37
3.23	การเปรียบเทียบค่า absorbance ของตัวอย่างหมากเม่า ที่ได้จากแบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics และจากการทดลอง	40
3.24	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolicsระหว่างวันที่ 1 ถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °ซ	41
3.25	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolicsระหว่างวันที่ 1 ถึงวันที่ 20 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °ซ	42
ก.1	การเปิด My Computer	55
ก.2	การเปิดโปรแกรมจากแผ่น Disc	55
ก.3	การเปิด Folder โปรแกรม Simile	56
ก.4	Icon Simile50.exe	56
ก.5	คำสั่ง ในการ Run โปรแกรม เพื่อติดตั้ง	57
ก.6	การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Next	57
ก.7	การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Yes	58
ก.8	การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Next	58
ก.9	การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Next	59
ก.10	การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Next	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก.11	การ run เพื่อจะติดตั้งโปรแกรม	60
ก.12	การเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม	60
ก.13	โปรแกรม Simile ที่ติดตั้งเสร็จสมบูรณ์	61
ข.1	Icon Model T10	63
ข.2	แบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ Phenolics ระหว่างการเก็บรักในผลหมากเม่ากษาที่อุณภูมิ 10°C	64
ข.3	หน้าจอสำหรับกรอกข้อมูล parameter คือ ค่า TA ค่า TSS และค่า apsorbance	64
ข.4	ข้อมูลที่ใช้กรอกและตกลงเพื่อใช้ข้อมูล	65
ข.5	หน้าจอแสดงผลของแบบจำลอง	66
ข.6	Create table	66
ข.7	การเลือกตัวแปรใส่ในตาราง	67
ข.8	ค่าเริ่มต้นในการแสดงผลของแบบจำลอง	67
ข.9	ค่าที่ได้จากการ Run แบบจำลองในค่าที่แสดงเป็นตาราง	68
ข.10	ค่าที่ได้ในรูปตาราง	68
ข.11	Create plotter	69
ข.12	ค่าที่ได้จากการ Run ค่า apsorbanceในรูปกราฟ	69
ข.13	กราฟของค่า apsorbance	70
ค.1	ค่า absorbance ต่อ จำนวนซ้ำของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3	75
ค.2	ผลวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) ต่อ จำนวนซ้ำของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3	76
ค.3	ผลการวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titrable Acidity, TA) ต่อ จำนวนซ้ำของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3	76

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและความสำคัญ

คุณค่าทางอาหารของผักผลไม้ จัดเป็นคุณภาพของผลิตผลซึ่งผู้บริโภค ตลอดถึงผู้ผลิตมักมองข้าม เพราะเป็นสิ่งที่สัมผัสได้ยาก เช่น ปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลไม้บางชนิดลดลงระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงการลดลงขององค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ซึ่งให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ ในประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศ ผู้บริโภคจะให้ความสนใจกับอาหารเพื่อสุขภาพจึงรับประทานผักผลไม้มากขึ้น จะเลือกบริโภคอาหาร รวมทั้งผักผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง

จากผลการวิเคราะห์ของกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (2539) พบว่าผลหมากเม่า มีสารอาหารที่จำเป็นต่อความต้องการของร่างกายมนุษย์หลายชนิด เช่น แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) วิตามิน เช่น บี 1 บี2 และอี และที่สำคัญคือ มีกรดอะมิโนมากถึง 18 ชนิด และเป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ ได้ แต่ต้องได้รับการบริโภคเข้าไปเท่านั้น ได้แก่ ทรีโอนีน วาลีน เมทไทโอนีน ไอโวลูซีน ลูซีน ฟีนิลอะลานีน ไลซีน ทริบโตเฟน และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของมนุษย์ซึ่งมักจะขาดในวัยเด็ก คือ ฮีสติดีน และอาจินีน ในผลมะเม่าสุกมีสารต้านอนุมูลอิสระช่วยบำรุงหัวใจ ปรับลดความดัน ลดไขมันในเลือด จึงช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ เส้นเลือดอุดตันในสมองจากการยับยั้งโลหิตจับตัวเป็นก้อน ช่วยให้อายุยืน สุขภาพแข็งแรง และลดความเสี่ยงจากมะเร็ง ให้พลังงานสำหรับบุคคลที่นอนดึกมีอาการอ่อนเพลีย เมื่อดื่มน้ำมะเม่าแล้วจะรู้สึกสดชื่น ดื่มเป็นประจำจะช่วยให้ผิวพรรณผ่องใส คนสมัยก่อนทานมะเม่าสุกบำรุงสายตา และยังทานเป็นยาอายุวัฒนะผลมะเม่าสามารถนำมารับประทานเป็นยาอายุวัฒนะ เป็นยาระบายและช่วยบำรุงสายตาได้ดี และคนที่ต้องการลดน้ำหนักนิยมดื่มเพราะว่ามีสรรพคุณช่วยลดไขมันในเส้นเลือดและเป็นเหมือนยาระบายอ่อนๆ ทำให้ท้องไม่ผูกและช่วยลดน้ำหนักได้

การวิเคราะห์คุณภาพด้านคุณค่าทางอาหาร ทำการวิเคราะห์แบบวัตถุวิสัย (objective) โดยอาศัยเกณฑ์ที่วัดออกมาเป็นตัวเลขโดยใช้เครื่องมือเข้าช่วย วิธีนี้วิเคราะห์คุณภาพได้เที่ยงตรงมากขึ้นมีความผิดพลาดน้อย อย่างไรก็ตามหากนำความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศโดยนำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพด้านคุณค่าทางอาหาร โดยสร้างแบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารที่วัดคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งจัดเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ผลโดยการทดลอง ปัจจุบันมีแบบจำลองระบบต่างๆมากมาย เช่น ระบบ

ด้านสิ่งแวดล้อม ระบบด้านการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศของโลก ระบบด้านการสังเคราะห์แสงของพืช ระบบด้านการแพร่กระจายของสารเคมีในดิน ระบบด้านเศรษฐศาสตร์ และระบบด้านอื่นๆ อีกมากมาย (อรรถชัย จินตะเวช, 2549)

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยพัฒนาที่ใช้แนวทาง System Modeling and Simulation (SMS) ในประเทศไทย อาจไม่ครอบคลุมเอกสารทางวิชาการที่มีการตีพิมพ์แล้วได้อย่างทั่วถึง ยังไม่พบรายงานการพัฒนาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่าระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองระบบครั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานตามความเข้าใจเกี่ยวกับระบบด้านการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่าระหว่างการเก็บรักษา เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงตามองค์ความรู้ที่พัฒนาได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่า ระหว่างการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว

1.2.2 เพื่อใช้แบบจำลองคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา 1 สัปดาห์

1.3 ขอบเขตของการค้นคว้าอิสระ

1.3.1 ข้อมูลที่ศึกษานำมาจากปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี เรื่องอิทธิพลของระยะบริบูรณ์และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics สารต้านอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในผลหมากเม่า โดยใช้ผลการทดลองที่สอง ผลของอุณหภูมิและวันเก็บรักษาต่อปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่าระยะสุขเต็มที่ (จันจิรา จันทร์ประเสริฐ, 2547)

1.3.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

1.3.2.1 ตัวแปรหลัก

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในผลมะเม่าระยะบริบูรณ์ สีม่วง หรือสีดำ

1) ปริมาณ Total phenolic compound (mM/100g Fw)

2) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid: TSS)

3) ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable Acidity: TA)

1.3.2.2 ตัวแปรอัตราเปลี่ยนอุณหภูมิเก็บรักษา ที่ 10°C

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองมี 6 ขั้นตอนตามกระบวนการพัฒนาแบบจำลองของ Dent and Blackie (อรรถชัย จินตะเวช, 2549) เริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการสร้างแบบจำลอง การศึกษาและวิเคราะห์งานเก่า การพัฒนาแบบจำลอง การทดสอบแบบจำลอง การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองเมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปร และขั้นตอนสุดท้ายได้แก่การใช้งานแบบจำลองเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ Phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา ช่วง 1 สัปดาห์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้แบบจำลองผลของอุณหภูมิที่เก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่า

1.5.2 แบบจำลองสามารถคาดการณ์สิ่งที่เกิดขึ้นในระบบได้จริง สามารถทดสอบว่าผลลัพธ์ของแบบจำลองจะเป็นอย่างไร สูงขึ้น หรือลดลง ถ้าเปรียบเทียบกับค่า สัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง

1.5.3 ลดความซ้ำซ้อนในการทดลองในห้องปฏิบัติการจริงโดยสามารถนำแบบจำลองเข้าไปช่วย

1.5.4 เป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับระบบแบบจำลอง เพื่อการพัฒนาองค์ความรู้ที่ได้ต่อไป

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

1.6.1 ฮาร์ดแวร์ (hardware) ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง คือ Computer Notebook Compaq Presario V2000 Intel CoreDuo 1.83GHz 987 MHz, 504 MB of RAM จอภาพ widescreen

1.6.2 ซอฟต์แวร์ (software) ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง คือโปรแกรม SIMILE version 5.0

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่า ผู้วิจัยศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้เกี่ยวกับหมากเม่า

2.2 สารประกอบ phenolics

2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid: TSS)

2.4 ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (TA)

2.5 การเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว

2.6 แบบจำลองระบบ

2.7 การพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์

2.8 การใช้โปรแกรม SIMILE สร้างแบบจำลองระบบ

2.1 ความรู้เกี่ยวกับหมากเม่า

หมากเม่าเป็นไม้สกุลเม่า *(Antidesma spp.)* อยู่ใน Family Euphorbiaceae อยู่ใน Subfamily Phyllanthaceae ซึ่งมี 2 ovule ใน 1 ovary เป็นไม้ยืนต้นขนาดย่อม ต้นสูง 5-10 เมตร ลำต้นเดี่ยว เนื้อไม้แข็งกิ่งแขนงแตกเป็นพุ่ม ทรงกลม ใบ เป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับ เป็นรูปรีแกมขอบขนาน หรือรูปรีแกมรูปไข่ ปลายและโคนใบแหลม ผิวใบเรียบ ทั้ง 2 ด้าน เป็นสีเขียวสด เวลาใบดกจะหนาแน่นให้ร่มเงา ดอก เป็นสีขาวอมเหลือง ขนาดเล็ก ออกเป็นช่อกระจุกยาวตามซอกใบและปลายกิ่ง แต่ละช่อประกอบด้วยดอกย่อยจำนวนมาก หลังดอกร่วงจะติดผล ผลจะกลม ขนาดเล็ก หนาแน่นตามแกนช่อดอก ลักษณะ ผลฉ่ำน้ำ ผลอ่อนสีเขียวอมขาว พอสุกจะเป็นสีแดงแกมม่วงหรือม่วงเข้ม ขึ้นอยู่กับระยะความแก่และสุก มีการปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศ ให้ผลผลิตไว ผลผลิตสูง อายุยืนกว่า 80 ปี และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมโรคและแมลงและยังมีคุณค่าอาหารสูง (ประเสริฐ ศรีไพโรจน์, 2530) จากรายงานของเต็ม (2523) พบหมากเม่า 13 ชนิด ที่สามารถขึ้นได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย และพบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในแถบจังหวัดสกลนคร อุดรธานี กาฬสินธุ์ มุกดาหาร และนครพนม ในพื้นที่ติดเทือกเขาภูพาน คนไทยเรียกชื่อพืชนี้อีกหลายอย่าง เช่น หมากเม่า แมงเม่า ผลมีขนาดเล็กคือ เม่าสร้อย หรือเม่าไข่ปลา

ซึ่งเป็นผลไม้กินเล่น แต่ที่พัฒนามาปลูกเป็นการค้าได้ คือเม่าหลวง (อร่าม คุ้มกลาง, 2543)

สุดารัตน์ สกุลดู (2550) กล่าวว่าภาคอีสานตอนบนมีการบริโภคหมากเม่าผลสดมานาน และพบว่ามีการใช้มะเม่าเป็นส่วนผสมในตำรับยาพื้นบ้านหลายตำรับ จากการสำรวจพืชท้องถิ่นในจังหวัดสกลนครของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรสกลนคร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (ปัจจุบันคือ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร) โดยทีมงานสาขาพืชศาสตร์ นำโดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อร่าม คุ้มกลาง และทีมงาน ได้พบไม้ผลขนาดใหญ่อายุกว่าร้อยปีกำลังออกผลแดงเต็มต้น สวยงามสะดุดตา และมีรสชาติหวานอมเปรี้ยว จากการสอบถามทราบว่าเป็นต้นหมากเม่าและเจ้าของไม้ผลต้นสวยต้นนี้คือ พ่อตื้อ บาลลา จึงได้ขานนามหมากเม่าต้นนั้นว่า ต้นพ่อตื้อ จนถึงปัจจุบัน จากจุดเริ่มต้นนั้น สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรสกลนคร จึงได้เริ่มศึกษาวิจัยเกี่ยวกับไม้ผลชนิดนี้ โดยผลงานชิ้นแรกที่เผยแพร่ในการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปี 2539 คือผลงานของ สาทิสรัตน์ เหียงแก้ว ได้พัฒนาเครื่องดื่มผลไม้ผสมจากผลเม่า พบว่าเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงได้มีการส่งตัวอย่างผลเม่าไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ โดยการอนุเคราะห์จากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี พบว่า ผลเม่าสุกมีคุณค่าของสารอาหารที่จำเป็นต่อความต้องการของร่างกายมนุษย์หลายชนิด และมีปริมาณสูงไม่แพ้ผลไม้ที่นิยมบริโภคกันทั่วไป ด้วยคุณค่าทั้งในด้านคุณลักษณะและคุณภาพทางอาหารของหมากเม่า สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรสกลนคร จึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์จากเม่าอย่างต่อเนื่อง คือ ไวน์เม่า แยมเม่า น้ำเม่าเข้มข้น น้ำเม่าพร้อมดื่ม และน้ำเม่าแท้ ออกสู่ตลาด

จากการศึกษาและวิจัยพบว่า หมากเม่ามีดอกตัวผู้แยกจากต้นที่มีดอกตัวเมีย สามารถติดเมล็ดได้ทั้งที่มีการผสมเกสร และไม่มีการผสมเกสร จึงมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูง หากปลูกด้วยเมล็ดมีโอกาสที่จะได้ต้นตัวผู้มากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ การขยายพันธุ์ที่ดีที่สุดจึงเป็นการเปลี่ยนยอด ซึ่งได้เม่าลักษณะดีตรงตามความต้องการ การปลูกสร้างสวนเม่าเพิ่มมากขึ้นทั้งในพื้นที่จังหวัดสกลนครและจังหวัดใกล้เคียง ใน ปี 2544 ไวน์เม่าของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรสกลนคร ได้รับรางวัลสิ่งประดิษฐ์คิดค้นในระดับนานาชาติ ได้รับเหรียญบรอนซ์ ในงาน BRUSSEL EUREKA 2001 ณ กรุงบรัสเซลส์ ราชอาณาจักรเบลเยียม ทำให้ไวน์เม่าสกลนคร ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เกิดผู้ประกอบการรายย่อยผลิตไวน์เม่าเพิ่มขึ้น จึงมีเทศกาลวันหมากเม่าสกลนครขึ้นเป็นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2545 เพื่อการประชาสัมพันธ์เม่าสกลนครให้เป็นที่รู้จักแพร่หลายออกไป และเป็นเวทีสำหรับการพบปะระหว่างผู้ผลิตวัตถุดิบ ผู้แปรรูป และผู้บริโภค จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของการแปรรูปไวน์เม่า ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นไปตามกระแสการสนับสนุนสุราพื้นบ้านจากภาครัฐในขณะนั้น ทำให้เกิดวิกฤตในด้านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ทำให้ธุรกิจการแปรรูปไวน์เม่าชะลอ

ตัวลงอย่างมาก จึงเกิดการรวมกลุ่มของผู้ประกอบการแปรรูปไวน์และน้ำผลไม้จากเม่า ด้วยการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรสกลนครและจังหวัดสกลนคร ก่อตั้ง "ชมรมสุราแช่และน้ำผลไม้สกลนคร" (ปัจจุบันคือ ชมรมหมากเม่าสกลนคร) ขึ้นในเดือนเมษายนพ.ศ. 2547 เพื่อให้เกิดความร่วมมือในการพัฒนามาตรฐานผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ จังหวัดสกลนคร ยังได้สนับสนุนในการก่อตั้งสหกรณ์การเกษตรโนนหัวช้าง จำกัด ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากผู้ว่าราชการจังหวัดสกลนครในการจัดตั้งศูนย์เรียนรู้ในการผลิตเครื่องดื่มฯ ของชุมชน ซึ่งสถาบันวิจัยฯ สกลนคร ชมรม และสหกรณ์ฯ ตลอดจนหน่วยงานสนับสนุนในจังหวัดสกลนครได้มีการแลกเปลี่ยน เรียนรู้และให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ทั้งในด้านการผลิต และวิชาการ โดยมีการประชุมหารือร่วมกันอย่างสม่ำเสมอ

จากการประกวดพันธุ์หมากเม่าและผลิตภัณฑ์หมากเม่าในงานเทศกาลของทุกปี ทำให้ผลิตภัณฑ์ไวน์ และน้ำผลไม้มีมาตรฐานที่ดีขึ้น ขยายตลาดออกไปเป็นที่รู้จักกันทั่วประเทศ รวมถึงมีการพัฒนาสายพันธุ์หมากเม่า โดยการคัดเลือกพันธุ์จากต้นเม่าเก่าแก่ที่มีกระจายอยู่ทั่วไปในแถบเทือกเขาภูพาน ทำให้ปัจจุบันมีเครือข่ายผู้ปลูก และแปรรูปเม่ากระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ คือ เชียงราย เชียงใหม่ พิษณุโลก นครราชสีมา ขอนแก่น มหาสารคาม มุกดาหาร กาฬสินธุ์ อุบลราชธานี ร้อยเอ็ด ตราด ชลบุรี ระยอง พิจิตร สระแก้ว นครนายก ปทุมธานี ก่อเกิดธุรกิจการขายต้นพันธุ์เม่าพันธุ์ดีที่ทำรายได้สูงแก่ผู้ประกอบการจำหน่ายพันธุ์เม่า และผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเม่าที่ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากหมากเม่า จากสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรสกลนคร(กรรณิการ์ สมบุญ และคณะ, 2549) นอกจากการศึกษาวิจัยด้านการปลูกดูแลรักษา ความหลากหลายทางพันธุกรรมและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามความหลากหลายทางพันธุกรรมของคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร แล้ว ยังมีมหาวิทยาลัยอีกหลายแห่งที่ได้เห็นศักยภาพของเม่าได้ดำเนินการศึกษาพัฒนาเม่าเป็นยารักษาโรค เช่น

กัมมาล กุมาร และคณะ (2546) ศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อ HIV เชื้อรา เชื้อแบคทีเรียของสมุนไพรไทย 5 ชนิด คือ มะเม่า ฟ้าทลายโจร หญ้าแห้วหมู ผักเป็ดแดง และสายน้ำผึ้ง พบว่า มะเม่า สายน้ำผึ้ง และหญ้าแห้วหมู มีศักยภาพในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันและมีฤทธิ์ต้านเชื้อ HIV ได้

วิภพ สุทธนะ และคณะ (2549) ศึกษาการแยกบริสุทธิ์สารโพลีฟีนอลในไวน์แดงสยามมัวส์ และศึกษาประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตและการชักนำการตายแบบอาปอบโตซีสในเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดและมะเร็งปอด ชนิดเซลล์เล็กโดยการวิเคราะห์ แยกบริสุทธิ์สารโพลีฟีนอลในไวน์แดงสยามมัวส์ และศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว และมะเร็งปอดชนิดเซลล์เล็กที่ไวและดื้อต่อยา พบว่าผงไวน์แดงของสยามมัวส์

ประกอบด้วยสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และโปรแอนโธไซยานิดิน โดยคิดเป็นมวลรวม 45% ของน้ำหนักแห้ง การผสมสารสกัดจากไม้มะเม่าสามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์ได้ดีกว่าไวน์แดงสยามมัวส์อย่างเดียว และยังพบอีกว่า ผงไวน์แดงสยามมัวส์สามารถชักนำให้เซลล์มะเร็งเกิดการตายแบบอาปอปโตซีส ซึ่งมีโมเลกุลฟลาโวนอยด์เป็นสารออกฤทธิ์หลักและมีตำแหน่งการออกฤทธิ์ที่ไมโตรคอนเดรียของเซลล์

สมาน เดชสุภา และสำรี มั่นเขตต์กรณ์ (2549) ศึกษาการออกฤทธิ์ของสารโพลีฟีนอลในไวน์แดงสยามมัวส์ต่ออาปอปโตซีสของเซลล์มะเร็งเต้านม ชนิด MDA-MB- 435 ที่ปลูกถ่ายในหนูเปลือยที่ตัดต่อมไทมัส ตรวจผลโดยการสร้างภาพเคมีและฮีทโตเคมี โดยใช้สารประกอบโพลีฟีนอลที่สกัดจากไวน์แดงสยามมัวส์ (SRPE) และไม้มะเม่า (MPE) อัตราส่วน 1 ต่อ 1 พบว่าสารโพลีฟีนอลแสดงผลยับยั้งการเจริญเติบโตในเซลล์มะเร็งทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ มะเร็งเต้านม ชนิด MDA-MB-435 มะเร็งเม็ดเลือดแดงตัวอ่อนชนิดที่ไว (K5620) และดื้อต่อยา (K562/adr) มะเร็งปอดชนิดเล็กที่ไว (GLC4) โดยได้ขยายความสำคัญจากระดับเซลล์ที่เลี้ยงในอาหารเซลล์สู่หนูเปลือยที่ปลูกมะเร็งเต้านม และดื้อต่อยามะเร็งเต้านม ชนิด MDA-MB-435 พบว่าสารโพลีฟีนอล (ความเข้มข้นที่ใช้เท่ากับ 2 เท่า ของค่า IC50) ทำให้เฉพาะก้อนมะเร็งเท่านั้นที่มีการตายแบบอาปอปโตซีส เมื่อเทียบกับเนื้อเยื่อปกติและก้อนมะเร็งที่ไม่ได้รับสารโพลีฟีนอล และไม่พบว่ามีการตายของเนื้อเยื่อตับ ซึ่งเป็นรายงานแรกที่มีการรายงานถึงผลของสารโพลีฟีนอลต่อการออกฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโต และกระตุ้นการตายแบบอาปอปโตซีสในเซลล์มะเร็งเต้านม ชนิด MDA-MB-435 ที่สอดคล้องกันทั้งระดับเซลล์และในระดับสัตว์ทดลองที่แสดงให้เห็นว่าสารประกอบโพลีฟีนอลที่สกัดจากไวน์แดงสยามมัวส์ ไม้มะเม่า และจากสารสกัดผสมจากไวน์แดงสยามมัวส์ และไม้หมากเม่าไม่จัดเป็นสารพิษ และมีผลข้างเคียงน้อยมาก จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะพัฒนาสารโพลีฟีนอลดังกล่าว เป็นสารอาหารที่ใช้ในการป้องกันและรักษามะเร็งในระดับคลีนิคต่อไป

หมากเม่าเป็นพืชท้องถิ่นของประเทศไทยและเป็นพืชที่มีศักยภาพสูง เป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารและ ยังมีคุณค่าทั้งทางด้านยา และจะพัฒนาเป็นเครื่องสำอางในอนาคตอันใกล้อีกด้วย จึง ควรค่าแก่การอนุรักษ์ และพัฒนาให้เป็นไม้ผลเศรษฐกิจต่อไป

2.2 สารประกอบ phenolics

สุจิตรา รตนะมโน (2547) กล่าวว่า สารประกอบฟีนอล (phenolic compound หรือ phenolics) ได้แก่ สารประกอบที่มี aromatic ring และอย่างน้อย 1 hydroxyl group และรวมไปถึงอนุพันธุ์ของสารประกอบฟีนอลซึ่งมีการแทนที่ด้วยหมู่เคมีต่างๆ ตัวอย่างสารประกอบฟีนอล ได้แก่ flavonoids, lignin, ฮอร์โมน abscisic acid, cinnamic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, กรดอะมิโน tyrosine, phenylalanine และ dihydroxy-phenylalanine (DOPA), coenzyme Q และผลผลิตจากเมแทบอลิซึมอีกหลายชนิด สารประกอบฟีนอลเป็นตัวแทนของสารในธรรมชาติที่นับว่ามีปริมาณมากชนิดหนึ่งและมีความสำคัญต่อสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับสีและกลิ่นรส ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลแตกต่างกันไปอย่างมากในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ในผลไม้สุกอาจมีปริมาณตั้งแต่น้อยมาก ไปจนถึง 8.5% ของน้ำหนักแห้ง ในผลพลับ

สารประกอบฟีนอลในพืชโดยทั่วไปแสดงคุณสมบัติเป็นกรด ซึ่งจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นอย่างรวดเร็ว และพบบ่อยที่ทำปฏิกิริยากับพันธะเปปไทด์ของโปรตีน และเมื่อโปรตีนนี้เป็นเอนไซม์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมักทำให้เอนไซม์หมดสภาพ ซึ่งมักเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเอนไซม์ในพืช โดยรวมแล้วสารประกอบฟีนอลจะไวต่อการเกิดออกซิเดชั่นโดยเอนไซม์ phenolases ซึ่งเปลี่ยน monophenols ไปเป็น diphenols และเปลี่ยนต่อไปเป็น quinones นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลบางตัวยังสามารถ chelate กับโลหะ

สารประกอบฟีนอลภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปอิสระนั้นพบน้อยมาก ส่วนใหญ่มักพบรวมอยู่กับโมเลกุลอื่น หลายชนิดพบในรูป glycosides โดยเชื่อมต่อกับมอโนแซคคาไรด์หรือไดแซคคาไรด์ โดยเฉพาะกลุ่มของ flavonoids ซึ่งมักรวมกับน้ำตาล นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น hydroxycinnamic acid อาจพบรวมกับ organic acids, amino groups, lipids, terpenoids, phenolics และกลุ่มอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำตาล การรวมตัวในลักษณะนี้ภายในเซลล์เป็น monophenols และ diphenols ทำให้เกิดความเป็นพิษกับพืช (phytotoxic) น้อยกว่าในรูปอิสระ

การแบ่งชนิดของสารประกอบฟีนอล แบ่งเป็น 3 ชนิด ตามจำนวน phenol rings ที่มีอยู่ 1) Monocyclic phenols มี 1 phenol ring ที่พบทั่วไปในพืชได้แก่ phenol, catechol, hydro- quinone และ p-hydroxycinnamic acid2. Dicycl ic phenols มี 2) phenol rings ได้แก่ flavonoids และ lignans 3) Polycyclic phenols หรือ polyphenol ได้แก่ lignins, catechol melanins, flavolans (condensed tannins) ตัวอย่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่มีในผลไม้สุกและพืชบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่มีในผลไม้สุก (สุจิตรา รตนะมโน, 2547)

	ปริมาณสารประกอบฟีนอล
Apple (*Malus sylvestris*,Mill.)	
Various cultivars	0.10-1.0 g/100 g FW
'Cox' s Orange Pippin'	2.0-5.5 g/100 g DW
'Baldwin'	0.25 g/100 g FW
Cider apple 'Launette'	1.1 g/100 g FW
Cider apple 'Waldhofler'	0.45 g/100 g FW
Banana (*Musa* spp).	0.53 g/100 g DW
Date (*Phoenix dactylifera*, L.)	0.5 g/100 g FW
Cherry (*Prunus cerasus*, L.)	
Montmorency	0.5 g/100 g FW
Grape (*Vitis* spp.)	
Riesling, cluster	0.95 g/100 g FW
'Tokay', cluster	0.48 g/100 g FW
'Muscat' , skin	0.35 g/100 g FW
'Muscat' , pulp	0.10 g/100 g FW
'Muscat' , seed	4.5 g/100 g FW
Passion fruit (*Passiflora edulis*, Sims.)	1.4 mg/100 g FW
Peach (*Prunus persica*, (L.) Batsch.)	
Mixed cultivars	0.028-0.141 g/100 g FW
'Elberta'	0.069-0.180 g/100 g FW
'Elberta'	0.240 g/100 g FW
Pear (*Pyrus communis* , L.)	
'Muscachet'	0.4 g/100 g FW
Persimmon (*Diospyros kaki*, L.f.)	8.5 g/100 g DW
Plum (*Prunus americana*, Marsh.)	
'Victoria' , flesh	2.1 g/100 g DW
'Victoria' , skin	5.7 g/100 g DW

หมายเหตุ : FW = น้ำหนักสด (fresh weight) DW = น้ำหนักแห้ง (dry weight)

ตารางที่ 2.2 สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่ที่พบในพืช (สุจิตรา รตนะมโน, 2547)

จำนวนอะตอมของคาร์บอน	โครงสร้างพื้นฐาน	ชนิด	ตัวอย่าง
6	C_6	Simple phenols	Catechol, hydroquinone
		Benzoquinones	2,6-Dimethoxybenzoquinone
7	C_6—C_1	Phenolic acids	p-Hydroxybenzoic, salicylic
8	C_6—C_2	Acetophenones	3-Acetyl-6-methoxybenzaldehyde
		Phenylacetic acids	p-Hydroxyphenylacetic
9	C_6—C_3	Hydroxycinnamic acids	Caffeic, ferulic
		Phenylpropenes	Myristicin, engenol
		Coumarins	Umbelliferone, aesculetin
		Isocoumarins	Bergenin
		Chromones	Eugenin
10	C_6—C_4	Naphthoquinones	Juglone, plumbagin
13	C_6—C_1—C_6	Xanthones	Mangiferin
14	C_6—C_2—C_6	Stilbenes	Lunularic acid
		Anthraquinones	Emodin
15	C_6—C_3—C_6	Flavonoids	Quercetin, cyanidin
		Isoflavonoids	Genistein
18	$(C_6$—$C_3)_2$	Lignans	Pinoresinol
		Neolignans	Eusiderin
30	$(C_6$—C_3—$C_6)_2$	Biflavonoids	Amentoflavone
n	$(C_6$—$C_3)_n$	Lignins	
	$(C_6)_n$	Catechol melanins	
	$(C_6$—C_3—$C_6)_n$	Flavolans (condensed tannins)	

หน้าที่ทางชีววิทยาโดยทั่วไปของสารประกอบฟีนอลในพืชจะปรากฏในหลายลักษณะ เช่น รงค์วัตถุ ฮอร์โมน abscisic acid, lignin, coenzyme Q หรือบางชนิดอาจมีส่วนเกี่ยวข้องในการเป็น allelopathic agents, feeding deterrents, antifungal agents และ phytoalexin จำแนกหน้าที่ความสำคัญของสารประกอบฟีนอลดังนี้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2538)

การต้านทานโรค สารประกอบฟีนอลหลายชนิดสามารถป้องกันหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบางชนิดได้ เช่น protocatechuic acid ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีมากในหอมหัวใหญ่สีม่วง จะต้านทานต่อโรค smudge ที่เกิดจาก *Colletotrichum circinan* ได้ดี แต่ในหอมพันธุ์สีขาวจะไม่มีสารตัวนี้จึงอ่อนแอต่อโรค smudge สารสกัดที่ได้จากหัวหอมนี้สามารถป้องกันการงอกและยับยั้งการเจริญของเชื้อราชนิดนี้ด้วย

รสฝาด รสฝาดของผลไม้หลายๆ ชนิด จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบฟีนอลในผล ช่วงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลที่จะให้ความฝาดนั้นอยู่ในช่วง 500-3,000 ซึ่งสามารถที่จะรวมตัวกับโมเลกุลของโปรตีนในปากทำให้รู้สึกฝาดได้ เมื่อผลไม้พัฒนาเข้าสู่การบริบูรณ์ สารประกอบฟีนอลจะลดลงนอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) และการรวมตัวของสารประกอบฟีนอลเป็นโมเลกุลใหญ่จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จากโมเลกุลที่ละลายน้ำกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งทำให้ความฝาดลดลงเมื่อผลไม้บริบูรณ์เต็มที่ ซึ่งพบมากและเป็นสารประกอบฟีนอลที่ให้รสขมสูง ส่วนรสขมของแตงกวาซึ่งเกิดจาก cucurbitacin หรือ รสขมซึ่งเกิดจาก limonoids ในพวกส้ม ไม่ใช่สารประกอบฟีนอล แต่เป็นสารประกอบพวก triterpenoid

สี สีของผักผลไม้ซึ่งเป็นสีของแอนโทไซยานินก็เป็นสีของสารประกอบฟีนอล นอกจากนี้การที่ผักหรือผลไม้เกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเปลี่ยนโมเลกุลของฟีนอลไปเป็น quinone แล้วเกิด polymerization และมีสีน้ำตาล การยับยั้งปฏิกิริยานี้ทำได้โดยเก็บไว้ภายใต้สภาพที่มี O_2 น้อย หรือใช้ ascorbic acid ไป reduce quinone ไม่ให้เกิด polymerization

2.2.1 การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล (biosynthesis of phenols)

สารประกอบฟีนอลเกือบทั้งหมดสร้างจาก phosphoenolpyruvate และ erythrose-4-phosphate (จาก glycolysis และ oxidative pentose phosphate pathway ตามลำดับ) โดยวิถี shikimic acid ซึ่งมี aromatic amino acid 'phenylalanine' เป็นสารตัวกลาง (central intermediate) จะมีการdeaminate และ hydroxylate ในตำแหน่ง para บน phenol ring ให้ p-hydroxycinnamic acid ในกรณีของ flavonoids นั้น malonate จะเป็นตัวเริ่มต้น โดย 3 โมเลกุลของ malonyl-CoA รวมตัวกับ cinnamic acid (cinnamyl-CoA) เพื่อสร้าง chalcone ซึ่งเมื่อปิด ring แล้วก็จะได้โครงสร้างพื้นฐาน

ของ flavonoids ในการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลจะมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ แสง อุณหภูมิ คาร์โบไฮเดรตภายในเซลล์ (cellular carbohydrate) แร่ธาตุ (mineral) และน้ำ (water status) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟีนอล เช่น ที่อุณหภูมิต่ำ การสังเคราะห์ anthocyanin จะเกิดขึ้นได้ดี แต่การสังเคราะห์ proanthocanidin จะถูกยับยั้ง

2.2.2 การสลายของสารประกอบฟีนอล (decomposition of phenols)

สารประกอบฟีนอลจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา มีการสังเคราะห์ มีการเปลี่ยนแปลง และมีการสลายตัว อัตราการเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไป นับเป็นจำนวนชั่วโมงในสีของดอกไม้ บางกรณีอาจเป็นสัปดาห์ การสลายตัวอาจมีขั้นตอนที่แตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของสารประกอบฟีนอล ส่วนใหญ่จะเป็นการตัด ring หรือเปิด ring ในพืชชั้นสูงจะพบว่ามีเอนไซม์ที่เข้าตัด aromatic ring ส่วนสารประกอบฟีนอลที่มีโมเลกุลง่ายๆ ไม่ซับซ้อน อาจเกิดจาก β-oxidation ในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากการ polymerization ของโมเลกุลได้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ และซับซ้อนมากขึ้น

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว (postharvest alterations)

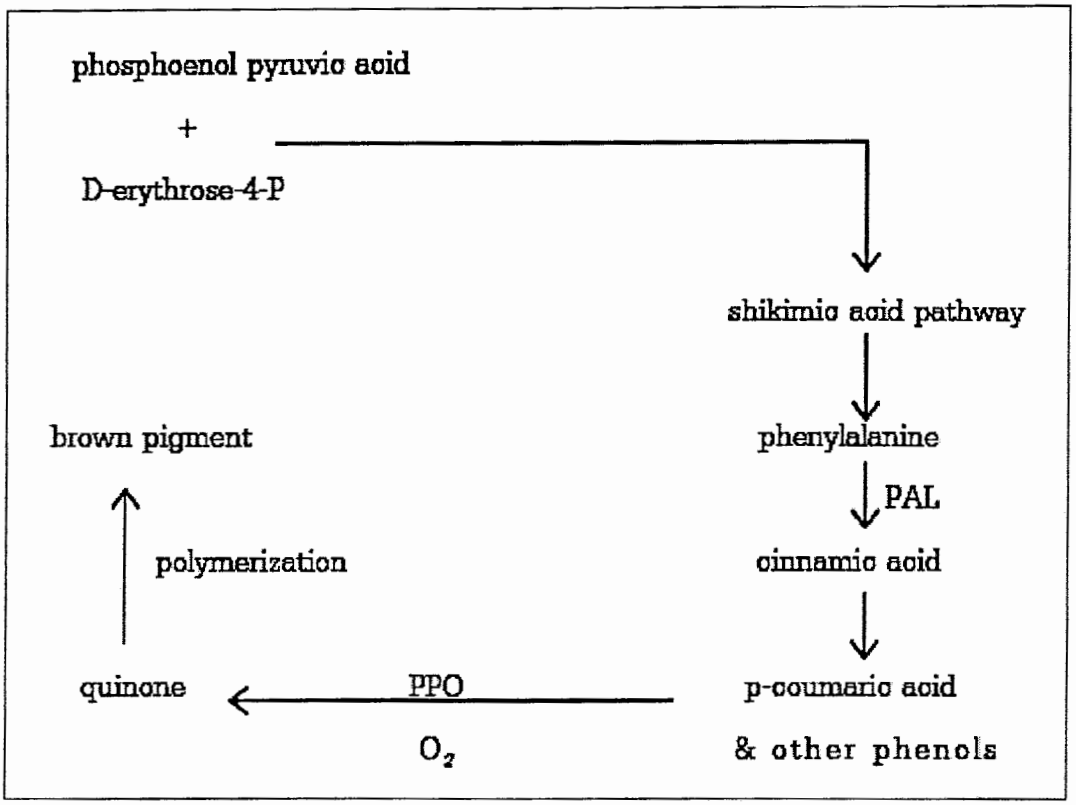
สารประกอบฟีนอลในพืชมีความสำคัญอย่างมากในช่วงหลังจากเก็บเกี่ยว เนื่องจากบทบาทที่มีต่อ กลิ่นรส (flavour) และสี (colour) ขณะที่สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่ในระดับความเข้มข้นที่พบในผลิตภัณฑ์อาหารไม่มีนัยสำคัญต่อรสชาติ แต่ก็มีหลายชนิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์บางอย่าง ส่วน phenolic acid ในปริมาณความเข้มข้นที่สูงมีผลต่อรสเปรี้ยว หรือกรณีของ naringin ในส้มทำให้มีรสขม และสารประกอบฟีนอลในผลไม้ดิบ (immature fruits) หลายชนิดทำให้เกิดรสฝาด (astringent) ตัวอย่างเช่น ในกล้วยดิบมี water-soluble tannins 0.6% (น้ำหนักสด) ส่วน Chinese quince มี 0.4% ใน carob beans มี 1.7% และผลพลับ (persimmon fruits) มี 2.0%

ในพลับนั้น water-soluble tannin ประกอบด้วย catechin, catechin-3-gallate, gallo-catechin, gallocatechin-3-gallate และ unknown terminal residue สำหรับ tannin สามารถรวมตัวกับโปรตีนได้เป็นอย่างดี จึงใช้ประโยชน์ในการกำจัดโปรตีนออกจากเหล้าสาเก (sake, Japanese rice wine) ทำให้เหล้าสาเกใส ขณะที่พลับเข้าสู่การบริบูรณ์และกำลังสุกระดับของความฝาด (astringency) และความเข้มข้นของ water-soluble tannin จะลดลง และในที่สุดผลพลับก็จะมีรสชาติที่ดี การที่ความฝาดลดลงก็เนื่องจากการ polymerization ของ tannin เกิด water-insoluble molecule ซึ่งมีขนาดใหญ่และไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ taste receptors ในปาก

เป็นที่ทราบมาตั้งแต่ต้นศตวรรษแล้วว่าการขจัดความฝาดสามารถทำได้โดยการใช้บรรยากาศที่มี CO_2 สูง อัตราของการตอบสนองต่อการกระตุ้น (induction response) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ที่ 40 °ซ จะใช้เวลาสั้นเพียง 6 ชั่วโมง ในการสัมผัสกับ CO_2 หลังจากนั้นจะเป็นช่วงของการขจัดความฝาดโดยวางไว้ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ที่บรรยากาศปกติเป็นเวลา 3 วัน

เชื่อว่าสภาวะที่เป็น anaerobic ซึ่ง block glycolysis มีผลในการสร้าง acetaldehyde และaldehydes ที่สร้างขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยาทันทีกับสารประกอบฟีนอล ทำให้เกิด cross link ระหว่างโมเลกุลข้างเคียงเกิดเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำและไม่ทำให้เกิดรสฝาด (insoluble non-astringent form)

นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (browning) ของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการบาดแผลของเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นในขณะเก็บเกี่ยว การจัดการผลผลิต ตลอดจนการเก็บรักษา ซึ่งมีผลทำให้องค์ประกอบของเซลล์ถูกทำลายและมีเอนไซม์หลุดลอดออกมาทำปฏิกิริยากับ substrate ตัวอย่างเช่น การบอบช้ำเสียหายของผลไม้หรือการแตกหักของปลายฝักของถั่วแขก (snap beans) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และเมื่อเกิดสีน้ำตาลขึ้น สารประกอบฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบจะถูกออกซิไดซ์เป็น quinone หรือสารที่คล้ายกับ quinone (quinine like compound) ซึ่งจะรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่เกิดเป็นรงควัตถุสีน้ำตาล (brown pigments) ซึ่งเรียกว่า melanins หรือ melanoidins สารที่มีความสำคัญและเชื่อว่าเป็น substrate ของปฏิกิริยานี้ คือ chlorogenic acid, neochlorogenic acid, catechol, tyrosine, phenylalanine, caffeic acid, protocatechin และ dopamine (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล (สุจิตรา, รตนะมโน, 2547)

การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบฟีนอล มุ่งเน้นไปที่องค์ประกอบของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล เทคนิคในการจัดการผลิตผลและการเก็บรักษา ซึ่งสามารถใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและสารประกอบฟีนอลที่จำเพาะหรือระดับของปฏิกิริยาของเอนไซม์ phenolase ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเนื้อเยื่อที่ศึกษาและในบางกรณีขึ้นอยู่กับพันธุ์ เทคนิคที่ใช้ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวหลายวิธีสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลิตผลบางอย่างได้ ตัวอย่างเช่น การเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วของถั่วแขกในขณะทำการเก็บเกี่ยวเนื่องจากการแตกหักของฝักและเมื่อนำไปแปรรูปจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐานอย่างเห็นได้ชัด ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในการเปลี่ยนสีนี้สามารถยับยั้งได้โดยการรมฝักถั่วด้วย sulfur dioxide ความเข้มข้น 7,500-10,000 m l/l เป็นเวลา 30 วินาที ส่วนในผลผลิตอื่นอาจใช้การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere storage) และการใช้ antioxidants

2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid: TSS)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ทั้งหมดได้แก่ น้ำตาล โปรตีน เกลือและสารประกอบฟีนอลิก(phenolic compound) แต่ในน้ำคั้นผลไม้ (Fruit juice) จะมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น TSS สามารถ ใช้เพื่อประเมินค่าปริมาณน้ำตาล โดยใช้น้ำคั้นผลไม้ เพียงเล็กน้อยในการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง Hand refractometer เครื่องนี้จะวัดจะวัดการสะท้อนแสงที่หักเหออกมาหลังจากที่ส่องผ่านสารละลายน้ำคั้นผลไม้บนปริซึมและแสดงค่าเป็น% Brix อุณหภูมิน้ำคั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับความแม่นยำในการวัด โดยเมื่อเกิดความร้อนวัสดุต่างๆจะขยายตัว ปริมาณน้ำตาลจะเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.5 % เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทุกๆ 5.6 °ซ ซึ่งใน Digital refractometer จะมีความสามารถในการปรับแต่งความแปรปรวนเนื่องจากอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติ (วีณา เมฆวัฒนากาญจน์, 2547) น้ำตาลเชิงเดี่ยว (simple carbohydrates) เช่น กลูโคส (glucose) และฟรุกโตส(fructose) ยังเกี่ยวข้องและมีส่วนสำคัญต่อคุณภาพของผลิตผลหลังเก็บเกี่ยว ปริมาณของน้ำตาลทั้งหมดที่มีในผลไม้นั้นมีตั้งแต่น้อยมาก เช่น ในมะนาวประมาณ 0.7 % ของน้ำหนักสดไปจนถึง 61 % ของน้ำหนักสดในอินทผาลัม (date palm) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugars) และน้ำตาลบางชนิดที่พบในผลไม้ (สุจิตรา รตนะมโน, 2547)

ชนิดของผลไม้	ชนิดของน้ำตาล		
	น้ำตาลทั้งหมด (% น้ำหนักทั้งหมด)		ซูโครส (% ของส่วนที่รับประทานได้)
	กลูโคส	ฟรุกโตส	
แอปเปิล	11.60	1.70	3.60
อะโวคาโด	0.40	-	-
เคอร์แรนท์, สีแดง	5.10	2.30	0.20
อินทผาลัม	61.00	32.00	8.20
องุ่น	14.80	8.20	0.00
มะนาว	0.70	-	-
สับปะรด	12.30	2.30	7.90
สาลี่	10.00	2.40	1.00
มะเขือเทศ	2.80	1.60	0.00
กล้วยหอม	-	5.82	6.58
ทับทิม	-	5.46	0.00
สตรอเบอรี่	-	2.59	1.30

2.4 ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้

กรดอินทรีย์ (organic acids) เป็นกรดที่พบในผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิด โดยมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึม รวมทั้งมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตผล โดยเฉพาะในผลไม้หลายชนิด กรดอินทรีย์จะมีกลุ่มของ carboxyl group (COOH) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ให้ความเป็นกรด (ยกเว้น fatty acid ไม่จัดเป็นกรดอินทรีย์) โดยอาจมี 1, 2 หรือ 3 กลุ่มของ COOH (mono-, di-,tricarboxylic acids) อาจอยู่ในรูปของ free acids หรือ anions (-COO-) หรือรวมเป็น salts, esters,glucosides หรือ สารประกอบอื่น

กรดอินทรีย์เป็นโมเลกุลสำคัญในขั้นตอนต่างๆ ของการหายใจ เป็นต้นกำเนิดของโมเลกุลอื่นๆ เช่น กรดอะมิโน (amino acids) ชนิดต่างๆ และทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และกรดอินทรีย์บางตัวยังทำหน้าที่หลายๆ อย่างในพืช บางเนื้อเยื่อซึ่งพบกรดอินทรีย์ในปริมาณสูง จะเป็นแหล่งอาหารสะสม (stored energy) และนำไปใช้เป็นแหล่งของพลังงานเมื่อจำเป็น กรดอินทรีย์ที่เป็นอาหารสะสมมักจะถูกเก็บไว้ใน vacuole ในปริมาณมาก เช่น malate ประมาณร้อยละ 70 อยู่ในส่วนของ vacuole ที่เหลืออีกประมาณ 30% อยู่ใน mitochondria สำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์พืชบางชนิดกรดอินทรีย์จะอยู่ในรูปของเกลือที่ไม่ละลาย (insoluble salts) ตัวอย่างเช่น calciumoxalates ใน rhubarb หรือ potassium bitartrate ในองุ่น เป็นต้นกรดอินทรีย์ที่พบโดยทั่วไปในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวแสดงในภาพที่ 1 สารประกอบเหล่านี้รวมถึงmonocarboxylic acids, monocarboxylic acids ที่รวมกับ alcohol, ketone หรือ aldehydemonocarboxylic carbocyclic aromatic และ alicyclic acids, dicarboxylic acids และ tricarboxylicacids ทั้งชนิดและปริมาณของกรดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เป็นการเปรียบเทียบปริมาณกรดแต่ละชนิดที่พบในแอปเปิล สาลี่ องุ่น กล้วยและสตรอเบอรี่ กรดส่วนใหญ่พบในปริมาณน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามกรด เช่น malic , citric และ tartaric มีแนวโน้มที่จะพบในปริมาณมากในบางเนื้อเยื่อ ความเข้มข้นของกรดที่มีมากเหล่านี้มีความผันแปรไปตามชนิดของผลิตผลเช่นในมะนาว (lemon, *Citrus limon*, Burm.) มี citric 70-75 meq/100 g FW ในขณะที่กล้วยมี malic เพียง 4 meq/100 g FW ในกรณีของมะนาวการมีกรดสูงเป็นลักษณะคุณภาพที่ต้องการแต่สำหรับกล้วยนั้นไม่ใช่

2.5 การเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว

สุจิตรา รตนะมโน (2547) กล่าวว่าเมื่อทำการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาพืชหรือส่วนของพืช เช่น มันฝรั่ง เมล็ดธัญพืช ถั่ว กะหล่ำดาว แอปเปิล ฟักทอง กล้วย และไม้ตัดดอกชนิดต่างๆ เป็นต้น แต่ละส่วนของพืชที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงทาง สรีรวิทยาและชีวเคมีเกิดขึ้นมากมาย การเก็บเกี่ยวส่วนต่างๆ ของพืชที่ระยะความบริบูรณ์ (mature stage) นั้นเป็นจุดวิกฤตในการที่จะผลิตผลิตผลที่ได้รับการยอมรับสูงสุดในตลาดผลิตผลสด เช่นเดียวกับผลิตผลบางอย่างที่จะนำไปแปรรูป เราจึงจำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเหล่านี้อย่างถูกต้อง เพื่อที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ตลอดช่วงเวลานี้ผลิตผลเกษตรจะมีการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพที่เสื่อมถอยลง พร้อมๆ กับมีการหายใจ การคายน้ำ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีหลายอย่างเกิดขึ้นด้วย และในที่สุดส่วนของพืชเหล่านี้ก็จะมีการเสื่อมเสียเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งปฏิกิริยาต่างๆ ของเอนไซม์

ในระหว่างระยะของการเจริญเติบโต (growth) และระยะการบริบูรณ์ (maturation) นั้น ส่วนต่างๆ ของพืชยังต้องอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสง การดูดซึมน้ำและแร่ธาตุอาหารผ่านจากต้นแม่ แต่เมื่อเก็บเกี่ยวจากต้นแม่แล้ว ชิ้นส่วนของพืชก็เป็นอิสระทันที และกระบวนการหายใจก็จะแสดงบทบาทสำคัญ

การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต เป็นกระบวนการที่พืชเปลี่ยนอาหารที่สะสมไว้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ไปอยู่ในรูปของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีในกิจกรรมต่างๆ เพื่อการดำรงชีวิตไว้ แล้วปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา ดังนั้นการหายใจจึงเป็นการดึงเอาอาหารสะสมออกไปจากผลิตผลตลอดเวลา นอกจากนั้นการหายใจยังให้ความร้อนออกมา และความร้อนนี้จะไปกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ให้เกิดได้รวดเร็วขึ้น ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น คุณค่าทางอาหารของผลิตผลจึงลดลงเรื่อย ๆ รวมทั้งรสชาติก็อาจลดลงด้วย ในดอกไม้ก็จะเริ่มเหี่ยวอย่างรวดเร็วส่งผลให้คุณภาพต่ำและอายุการใช้งานสั้นลง โดยทั่วไปผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงจะเป็นส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ยอดอ่อน ส่วนผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำมักจะเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างการพักตัวเช่น หัวมันเทศ มันฝรั่ง รวมไปถึงเมล็ดพืชต่างๆ และผลไม้เปลือกแข็ง (nuts) สำหรับพวกผลไม้โดยทั่วไปมีอัตราการหายใจในระดับปานกลาง แต่ผลไม้บางชนิดเมื่อมีการสุก (ripening) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก และมีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นด้วย เช่น กล้วยและมะม่วง ผลไม้ประเภทนี้จึงมีการสูญเสียมาก เก็บรักษาได้สั้นกว่าผลไม้ที่มีอัตราการหายใจต่ำและไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เช่น ส้ม ส่วนในดอกไม้อัตราการหายใจจะแตกต่างกันไปตามชนิด พันธุ์และอายุของดอก ปกติดอกไม้ที่มีอายุน้อยจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าดอกไม้ที่มีอายุมาก (ตารางที่ 2.4)

เนื่องจากความมีชีวิตของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เก็บเกี่ยวจากพืช องค์ประกอบทางชีวเคมีของผลิตผลเหล่านี้ก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย และส่วนมากเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ทำให้คุณภาพลดลง ดังนั้นในการเก็บรักษาผลิตผลให้ได้นานที่สุด จึงจำเป็นต้องรู้จักและเข้าใจในองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในผลิตผลแต่ละชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กรดอินทรีย์ สารสี สารประกอบฟีนอล สารระเหย และวิตามิน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบเหล่านี้ในสภาพแวดล้อมต่างๆ กัน ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 2.4 ลักษณะของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวแยกตามความแตกต่างทางสรีรวิทยา (จริงแท้ ศิริพานิช, 2538)

กลุ่มของผลิตผล	ลักษณะหลังการเก็บเกี่ยว
ผลิตผลที่กำลังเจริญเติบโต	- มีอัตราการหายใจสูง - มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีมาก - การสูญเสียน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเสื่อมคุณภาพ - บอบบาง เน่าเสียได้ง่าย - มีการเจริญเติบโตเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหา
ผลไม้ที่บริบูรณ์แล้ว	- มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายอย่างตามกระบวนการสุกเช่น ผลไม้ประเภท climacteric หรือ ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ผลไม้ประเภท non-climacteric - อาจจะบอบบาง ชอกช้ำง่าย เช่น สตรอเบอรี่ หรือ ค่อนข้างทนทาน เช่น ส้มโอ - อาจเกิดการเน่าเสียได้ง่าย
ผลิตผลที่เป็นส่วนสะสมอาหารและเป็นส่วนขยายพันธุ์	- มีการหายใจค่อนข้างต่ำ - ค่อนข้างทนทาน ไม่เสียง่าย - การงอกอาจทำให้เสื่อมสภาพได้ง่าย
เมล็ด	- มีการหายใจต่ำมาก - ทนทาน เก็บรักษาได้เป็นปี - ความชื้นในการเก็บรักษาอาจเป็นอุปสรรคในการงอก อาจทำให้เสื่อมสภาพได้ง่าย

อัตราการเสื่อมสภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการหายใจของผลิตผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว ดังแสดงการแบ่งชนิดของผลิตผลตามอัตราการหายใจ ส่วนใหญ่ผลิตผลกลุ่มที่มีอัตราการหายใจสูงมักมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่ากลุ่มที่มีอัตราการหายใจต่ำ สำหรับแบบแผนการหายใจและการผลิตเอทธีลีนของผลไม้ระหว่างการบริบูรณ์และการสุกสามารถแบ่งผลไม้ออกเป็นประเภท climacteric และ non-climacteric ผลไม้ประเภท climacteric มีอัตราการหายใจ และการสร้างเอทธีลีนเพิ่มมากขึ้นพร้อมๆ กับการสุก ในขณะที่พวก non-climacteric ซึ่งโดยทั่วไปมีการหายใจและการผลิตเอทธีลีนในอัตราที่ต่ำ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่การสุก แต่ทั้งนี้อัตราการหายใจของผลิตผลเกษตรนั้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ

ทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยจากสิ่งแวดล้อม

2.5.1 ปัจจัยภายในที่มีผลต่อการหายใจของผลิตผล

2.5.1.1 พันธุกรรม ผลผลิตแต่ละชนิดย่อมมีอัตราการหายใจแตกต่างกันตามลักษณะทางพันธุกรรม พืชใน species เดียวกัน เช่น กะหล่ำดอกและบรอคโคลี่ ซึ่งใช้ส่วนของช่อดอกในการบริโภคเหมือนกัน แต่มีอัตราการหายใจแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.5) เนื่องจากความแตกต่างกันของพันธุกรรม

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างผลไม้จำแนกตามลักษณะของการหายใจภายหลังการเก็บเกี่ยว (สุจิตรา รตนะมโน, 2547)

ประเภทของผลไม้	ชนิดของผลไม้
Climacteric	กล้วย ขนุน มังคุด ละมุด มะเดื่อ มะละกอ มะม่วง ทุเรียน แอปเปิล บ๊วย อะโวคาโด แคนตาลูป ท้อ สาลี่ พลับ พลัม กีวีฟรุต สาเก น้อยหน่า ฝรั่ง เสาวรส บลูเบอรี่ มะเขือเทศ ฯลฯ
Non-climacteric	ชมพู่ เงาะ มะนาว ส้ม ลิ้นจี่ ลำไย สับปะรด มะม่วงหิมพานต์ องุ่น พุทรา ทับทิม เชอรี่ สตรอเบอรี่ ราสพ์เบอรี่ แบลคเบอรี่ เกรพฟรุต มะกอกโอลีฟ กระเจี๊ยบ แตงกวา พริก ฯลฯ

2.5.1.2 ส่วนของพืชที่เก็บเกี่ยวมา ส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโตมีอัตราการหายใจค่อนข้างสูงเพราะต้องใช้พลังงานในการเสริมสร้างส่วนต่างๆ ในขณะที่ส่วนที่อยู่ในระยะพักตัวเช่น ส่วนที่สะสมอาหาร หรือส่วนของเมล็ด มีอัตราการหายใจต่ำมาก ในส่วนของผลไม้นั้นขึ้นอยู่กับประเภทของผลไม้ ถ้าเป็นประเภท climacteric มักมีอัตราการหายใจสูงขึ้นอย่างชัดเจนในขณะที่ผลกำลังสุก ส่วนผลไม้ที่เป็น non-climacteric นั้นอัตราการหายใจไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับผักทั้งหมดนั้นมีรูปแบบของการหายใจเช่นเดียวกับผลไม้ในกลุ่ม non-climacteric ในดอกไม้โดยเฉพาะไม้ตัดดอกความสัมพันธ์ระหว่างระยะพัฒนาของดอกและอัตราการหายใจมีความผันแปรไปตามชนิดของดอกไม้ เช่น คาร์เนชั่น (*Dianthus caryophyllus* L. cv. 'White Sims') ซึ่งเก็บเกี่ยวระยะต่างๆ ตั้งแต่ดอกตูมไปจนถึงระยะดอกบานเต็มที่ พบว่าดอกที่มีความบริบูรณ์มากกว่าจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามพบว่าดอกเบญจมาศ (cv. 'Indianapolis White') มีอัตราการหายใจลดลงเมื่อดอกมีความบริบูรณ์มากขึ้น

2.5.1.3 Substrate ของการหายใจ จากสมการการหายใจ นั้น ถ้าใช้คาร์โบไฮเดรต เป็นอาหาร หรือ substrate ค่า R.Q. หรือ respiratory quotient ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนระหว่าง CO_2:O_2 จะมีค่า = 1 ถ้าใช้ไขมัน (lipid) เป็น substrate R.Q. จะ < 1 และถ้าใช้กรดอินทรีย์ (organic acid) เป็น substrate R.Q. จะ > 1 สำหรับการหายใจแบบใช้ O_2 (aerobic respiration) นั้น ค่า R.Q. จะอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 1.3 แต่ถ้าค่า R.Q. สูงมากกว่านี้จะบ่งบอกถึงการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 (anaerobic respiration) ดังนั้นการวัดอัตราการหายใจโดยการวัดอัตราการผลิต CO_2 หรืออัตราการใช้ O_2 อย่างเดียว อาจทำให้ผิดพลาดได้

2.5.1.4 ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยว มีการศึกษาพบว่าอัตราการหายใจของผลิตผลนั้น มีความแตกต่างกันไประหว่างปีการเพาะปลูก และแหล่งที่เพาะปลูก ทำให้สันนิษฐานได้ว่าสภาพภูมิอากาศระหว่างการเจริญเติบโต แหล่งที่เพาะปลูก และการดูแลรักษามีผลต่ออัตราการหายใจ รวมไปถึงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวด้วย องค์ประกอบของแร่ธาตุอาหารในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวนั้นมีผลมาจากแร่ธาตุอาหารในต้นแม่ ในเนื้อเยื่อพืชที่มีโปแตสเซียมและแคลเซี่ยมต่ำนั้นจะมีอัตราการหายใจที่สูงกว่าปกติมาก ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 3 ผลแอปเปิลที่มีปริมาณแคลเซียมที่เปลือกต่ำจะมีอัตราการหายใจที่สูงกว่าผลที่มีปริมาณแคลเซียมที่เปลือกสูง นอกจากนี้เนื้อเยื่อที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง (เช่นในแอปเปิลและสตรอเบอรี่) ก็มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของการหายใจ ในกรณีของแอปเปิล อิทธิพลของปริมาณไนโตรเจนที่สูงจะแสดงผลให้เห็นได้ชัดเจนเมื่อแอปเปิลมีปริมาณแคลเซียมในผลต่ำ

2.5.2 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการหายใจของผลิตผล

2.5.2.1 อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นจะกระตุ้นให้อัตราการเกิดเมแทบอลิซึมของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากอุณหภูมินี้มักใช้ค่า Q_{10} ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราของปฏิกิริยาหนึ่งที่อุณหภูมิหนึ่ง หารด้วยอัตราของปฏิกิริยานั้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอยู่ 10 °ซ (อัตราที่ T_1+10 °ซ / อัตราที่ T_1) โดยทั่วไปเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น10°ซ อัตราการหายใจจะเกิดเร็วขึ้นประมาณ 2-2.5 เท่า ในช่วงของอุณหภูมิ 5-25 °ซ ส่วนที่อุณหภูมิสูงกว่านั้น เช่นที่ 30-35 °ซ แม้ว่าอัตราการหายใจจะเพิ่มสูงขึ้นแต่จะเพิ่มไม่มากนักจึงมีค่า Q_{10} ต่ำลง

2.5.2.2 องค์ประกอบของบรรยากาศ การลดปริมาณออกซิเจนและการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่ว่าจะโดยการดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere storage) การควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศ (controlled atmosphere storage) หรือแม้แต่การจำกัดการไหลเวียนของอากาศภายในตู้สินค้าหรือในรถขนส่งสินค้าก็ตาม สามารถชะลอหรือกระตุ้นการหายใจและการเสื่อมสภาพของผลิตผล แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล พันธุ์ อายุ ระดับของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา

2.5.2.3 ความเสียหายทางกายภาพ เนื้อเยื่อของพืชเมื่อเกิดบาดแผลหรือถูกกระทบกระเทือนจะมีผลถึง อัตราการหายใจและการเสื่อมสภาพของผลิตผล การเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อของพืชซึ่งเป็นผลมาจากการที่เมมเบรนถูกทำลายทำให้สารประกอบฟีนอลรั่วไหลออกมาและเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenol oxidase การเกิดความเสียหายทางกายภาพนี้ไม่เพียงแต่ทำให้เกิดรอยบาดแผลหรือตำหนิเท่านั้น ยังมีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำ ทำให้เกิดช่องทางการเข้าทำลายของเชื้อรา เร่งการหายใจและการผลิตเอทธีลีนของผลิตผลด้วย ดังนั้นการปฏิบัติต่อ ผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงต้องทำด้วยความระมัดระวังและมีความปราณีตที่สุด จึงจะช่วยลดความเสียหายต่างๆ ลงได้

ผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวนอกจากจะมีการเสื่อมสภาพอันเป็นผลมาจากกระบวนการหายใจแล้ว ยังมีผลิตผลโดยเฉพาะผลไม้พวก climacteric ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมายเนื่องจากกระบวนการสุก โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่ผลไม้เข้าสู่การสุกมีดังต่อไปนี้

(1) เมล็ดพัฒนาเข้าสู่ความบริบูรณ์ มีการเปลี่ยนแปลงของสี เนื่องจากการสลายของคลอโรฟิลล์ และอาจมีการสร้างสารสีแอนโธไซยานิน และแคโรทีนอยด์ขึ้น เกิดการหลุดร่วง (abscission) ของผล

(2) มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจ

(3) มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตเอทธีลีน และมีการตอบสนองต่อเอทธีลีน

ได้ง่ายขึ้น

(4) องค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น สารประกอบพวกเพกตินเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ผลไม้อ่อนตัว5. การควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ผ่านผนังเซลล์ลดน้อยลง

(6) โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ ถูกสร้างขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงของ RNA และ DNA ไปจากเดิม

(7) โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงไป เช่น แป้ง เปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล

(8) กรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบมีการเปลี่ยนเปลี่ยนไป

(9) สารระเหยที่ให้กลิ่นและรสถูกสร้างขึ้น

(10) สารพวกแทนนินรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ทำให้ความฝาดลดลง

(11) มีการสะสมของไข (wax) บนผิวของผล

2.6 แบบจำลองระบบ (อรรถชัย จินตะเวช, 2549)

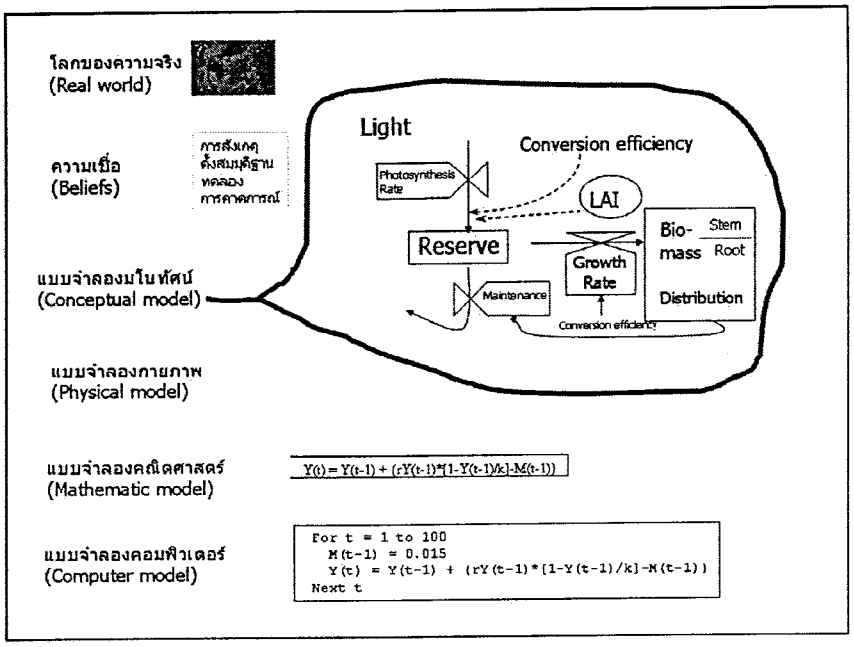
แบบจำลองระบบ หมายถึง ตัวแทนของความจริงหรือระบบที่สนใจ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและการใช้งานของสังคมมนุษย์ เพิ่มความเป็นไปได้ในการสื่อสารระหว่างกลุ่มคน และอาจจะใช้แบบจำลองในการเปรียบเทียบทางเลือกนำสู่ทางออกของปัญหาของระบบได้การพัฒนาแบบจำลองระบบต้องใช้เวลาและองค์ความรู้เกี่ยวกับระบบที่ให้ภาพรวมของระบบในระดับที่มีความมั่นใจว่าแบบจำลองเป็นตัวแทนได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของระบบการผลิตข้าว ลูกโลกและแผนที่โลกมาตราส่วนต่าง ๆ คำอธิบายการกระจายผลผลิตข้าวสู่ตลาดในประเทศและนอกประเทศ แบบจำลองบ้านพักอาศัยซึ่งโครงการหมู่บ้านจัดสรรทำขึ้นเพื่อแสดงให้ลูกค้าได้เห็นเป็นตัวอย่างประกอบการตัดสินใจเลือกแบบบ้านที่ชอบ เป็นต้น การพัฒนาแบบจำลองที่ดีต้องมีการวิเคราะห์ระบบที่ดี แบบจำลองช่วยประมวลความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน มีความสมบูรณ์เท่าที่มีองค์ความรู้ แบบจำลองช่วยเสริมการสื่อสารระหว่างกลุ่มคน ช่วยทำให้การพัฒนาด้านต่าง ๆ เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร ตัวอย่างแบบจำลองซึ่งมีผลต่อการพัฒนาของวงการวิทยาศาสตร์มากได้แก่ แนวคิดแบบจำลองโลกเสนอโดย Copernicus ซึ่งมีชีวิตอยู่ระหว่างปี ค.ศ. 1473-1543 ว่าโลกมีรูปทรงกลมไม่ใช่เป็นแผ่นดินแบน ๆ อย่างที่เข้าใจกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของสังคมมนุษย์ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ทำให้มีการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในทุกด้าน และปัจจุบันสามารถดูแบบจำลองโลกสมัยใหม่ผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เนทที่ http://earth.google.com ดังนั้น การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองให้มีความใกล้เคียงกับระบบจริงหรือโลกแห่งความเป็นจริงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้จึงมีความสำคัญต่อความเข้าใจที่มีต่อระบบ การสร้างความสามารถในการ

คาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์ที่จะได้จากระบบในเวลาต่างกัน ในสถานที่ต่างกัน หรือสามารถใช้แบบจำลองช่วยคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนองค์ประกอบของระบบในระดับต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดมากขึ้นในบทต่อไปโลกของความจริง (Real world) หมายถึง เรื่องราว ประเด็นซึ่งสังคมให้ความสนใจในขณะนั้นเรื่องราวมีความซับซ้อน หากมนุษย์มีความต้องการเปลี่ยนแปลงบางส่วนของเรื่องราวให้ได้ตามวัตถุประสงค์สามารถดำเนินการได้โดยการสร้างแบบจำลองระบบแบบจำลองที่สร้างได้ง่าย ได้แก่แบบจำลองโลกของความจริงในลักษณะความเชื่อ (Beliefs) หมายถึง ความพยายามของมนุษย์ในการหาเหตุผลในการแก้ปัญหา โดยการสังเกตสภาพใกล้ตัว หรือโลกแห่งความจริง มีการตั้งข้อสังเกต และมีการลองผิดลองถูก ทราบผลลัพธ์ในแต่ละสถานการณ์ แล้วใช้ความสามารถนั้นในการคาดการณ์และการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ตามความเชื่อให้เป็นประโยชน์จากนั้นมีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการสื่อสารระหว่างกันและกัน แบบจำลองมโนทัศน์ (Conceptual model) เป็นขั้นตอนที่มนุษย์พยายามย่อโลกแห่งความจริงและความเชื่อที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาของสังคมให้เป็นเครื่องมือในการสื่อสารโดยการใช้สัญลักษณ์ที่มีมาตรฐาน

แบบจำลองกายภาพ (Physical model) เป็นขั้นตอนที่มนุษย์สร้างสรรค์โลกแห่งความจริงในลักษณะที่เป็นรูปธรรมสามารถสัมผัสและเห็นรูปร่างจริงได้ เช่น รูปปั้นของบุคคลสำคัญ รูปหน้าตัดชุดดินต่าง ๆ รูปภาพแสดงองค์ประกอบของระบบ ลูกโลกทรงกลมตัวแทนของโลก เป็นต้น

แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เป็นการแปลงแบบจำลองมโนทัศน์ให้อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเพิ่มความสามารถในการคำนวณและมีความแม่นยำและสามารถใช้นำไปใช้งานได้หลากหลายสถานการณ์มากกว่าแบบจำลอง สองแบบแรกที่กล่าวมาแล้ว

แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer model) เป็นการแปลงแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการคำนวณ และสามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง การใช้งานและการแสดงผลการคำนวณสามารถแสดงในลักษณะของรูปภาพ สี แสง และเสียงได้ ทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับระบบมากขึ้น แบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้คาดการณ์อัตราการเปลี่ยนแปลงและขนาดของการเปลี่ยนแปลงของระบบที่สนใจได้ โดยอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ของระบบ จากการที่สามารถคาดการณ์ได้นั้นนำไปสู่การจัดการและการควบคุมการใช้ทรัพยากรที่ดีและยั่งยืน



ภาพที่ 2.2 ชนิดแบบจำลองของระบบโลกของความจริง เริ่มจากแบบจำลองชนิดที่เป็นความเชื่อถึงแบบจำลองชนิดที่เป็นโปรแกรมหรือแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (อรรถชัย จินตะเวช, 2549)

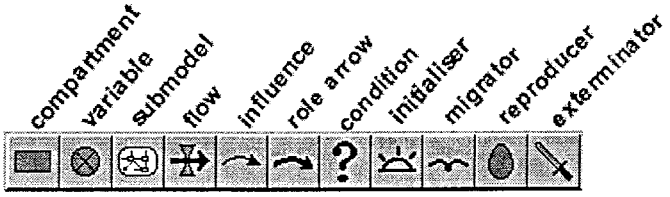
2.7 การพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์

การพัฒนาแบบจำลองระบบ หรือ การสร้างแบบระบบ หมายถึง การพัฒนา หรือ สร้าง หรือ เขียนโปรแกรมแบบจำลองคอมพิวเตอร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักและตัวแปรอัตราเปลี่ยนของระบบการพัฒนาแบบจำลองระบบต้องเตรียมการหลายด้านเพื่อให้ได้แบบจำลองตามจุดประสงค์ มีรายละเอียดของการพัฒนาแบบจำลองระบบในอดีตการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์เป็นหน้าที่ของโปรแกรมเมอร์ เนื่องจากความซับซ้อนและความยุ่งยากในการพัฒนาโปรแกรมและการเรียนรู้ภาษาคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตาม การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์มีวิวัฒนาการมากและบุคคลทั่วไปสามารถสร้างแบบจำลองระบบที่สนใจได้โดยการเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความถนัด เช่น FORTRAN, VB, MS Excel, STELLA และ SIMILE เป็นต้น

2.8 ใช้โปรแกรม SIMILE สร้างแบบจำลองระบบ

การสร้างแบบจำลองระบบเกษตร เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อบรรณยายความสัมพันธ์ของตัวแปรในเดิมการสร้างแบบจำลองระบบต้องมีโปรแกรมเมอร์ที่มีความสามารถสูงมากในการปฏิบัติงานร่วมกับนักเกษตร อย่างไรก็ตามเมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาโปรแกรมที่เอื้อต่อการสร้างแบบจำลองหลายโปรแกรมได้แก่ STELLA (URL1) และ SIMILE (URL2) กระบวนวิชานี้ใช้โปรแกรม SIMILE เป็นสื่อในการเรียนรู้เพราะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถใช้โปรแกรมในลักษณะประกอบการเรียนรู้ในชั้นเรียนและนอกชั้นเรียนได้ มีวงสนทนาผ่านเครือข่ายอินเตอร์เนททั้งด้านการเรียนการสอนและการวิจัยตลอดจนการพัฒนานำใช้เพื่อการแก้ปัญหาระบบเกษตรและระบบอื่นๆ คำว่าระบบ มีการใช้แพร่หลายทุกวงการ

คำว่าระบบในหนังสือเล่มนี้หมายถึงเรื่องราวของการเกษตรที่สามารถเขียนและบรรยายโดยใช้สัญลักษณ์ในโปรแกรม SIMILE สามารถ download ได้จาก (URL2) ซึ่งเป็นเพียงโปรแกรมหนึ่งในการสนับสนุนการสร้างแบบจำลองโดยใช้สัญลักษณ์เท่านั้น (URL3) โปรแกรม SIMILE ใช้สัญลักษณ์ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์การสร้างแบบจำลองโปรแกรม SIMILE

ตัวแปรหลัก (Compartment)

ตัวแปรหลักในโปรแกรมใช้สัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยม มีความหมายเป็นตัวแทนการสะสมของตัวแปรหลักของระบบ เช่น ผลผลิตพืช จำนวนไก่ในฟาร์มเลี้ยงไก่ จำนวนสัตว์ที่เป็นโรค จำนวนประชากรในหมู่บ้าน เป็นต้น ตัวแปรหลักทำให้ทราบว่าขนาดหรือจำนวนของตัวแปรหลักของระบบในแต่ละช่วงเวลาเป็นเท่าใด โดยมีสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 2.4 สัญลักษณ์ตัวแปรหลักในโปรแกรม SIMILE

ตัวแปรอัตราเปลี่ยนของตัวแปรหลัก (Flow or processes)

หมายถึง ขั้นตอนของกิจกรรมของระบบที่มีทำให้ตัวแปรหลัก มีการเปลี่ยนแปลงขนาด จำนวน พื้นที่ รูปร่าง สีสัน และคุณลักษณะอื่น ๆ ตามกาลเวลาหรือตามสภาพพื้นที่ โดยมี การไหลเข้าและออกตัวแปรหลักโดยสัญลักษณ์การไหล

ภาพที่ 2.5 สัญลักษณ์การไหลของตัวแปรในโปรแกรม SIMILE

ค่าคงที่ (Converters **หรือ** Variables)

หมายถึง ค่าคงที่หรือตัวแปรซึ่งมีผลให้ตัวแปรหลักมีการเปลี่ยนแปลงขนาด จำนวน พื้นที่ รูปร่าง สีสัน และคุณลักษณะอื่น ๆ ตามกาลเวลาหรือตามสภาพ โดยมีสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 2.6 สัญลักษณ์ตัวแปรอัตราเปลี่ยนในโปรแกรม SIMILE

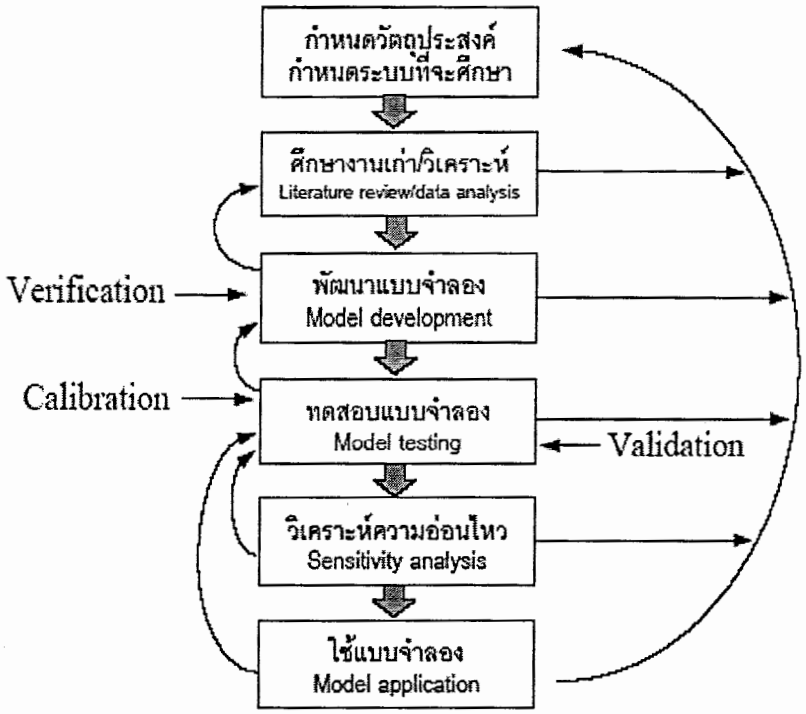
สมการเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบ (Connector)

หมายถึง สมการทางคณิตศาสตร์หรือเส้นและลูกศรเชื่อมระหว่าง ตัวแปรหลัก ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวแปรหลักและตัวแปรหรือค่าคงที่ของระบบ เช่นสัญลักษณ์การเชื่อมโยงตัวแปรหลัก

ภาพที่ 2.7 ตัวแปรอัตราเปลี่ยนในโปรแกรม SIMILE

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่า ได้พัฒนาตามกระบวนการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งเป็นกระบวนการสองระยะคือ กระบวนการออกแบบและการพัฒนาแบบจำลองของระบบที่ศึกษาและกระบวนการใช้แบบจำลองระบบในการจัดการทรัพยากรในระบบจริง (ภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัยตามแนวคิด SMS เพื่อพัฒนา ทดสอบ และการใช้งานแบบจำลอง (อรรถชัย จินตะเวช, 2549)

3.1 กำหนดจุดประสงค์ กำหนดระบบที่ทำการศึกษา (define the objectives and the system)

ขั้นตอนแรก กำหนดจุดประสงค์และกำหนดขอบเขตของเรื่องที่ทำการศึกษาการกำหนดขอบเขตของเรื่องที่ทำการศึกษา คือ ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่าการกำหนดขอบเขตจะช่วยให้การจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ขั้นตอนนี้คือการแยกให้ชัดว่าจะใช้แนวทางนี้เพื่อ

3.1.1 ช่วยประมวลความหมายหรือผลการทดลองโดยใช้แบบจำลอง

3.1.2 ใช้แบบจำลองในการกำหนดทิศทางในการวิจัยของหน่วยงาน

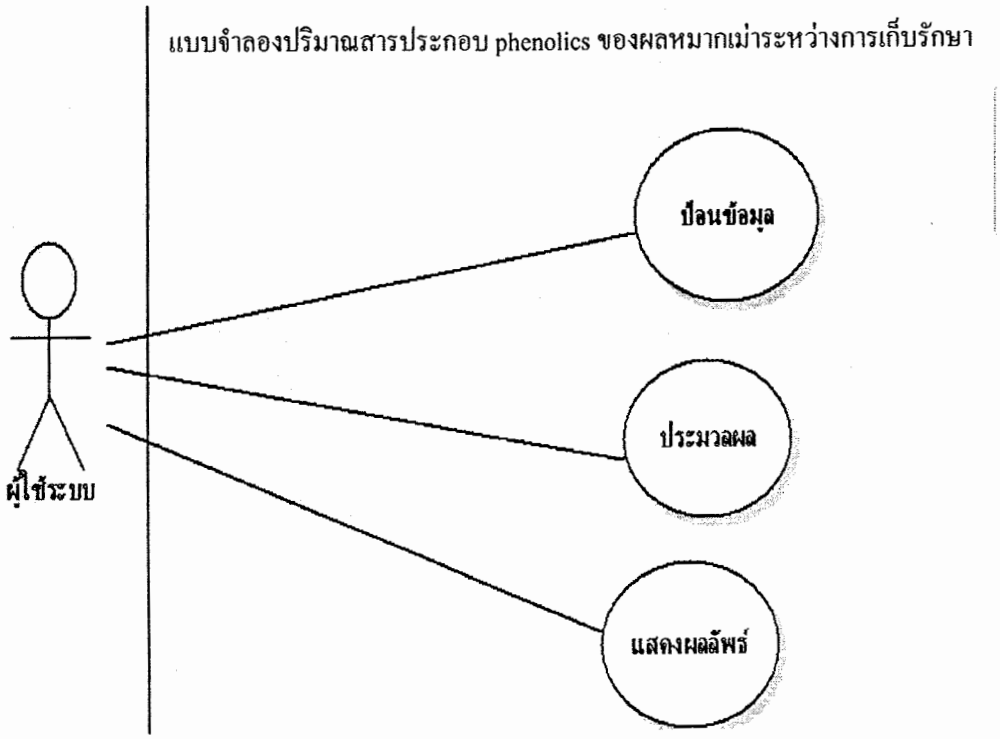
3.1.3 ใช้แบบจำลองในการสนับสนุนการตัดสินใจจัดสรรทรัพยากรการผลิต โดยผู้วิจัยได้แยกไว้ แน่ชัดแล้วว่าจะใช้แนวทาง ที่ 1 จาก 3 แนวทาง คือ เพื่อช่วยประมาณผลการทดลองโดยใช้แบบจำลอง

3.2 ตรวจเอกสาร (literature review and data analysis)

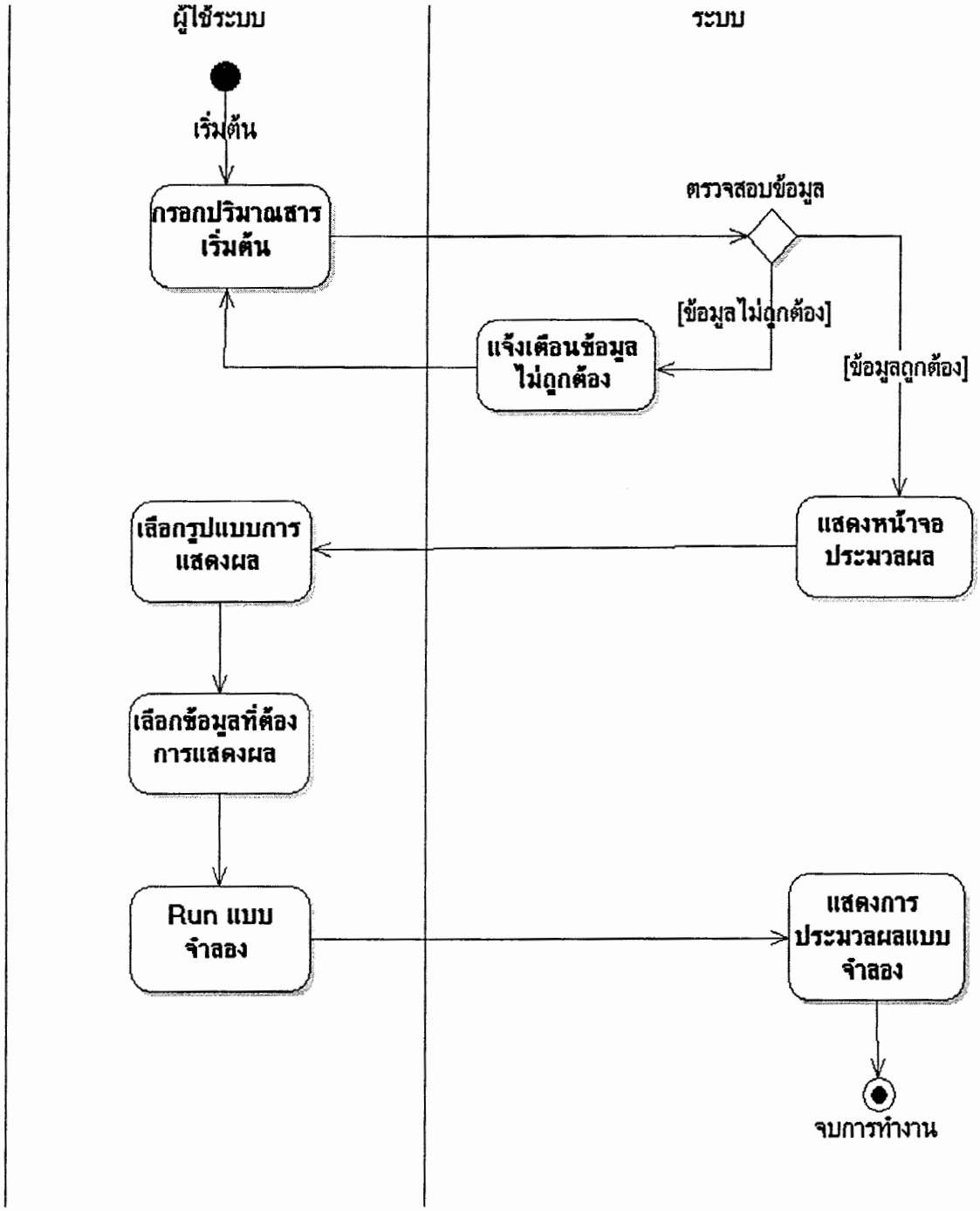
ขั้นตอนที่สอง เป็นการศึกษาเพื่อทราบองค์ความรู้และวิเคราะห์ข้อมูลที่มีผู้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้าแล้วเป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากจะเป็นการกำหนดความต้องการของข้อมูล ความสามารถของแบบจำลอง และการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาแบบจำลอง ในเบื้องต้นอาจจะสามารถสร้างแบบจำลองประเภท empirical เมื่อมีความเข้าใจดีแล้วจึงจะสามารถสร้างแบบจำลองประเภท process-based ได้ ซึ่งต้องการข้อมูลปริมาณมากและมีขีดความสามารถในการคาดการณ์ได้ดีกว่าแบบแรก แต่ต้องการข้อมูลแนวลึกเป็นปริมาณมากกว่าแบบจำลองแบบแรก

3.3 พัฒนาแบบจำลอง (model development)

กิจกรรมในช่วงนี้จะมีการกลับไปกลับมาอยู่ในระหว่างขั้นตอนที่สามถึงขั้นตอนที่หก ขั้นตอนนี้ผนวกสองขั้นตอนเข้าด้วยกันได้แก่ ขั้นตอนที่สามถึงขั้นตอนที่หก แต่วัตถุประสงค์คงเดิม ได้แนะนำกฎพื้นฐานของการสร้างแบบจำลอง คือ เลือกองค์ประกอบของระบบแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกันเพื่อสร้างแบบจำลองเป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้ให้การเข้าใจพฤติกรรมของระบบแบบจำลองและสามารถสร้างความสัมพันธ์แต่ล่ะองค์ประกอบโดยสมการทางคณิตศาสตร์ และพยายามรักษาความเรียบง่ายโดยใช้โปรแกรม SIMILE สร้างแบบจำลองระบบ และมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองระบบดังนี้



ภาพที่ 3.2 Use Case Diagram แบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา



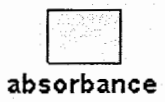
ภาพที่ 3.3 Activity Diagram แบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

ตัวแปรหลัก

คือตัวแทนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid; TSS), ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable Acidity; TA), ปริมาณสารประกอบ Phenolics สารตัวผลมะเม่าระยะสุกเต็มที่

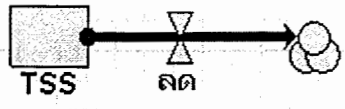
ภาพที่ 3.4 ค่าที่ได้จากการวัด ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid; TSS) จากสารตัวอย่างมะเม่าระยะบริบูรณ์ ที่ 4 สีม่วง หรือสีดำก่อนการเก็บรักษา

ภาพที่ 3.5 ค่าที่ได้จากการวัด ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable Acidity; TA) จากสารตัวอย่างมะเม่าระยะบริบูรณ์ ที่ 4 สีม่วง หรือสีดำก่อนการเก็บรักษา

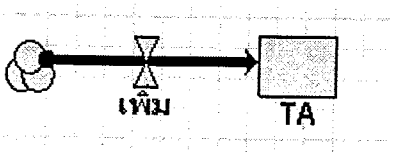


ภาพที่ 3.6 ค่าที่ได้จากการวัด absorbance ของสารตัวอย่างมะเม่าระยะบริบูรณ์ ที่ 4 สีม่วง หรือสีดำในการหา total phenolic compounds ด้วยวิธี folin-ciocalteu ที่ความยาวคลื่น 760 nm ก่อนการเก็บรักษา

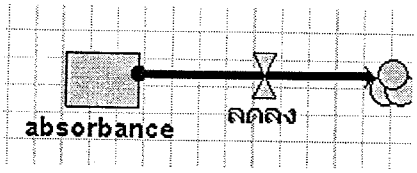
ตัวแปรอัตราเปลี่ยน



ภาพที่ 3.7 ตัวแปรอัตราเปลี่ยนที่ลดลงของปริมาณ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid; TSS) เมื่อเก็บรักษาใน 1 สัปดาห์



ภาพที่ 3.8 ตัวแปรอัตราเปลี่ยนที่เพิ่มขึ้นของปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable Acidity; TA) เมื่อเก็บรักษาใน1 สัปดาห์



ภาพที่ 3.9 ตัวแปรอัตราเปลี่ยนที่ลดลงของค่า absorbance เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10°C และ 25°C ใน1 สัปดาห์

ค่าคงที่ (Converters หรือ Variable)

ภาพที่ 3.10 ค่า sugar:acid ratio โดยนำของปริมาณ ของแข็งที่ละลายน้ำได้(TSS) หารด้วย ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (TA)

ภาพที่ 3.11 ค่า อุณหภูมิที่เก็บรักษาหมากเม่าหลังการเก็บเกี่ยว

ภาพที่ 3.12 การนำเข้าข้อมูลจากการวัดปริมาณ TA TSS และ ค่า absorbance

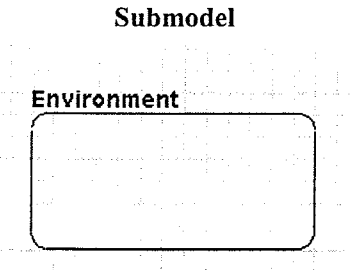
ภาพที่ 3.13 ค่า absorbance ที่ได้จากการเก็บรักษา

ภาพที่ 3.14 สมการระหว่างค่า absorbance กับปริมาณ standard gallic acid

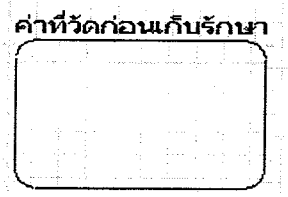
ภาพที่ 3.15 ค่าหมากเม่าที่ 100 g

ภาพที่ 3.16 ค่าหมากเม่าที่บด (g) ต่อสารที่นำมาสกัด (1.2 M HCI in Water)

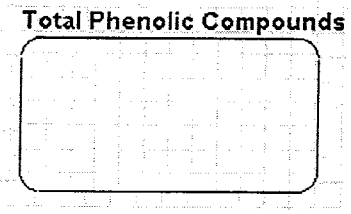
ภาพที่ 3.17 ค่าปริมาณ Total phenolic compound ในหมากเม่า 100



ภาพที่ 3.18 Submodel ของ ปัจจัยภายนอก (Environment) คือ อุณหภูมิ



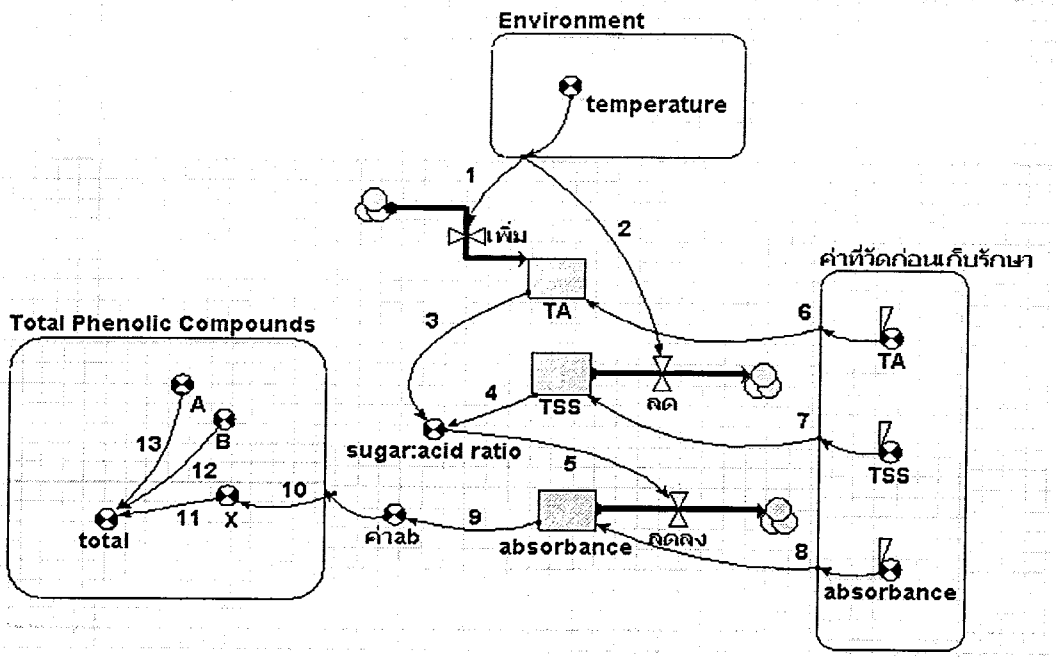
ภาพที่ 3.19 Submodel ของค่าที่วัดก่อนการเก็บรักษา คือ ค่า TA TSS และ ค่า absorbance



ภาพที่ 3.20 Submodel ของปริมาณ Total phenolic Compounds ในหมากเม่า

สมการเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบ (Connector)

เป็นสมการทางคณิตศาสตร์หรือเส้นและลูกศรเชื่อมระหว่างตัวแปรหลัก และ ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวแปรหลัก และตัวแปรหรือค่าคงที่ของระบบ



ภาพที่ 3.21 แบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่า

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 1 หมายถึง temperature ทำให้ปริมาณ TA ระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 2 หมายถึง temperature ทำให้ปริมาณ TSS ระหว่างการเก็บรักษาลดลง

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 3 และ 4 หมายถึง TSS/TA คำนวณหาค่า sugar: acid ratio

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 5 หมายถึง ค่า sugar: acid ratio ทำให้ปริมาณ absorbance ลดลง

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 6 หมายถึง ปริมาณ TA ก่อนการเก็บรักษา หน่วยวัดเป็น%

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 7 หมายถึง ปริมาณ TSS ก่อนการเก็บรักษา หน่วยวัดเป็น % Brix

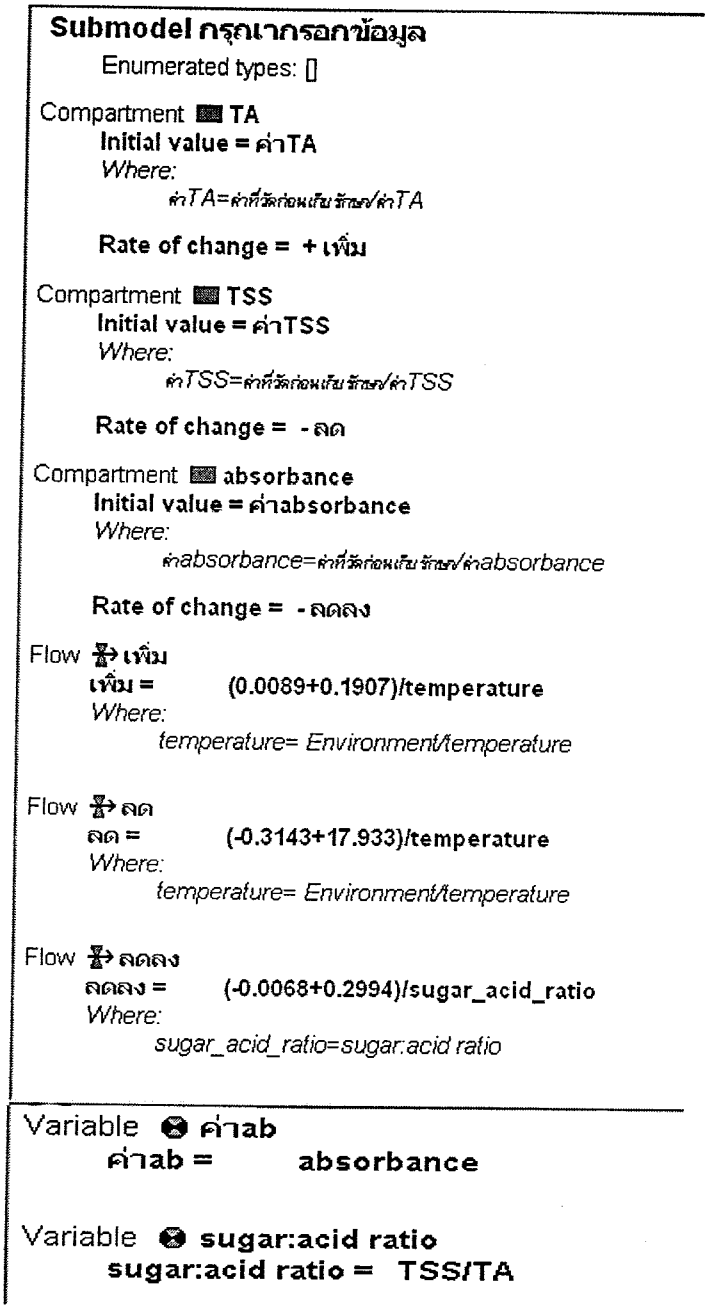
เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 8 หมายถึง ค่า absorbance ก่อนการเก็บรักษา

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 9 หมายถึง ค่า absorbance (ค่า ab) ที่ได้จากการเก็บรักษา

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 10 หมายถึง ใส่ค่า ab ในสมการ standard gallic acid (X)

เส้นและลูกศรเชื่อมหมายเลข 11 12 และ13 หมายถึง การนำค่า X, B และ A ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ total phenolics compound ในหมากเม่า

จากภาพที่3.21 แบบจำลองอุณหภูมิเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่า ได้สมการอุณหภูมิเก็บรักษาที่10°ซ ดังนี้



ภาพที่ 3.22 สมการในแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

Submodel ค่าที่วัดก่อนเก็บรักษา

Enumerated types: null

Variable ค่าTA
ค่าTA = **Fixed parameter**

Variable ค่าTSS
ค่าTSS = **Fixed parameter**

Variable ค่าabsorbance
ค่าabsorbance = **Fixed parameter**

Submodel Environment

Enumerated types: null

Variable temperature
temperature = 10

Submodel Total Phenolic Compounds

Enumerated types: null

Variable A
A = 0.5/25.5

Variable B
B = 100/0.5

Variable X
X = (ค่าab-0.1416)/0.824
Where:
ค่าab=../ค่าab

Variable total
total = B*A*X

ภาพที่ 3.22 สมการในแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่า ระหว่างการเก็บรักษา (ต่อ)

3.4 การทดสอบแบบจำลอง (model testing)

ขั้นตอนที่สี่ การทดสอบแบบจำลองเป็นส่วนที่สำคัญและใช้เวลานานมากกว่ากิจกรรมอื่นเพราะเป็นช่วงที่ต้องทดสอบว่าแบบจำลองคาดการณ์สิ่งที่เกิดขึ้นกับระบบจริงเพียงใด

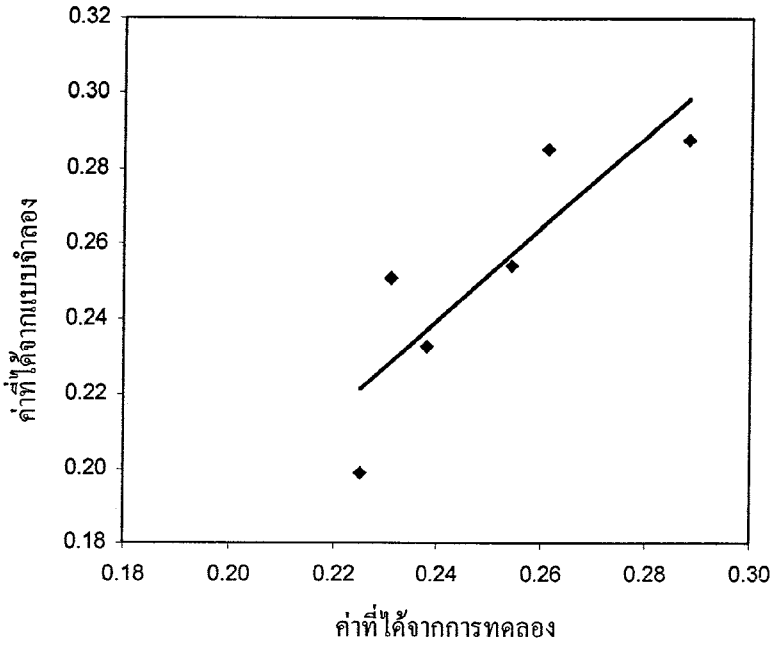
ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษาจากตัวอย่างการทดลองที่ 2 และ 3 จากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°ซ (ภาคผนวก ค) ส่วนในการทดสอบแบบจำลองผู้วิจัยใช้ตัวอย่างการทดลอง ที่ 1 ในการดำเนินการทดสอบความแม่ยำของแบบจำลองในการคาดการณ์ผลการทดลอง

3.4.1 การทดสอบแบบจำลองมีขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอน

3.4.1.1 ขั้นตอนการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์บางตัวเพื่อให้แบบจำลองสามารถคาดการณ์พฤติกรรมและผลลัพธ์ของระบบจริงได้ (model calibration) ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็น Input มากกว่าการปรับแต่งค่าคงที่ในแบบจำลอง เมื่อแบบจำลองได้รับการปรับแต่งแล้วจะสามารถคาดการณ์สภาพจริงในสถานการณ์เฉพาะพื้นที่ได้ดี การปรับแต่งแบบจำลองนี้สามารถใช้ข้อมูลแหล่งเดียวกันกับข้อมูลที่ใช้พัฒนาแบบจำลองได้

3.4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการคาดการณ์ของแบบจำลองเมื่อเทียบกับระบบจริง (model validation) ซึ่งไม่ได้ใช้ข้อมูลในขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองในทางปฏิบัติผู้ใช้แบบจำลองจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแปลงทดลอง (observed values) กับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง (simulated values) และต้องเป็นข้อมูลที่ได้มาจากคนละแหล่งกับข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง การทดสอบแบบจำลองในขั้นตอนนี้ดำเนินการถึงระดับที่ผู้ใช้งานแบบจำลองหรือผู้พัฒนาแบบจำลองมีความมั่นใจว่าแบบจำลองมีความแม่นยำ (accurate) และความเที่ยงตรง (precision) ในการคาดการณ์ระบบจริงตามที่ได้ตั้งไว้ในจุดประสงค์

ผู้วิจัยนำค่าจากตัวอย่างการทดลองที่ 1 มาทดสอบความสามารถในการคาดการณ์ของแบบจำลองระบบเมื่อเทียบกับระบบจริง (model validation) (ภาพที่ 3.23)



ภาพที่ 3.23 การเปรียบเทียบค่า absorbance จากสมการ linear regressionของตัวอย่างหมากเม่า ที่ได้จากแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics และจากการทดลอง

สมการ linear regression ที่มี ค่า intercept = 0 และ slope = 1 เมื่อทำการทดสอบแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่า ค่าจากการทดลองและค่าจากแบบจำลองมีค่าเท่ากัน และแบบจำลองมีความแม่นยำและความถูกต้องในการคาดการณ์ระบบจริงในกรณีที่จุดส่วนใหญ่อยู่เหนือเส้นแสดงว่าแบบจำลองคาดการณ์เกินสภาพจริง หรือที่เรียกว่า overestimationในกรณีที่จุดส่วนใหญ่อยู่ใต้เส้นแสดงว่าแบบจำลองคาดการณ์ได้ต่ำกว่าสภาพจริง หรือที่เรียกว่า underestimation จากภาพที่ 3.23 จะเห็นว่าจุดส่วนใหญ่อยู่ใต้เส้น แสดงว่าแบบจำลองคาดการณ์ได้ต่ำกว่าสภาพจริง โดยที่แบบจำลองมีความสามารถในการคาดการณ์ค่า absorbance ของตัวอย่างหมากเม่าจากการวิเคราะห์ค่า R, R^2, t-test, MAE และค่า RMSE ได้เท่ากับ 0.943, 0.889, 2.831, 0.013 และ 0.012 จากค่าที่ได้ในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษาให้ผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจ

3.5 การทดสอบความอ่อนไหว (sensitivity analysis)

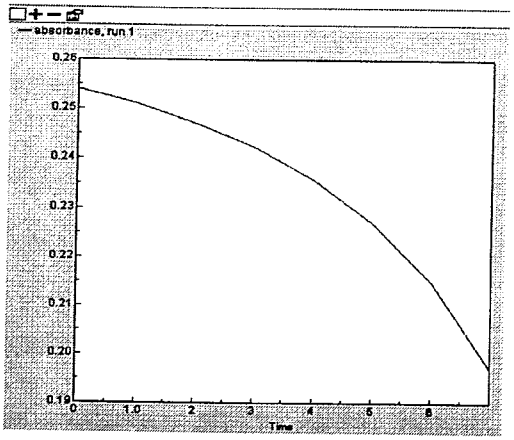
ขั้นตอนที่ห้า จะดำเนินการเมื่อแบบจำลองได้ผ่านขั้นตอนที่สามและสี่แล้วเป็นการทดสอบให้ทราบว่าผลลัพธ์ ของแบบจำลองเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์ (parameter) ของแบบจำลอง เมื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองระบบ

ปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่า โดยทดลองเปลี่ยนแปลงค่า absorbance พบว่า ค่า absorbance มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ phenolics เปลี่ยนแปลงตามไปด้วยอย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความอ่อนไหวได้สอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

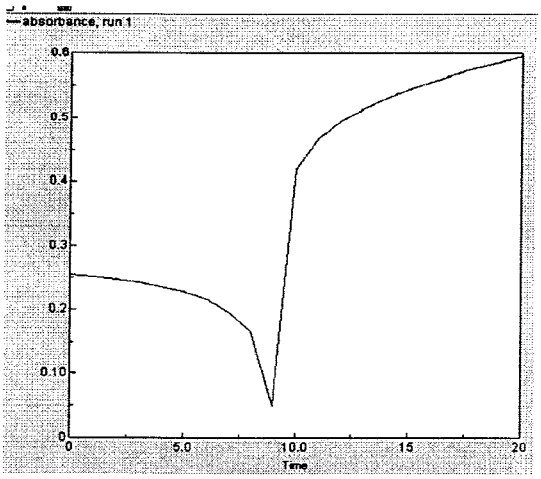
3.6 การใช้แบบจำลอง

ขั้นตอนที่หก การใช้งานแบบจำลอง เมื่อทำการทดลองแบบจำลองและมีความมั่นใจว่าแบบจำลองที่พัฒนาได้นั้นเสริมสร้างความเข้าใจและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าได้ในระดับที่เหมาะสม ขั้นตอนต่อไปก็สามารถนำแบบจำลองเข้าสู่การใช้งาน เพื่อคาดการณ์ปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษาใน 1 สัปดาห์

จากการใช้แบบจำลองในการคาดการณ์การปริมาณสารประกอบ phenolics ระหว่างการเก็บรักษา 1 สัปดาห์พบว่าแบบจำลองมีการคาดการณ์ปริมาณสารประกอบ phenolics ลดลง (ภาพที่ 3.24) เมื่อใช้แบบจำลองในการคาดการณ์ปริมาณสารประกอบ phenolics ระหว่างการเก็บรักษา เป็นเวลา 20 วัน พบว่าแบบจำลองมีปริมาณสารประกอบ phenolics เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 9 ถึงวันที่ 20 จึงเป็นข้อสัตนิฐานว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน หลังการแปลรูป เช่น การทำเป็นไวร์หมากเม่าจะทำให้ปริมาณสารประกอบ phemolics มีปริมาณเพิ่มขึ้น จากแบบจำลองยังสรุปไม่ได้เนื่องจากไม่มีข้อมูลในการเปรียบเทียบถึงความแม่นยำเพราะการทดลองมีข้อมูลในการศึกษา 1 สัปดาห์ เท่านั้นซึ่งเป็นไปตามจุดประสงค์ ในการคาดการณ์การปริมาณสารประกอบ phenolics ระหว่างการเก็บรักษา 1 สัปดาห์



ภาพที่ 3.24 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ระหว่างวันที่ 1 ถึงวันที่ 7 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °ซ



ภาพที่ 3.25 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ระหว่างวันที่ 1 ถึงวันที่ 20 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °ซ

บทที่ 4
ผลการทดสอบแบบจำลองระบบ

4.1 การทดสอบการใช้งานของระบบแบบจำลอง

เมื่อได้ทำการพัฒนาแบบจำลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การทดสอบระบบ เพื่อทำการหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ จึงได้จัดทำแบบประเมินหาประสิทธิภาพ การพัฒนาระบบโดยแบ่งการทดสอบการหาประสิทธิภาพของระบบออกเป็น 2 ด้าน คือ

4.1.1 การทดสอบด้านความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง

4.1.2 การทดสอบด้านความสะดาก และความง่ายในการใช้งานของแบบจำลอง

แบ่งผู้ที่ทำแบบประเมิน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

(1) ผู้ที่มีความรู้ด้านวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

(2) ผู้ที่มีความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม SIMILE

สถิติที่ใช้ในการประเมิน คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) หมายถึง ค่าที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{N}$$

เมื่อกำหนดให้

$\bar{x}$	แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
$\sum_{i=1}^{n} xi$	แทน ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
N	แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standadard Deviation) คือ ค่าเฉลี่ยที่แสดงถึงการกระจายของข้อมูลแต่ละซึ่งทำให้ทราบว่าโดยเฉลี่ย ข้อมูลแต่ละตัวเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตซึ่งจะทำให้

ทราบว่าโดยเฉลี่ยข้อมูลแต่ละตัวเบียนเบนไปจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่าใด คำนวณได้จากสูตร

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-\bar{x})^2}{N}}$$

เมื่อกำหนดให้

SD แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

X แทน ค่าของข้อมูล

N แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงความแตกต่างระหว่างข้อมูลในกลุ่ม ถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันเป็นส่วนมาก และส่วนเบี่ยนเบนมาตรฐานมีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าข้อมูลทุกตัวมีค่าเท่ากัน

หลังจากที่ได้มีการพัฒนาแบบจำลองระบบผู้วิจัยทำการทดสอบการใช้งานแบบจำลองกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 ท่าน

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ประเมิน

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้ประเมิน เกี่ยวกับประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบที่พัฒนาขึ้น

ตอนที่ 3 การให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการปรับปรุง และพัฒนาแบบจำลอง

กำหนดความหมายของค่าระดับประสิทธิภาพเป็นดังนี้

9.00-10.00 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดีมาก

7.00-8.99 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดี

5.00-6.99 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง

3.00-4.99 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนาต้องปรบปรุงแก้ไข

1.00-2.99 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนาไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.1 ความคิดเห็นด้านความถูกต้องในการทำงานแบบจำลอง

ระดับความคิดเห็น	$\bar{x}$	SD	ความหมาย
1. ความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลองระบบในภาพรวม	8.80	0.84	ดี
2.ความถูกต้องของแบบจำลองในการจัดการข้อมูลเพื่อลดความซ้ำซ้อนและความผิดพลาดของระบบ	9.00	0.71	ดีมาก
3.ความถูกต้องของแบบจำลองในการตัดสินใจเพื่อจัดการทรัพยากรเมื่อทรัพยากรของระบบมีจำกัด	9.20	0.84	ดีมาก
4.ความถูกต้องของแบบจำลองในการช่วยกำหนดเป้าหมายของการวิจัยหรือการพัฒนาให้ชัดเจน	8.60	0.84	ดี
5. ความถูกต้องของแบบจำลองในการคาดการณ์ผลลัพธ์ของระบบ	8.80	0.45	ดี
รวมเฉลี่ย	8.88	0.74	ดี

ตารางที่ 4.2 ความคิดเห็นด้านความสะดวก และง่ายต่อการใช้งานแบบจำลอง

ระดับความคิดเห็น	$\bar{x}$	SD	ความหมาย
1. ความง่ายต่อการใช้งานแบบจำลองระบบ	7.40	0.84	ดี
2. ความเหมาะสมในการออกแบบจำลองระบบ	8.60	0.84	ดี
3. ความรดเร็วในการประมวลผลของแบบจำลองระบบ	8.30	0.82	ดี
4. ความเหมาะสมต่อการป้อนข้อมูลในแบบจำลอง	7.4	0.84	ดี
5. ความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในแบบจำลอง	7.8	1.02	ดี
6. ความเหมาะสมต่อการติดตั้งโปรแกรม SIMILE เพื่อใช้พัฒนาแบบจำลองระบบ	9.2	0.45	ดีมาก
รวมเฉลี่ย	8.11	0.80	ดี

4.2 สรุปผลการทดสอบแบบจำลองระบบ

4.2.1 ผลการทดสอบด้าน ความถูกต้องในการทำงานแบบจำลอง ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.88

4.2.2 ผลการทดสอบด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานแบบจำลอง ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.10

หลังจากทราบผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงคุณภาพของแบบจำลองระบบแต่ล่ะด้านแล้ว ได้นำผลการประเมินแต่ล่ะด้านผ่านกระบวนการทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ย พบว่าได้ค่าเฉลี่ยจากการประเมินอยู่ในระดับ 8.49 สรุปได้ว่าแบบจำลองระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี และสามารถนำไปใช้งานในภาคปฏิบัติได้ดี

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การพัฒนาแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษามีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา และเพื่อใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจจัดการทรัพยากรของระบบและช่วยคาดการณ์ ผลลัพธ์ของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่า ระหว่างการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้พัฒนาแบบจำลองให้สามารถคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์ที่จะได้จากระบบช่วงเวลา 1 สัปดาห์ และสามารถใช้แบบจำลองช่วยคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของระบบในระดับปริมาณต่าง ๆ และสามารถลดเวลาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง จึงได้ผลลัพธ์ในเวลาอันรวดเร็ว ทำให้ประหยัดเวลาและเสริมสร้างการตัดสินใจเมื่อทรัพยากรของระบบมีจำกัด การพัฒนาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษาใช้ข้อมูลจากปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี เรื่องอิทธิพลของระยะบริบูรณ์และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics สารต้านอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในผลหมากเม่า (จันจิรา จันทร์ประเสริฐ, 2547) โดยใช้ผลการทดลองที่สอง ผลของอุณหภูมิและวันเก็บรักษาต่อปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลมะเม่าระยะสุขเต็มที่ ผู้วิจัย นำค่าที่วัดได้ก่อนการเก็บรักษาและระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C ในเวลา 1 สัปดาห์ ของค่า absorbance ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid; TSS) และ ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable Acidity; TA) จากตัวอย่างการทดลองที่ 2 และ 3 มาสร้างแบบจำลอง (ภาคผนวก ค) และนำตัวอย่างการทดลองที่ 1 มาทดสอบ (ภาคผนวก ข) โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดจากการทดลอง (Observed) และค่าที่ได้จากแบบจำลอง (Simulated) ด้วยค่าสถิติ (Statistics) สำหรับการทดสอบแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามหลักการพัฒนาแบบจำลองระบบทั้งสิ้น 6 หลักการ

5.2 สรุปผลการพัฒนาแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา พบว่าแบบจำลองระบบมีความสามารถในการคาดการณ์ค่า absorbance ของตัวอย่างหมากเม่าในการหาสารประกอบ phenolics ระหว่างการเก็บรักษา 1 สัปดาห์ โดยค่า absorbance ในแบบจำลองและจากการทดลอง จะมีปริมาณ ลดลง ตามระยะเวลาเก็บรักษา เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดจากการทดลอง และค่าที่ได้จากแบบจำลอง ได้ค่า R, R^2, t-test, MAE และค่า RMSE เท่ากับ 0.943, 0.889, 2.831, 0.013 และ 0.012 จากค่าที่ได้ให้ผลการทดสอบที่น่าพอใจในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

5.3 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบแบบจำลอง

เมื่อนำแบบจำลองระบบที่พัฒนาเสร็จแล้วไปทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบ สามารถสรุปผลการประเมินในแต่ล่ะด้านในเชิงปริมาณ และคุณภาพได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การประเมินประสิทธิภาพด้านการทำงานของแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolic ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

ลำดับที่	ผลการทดสอบการประเมิน	ค่าเฉลี่ยเชิงปริมาณ	ผลลัพธ์เชิงคุณภาพ
1	ความคิดเห็นด้านความถูกต้องในการทำงานแบบจำลอง	8.88	ดี
2	ความคิดเห็นด้านความสะดวก และง่ายต่อการใช้งานแบบจำลอง	8.10	ดี

หลังจากทราบผลการประเมินประสิทธิภาพเชิงคุณภาพของแบบจำลองระบบแต่ล่ะด้านแล้ว ได้นำผลการประเมินในแต่ล่ะด้านผ่านกระบวนการทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยพบว่าได้ค่าเฉลี่ยจากการประเมินอยู่ในระดับ 8.49 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีและสามารถใช้งานในภาคปฏิบัติได้

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาแบบจำลองในครั้งต่อไป

5.4.1 การพัฒนาแบบจำลองในครั้งต่อไป ควรมีการพัฒนารูปแบบกรอกข้อมูลให้สวยงาม

5.4.2 ควรเพิ่มการทดสอบแบบจำลองจากงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อได้แบบจำลองที่แม่นยำมากขึ้น

5.4.3 พัฒนาแบบจำลองให้มีอุณหภูมิในการเก็บรักษาให้หลากหลายเพิ่มวันเก็บรักษาให้นานขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง

5.4.4 ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำให้สารประกอบ phenolics มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กัมมาล กุมาร และคณะ. 2546. การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อ HIV เชื้อรา เชื้อแบคทีเรียของสมุนไพรมะเม่า และพืชสมุนไพรไทย 4 ชนิด, การศึกษาสมุนไพรไทยในการรักษาโรคเอดส์เพื่อพัฒนาเป็นยาอุตสาหกรรม. รายงานวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติสภาวิจัยแห่งชาติ.

กรรณิการ์ สมบุญ และคณะ. 2549. "การผลิตและการตลาดของผลเม่าในสกลนคร", ใน การประชุมวิชาการ จุดประกายวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. http://gotoknow.org/blog/re-search/tag/udru-conference-2006, 7 กุมภาพันธุ์, 2551.

กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ. 2539. ผลการวิเคราะห์ผลหมากเม่าสด. กรมวิทยาศาสตร์บริการ,

กองโภชนาการ. 2530. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในมาตราส่วนที่กินได้ 100 กรัม. กองโภชนาการ กรมอนามัย : กระทรวงสาธารณสุข.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

จันจิรา จันทร์ประเสริฐ. 2547. อิทธิพลของระยะบริบูรณ์และอุณหภูมิเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ Phenolics สารต้านอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ. คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

เต็ม สมิตินันทน์. 2523. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย : ชื่อพฤกษศาสตร์ ชื่อพื้นเมือง. หอพรรณไม้ กรมป่าไม้ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิภพ สุทธนะ และคณะ. 2549. การแยกบริสุทธิ์สารโพลีฟีนอลในไวน์แดงสยามมัวส์และศึกษาประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตและการชักนำการตายแบบอาปอปโตซิสในเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดแดงและมะเร็งปอดชนิดเซลล์เล็ก. http://www.dtam.moph.go.th, 7 กุมภาพันธุ์, 2551.

วีณา เมฆวัฒนากาญจน์. 2547. "การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว", เอกสารประกอบการเรียนรายวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวบทปฏิบัติการที่1. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ประเสริฐ ศรีไพรโรจน์. 2530. ชีวเคมี. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒมหาสารคาม.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สมาน เดชสุภา และสำรี มั่นเขตต์กรน์. 2549. การศึกษาการออกฤทธิ์ของสารโพลีฟีนอลในไวน์แดงสยามมัวส์ต่อการตายแบบอาปอปโตซีสของเซลล์มะเร็งเต้านม ชนิด MDA-MD-435 ที่ปลูกถ่ายในหนูเปลือยที่ตัดต่อมไทมัส : ตรวจผลโดยการสร้างภาพระดับเคมีและฮีทโตเคมี. http://www.dtam.moph.go.th, 7 กุมภาพันธุ์, 2551.

สาทิสรัตน์ เหียงแก้ว. 2539. "การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องดื่มผลไม้ผสม ผลิตจากม่าช่วงผลสุกแตกต่างกัน", เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการ. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 13 ระหว่าง วันที่ 24-26 มกราคม 2539 ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

สุจิตรา รตนะมโน. 2547. ชีวเคมีของผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว. http://coursewares.mju.ac.th/section2/pt331/08.htm, 1 มีนาคม, 2551.

สุดารัตน์ สกุลดู. 2550. หมากเม่าไม้ผลสมุนไพรคู่สกลนคร. http://clinictech.skc.rmuti.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=64&Itemid=96, :7 กุมภาพันธุ์, 2551

อรรถชัย จินตะเวช. 2549. เอกสารประกอบการเรียนรายวิชา Modeling. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตรและพัฒนาชนบท คณะเกษตรศาสตร์ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

อร่าม คุ้มกลาง. 2543. งานประดิษฐ์คิดค้นผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลเม่า. สกลนคร : สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรสกลนคร.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin American Meteorological Society, 63: 1309-1313.

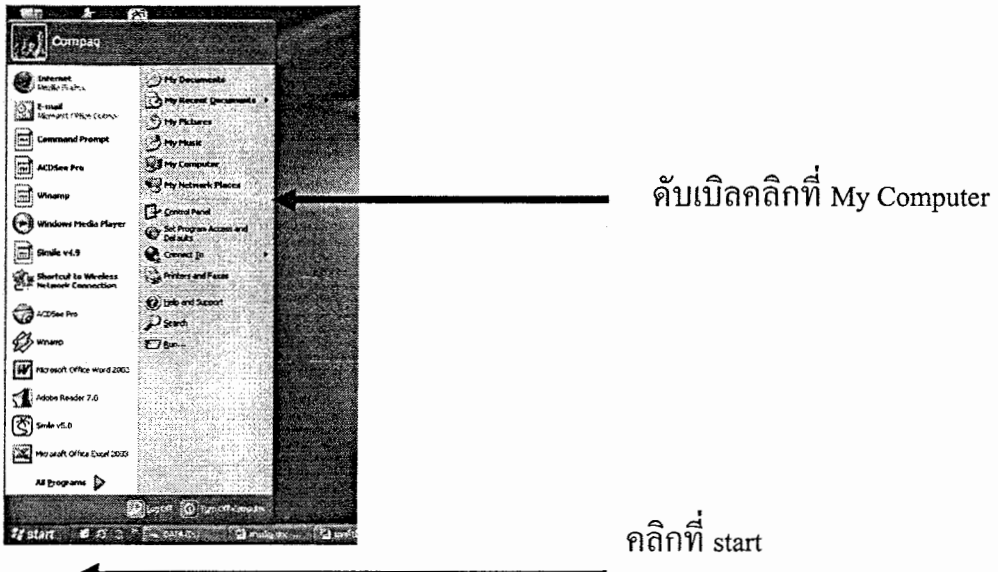
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
คู่มือการติดตั้งโปรแกรม SIMILE version 5.0

ภาคผนวก ก
คู่มือการติดตั้งโปรแกรม SIMILE version 5.0

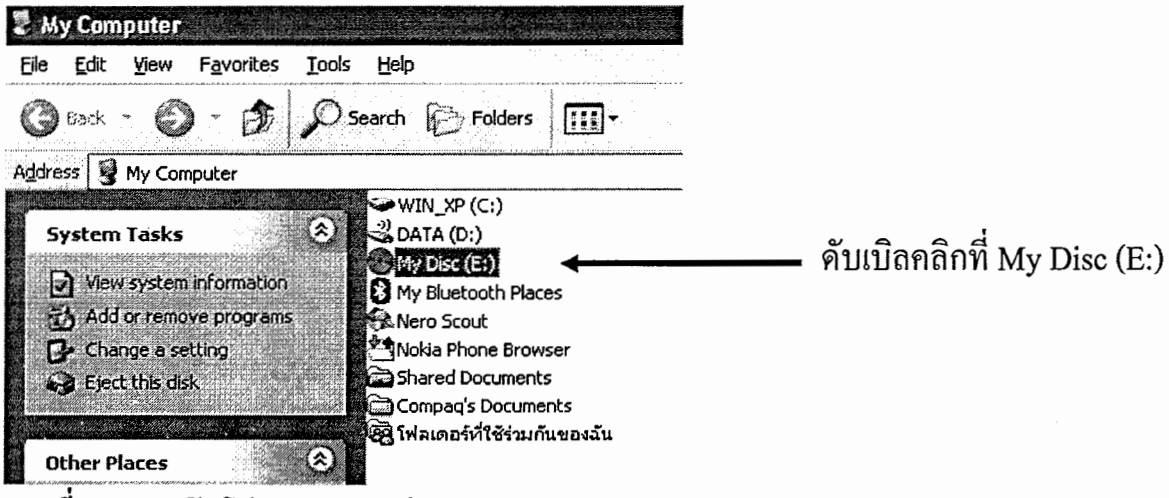
ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม สามารถดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ใส่แผนโปรแกรมในเครื่อง
2. ไปที่ start แล้วดับเบิลคลิก ที่ My Computer แสดงในภาพที่ ก.1



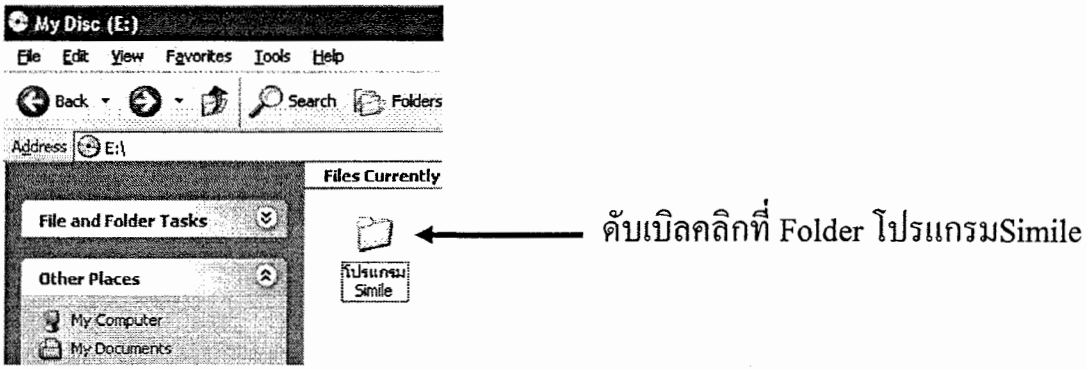
ภาพที่ ก.1 การเปิด My Computer

3. เบิลคลิกที่ My Disc (E:)เพื่อ เปิดโปรแกรมจากแผ่น Discแสดงในภาพที่ ก.2

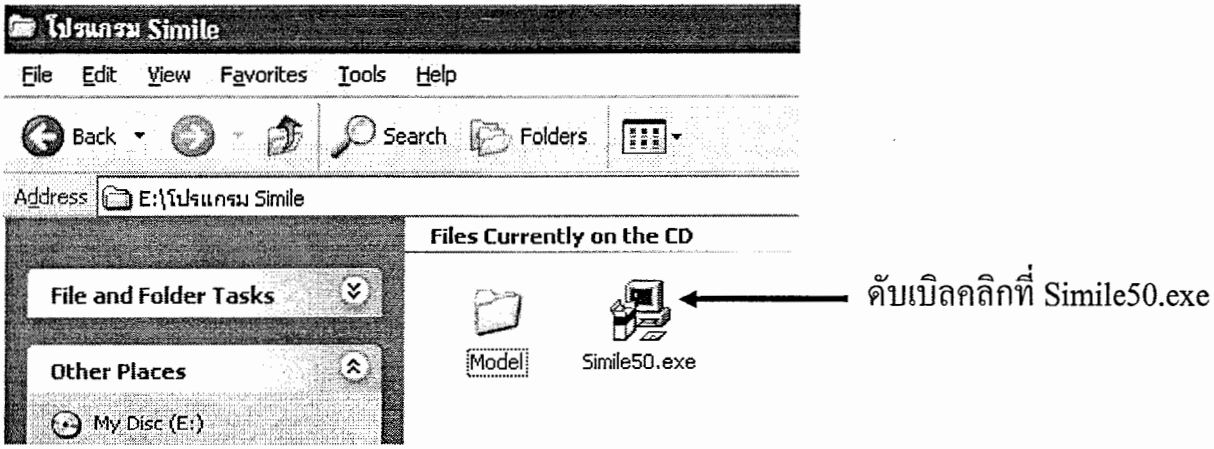


ภาพที่ ก.2 การเปิดโปรแกรมจากแผ่น Disc

4. ดับเบิลคลิก Folder ชื่อโปรแกรม Simile แล้ว ดับเบิลคลิก Icon Simile50.exe ดังแสดงในภาพที่ ก.3 และ ก.4

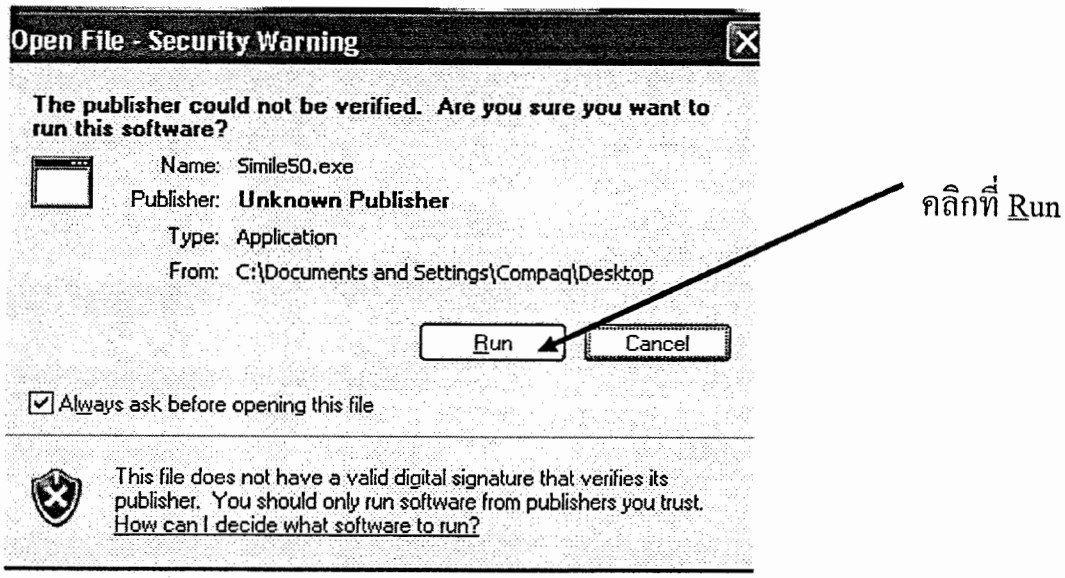


ภาพที่ ก.3 การเปิด Folder โปรแกรมSimile



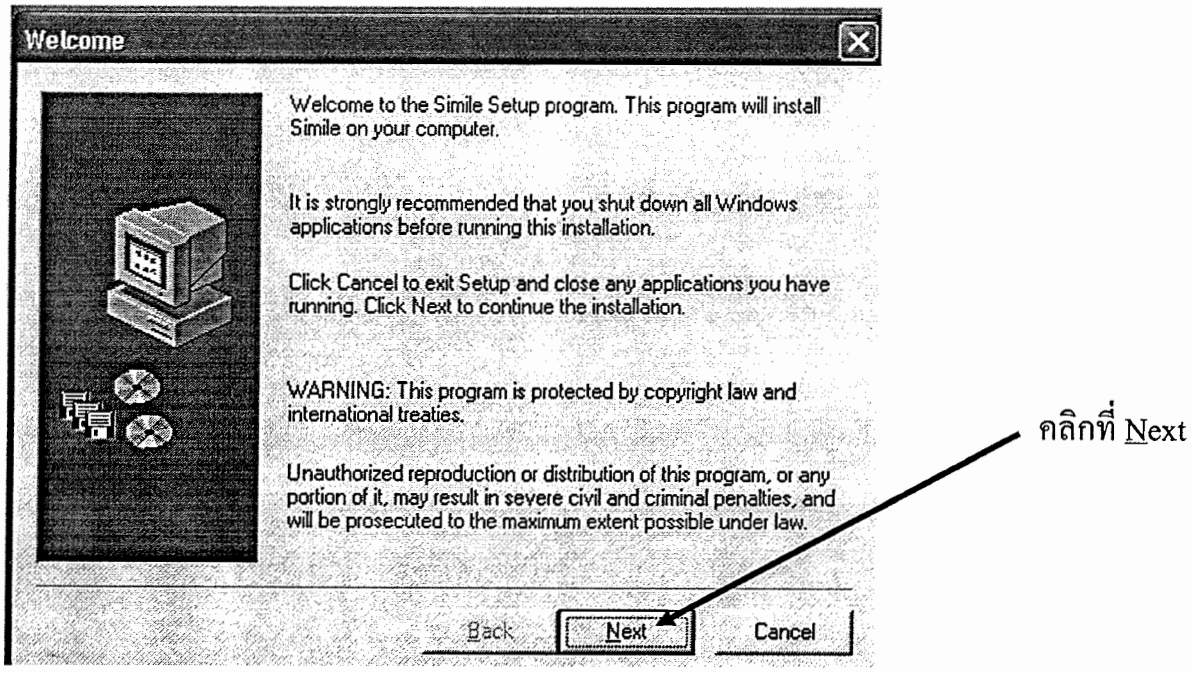
ภาพที่ ก.4 Icon Simile50.exe

5. คลิกที่ปุ่ม Run ดังแสดงในภาพที่ ก.5



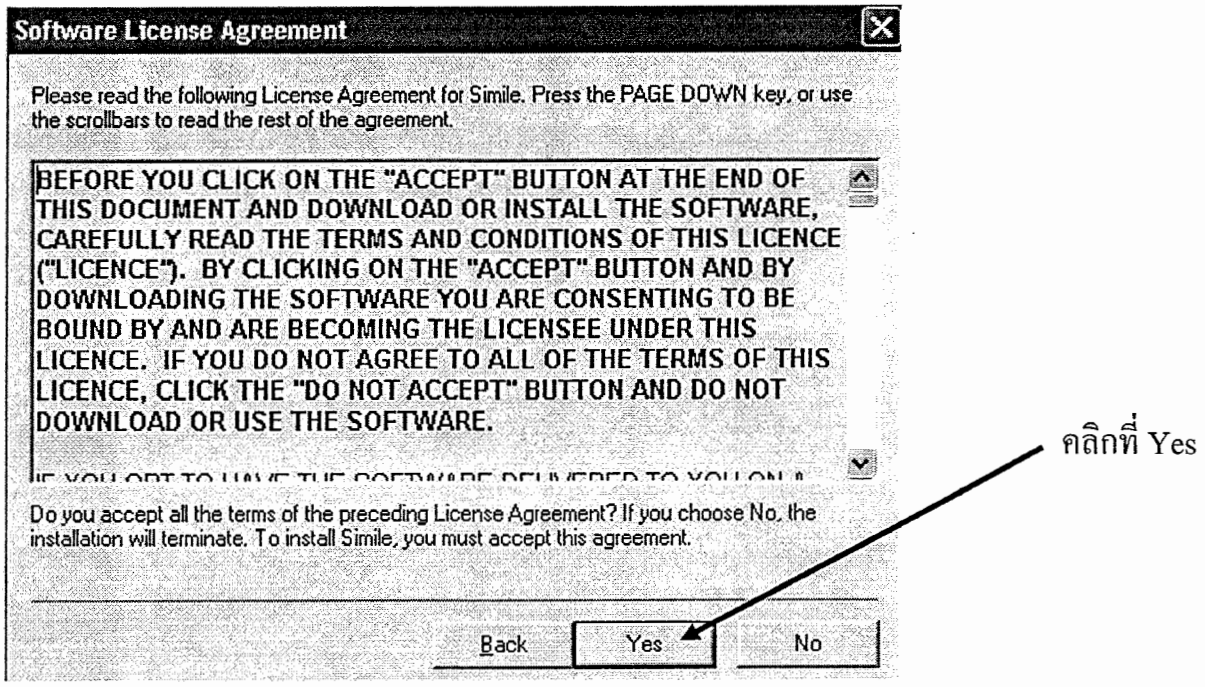
ภาพที่ ก.5 คำสั่ง ในการ Run โปรแกรม เพื่อติดตั้ง

6. คลิกที่ปุ่ม Next ดังแสดงในภาพที่ ก.6



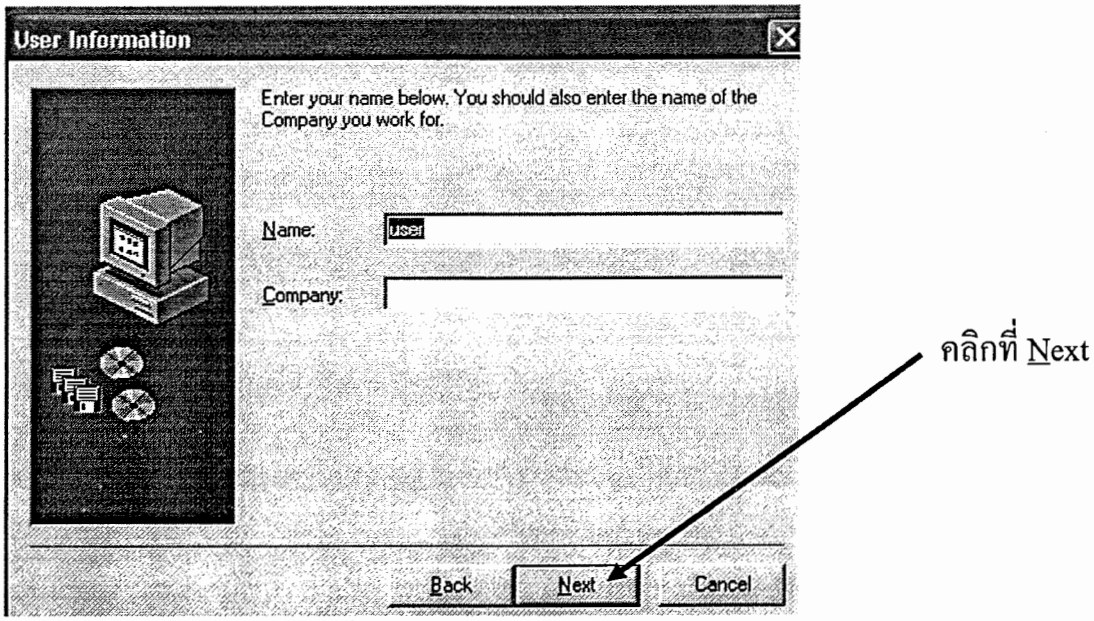
ภาพที่ ก.6 การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Next

7. คลิกที่ปุ่ม Yes ดังแสดงในภาพที่ ก.7



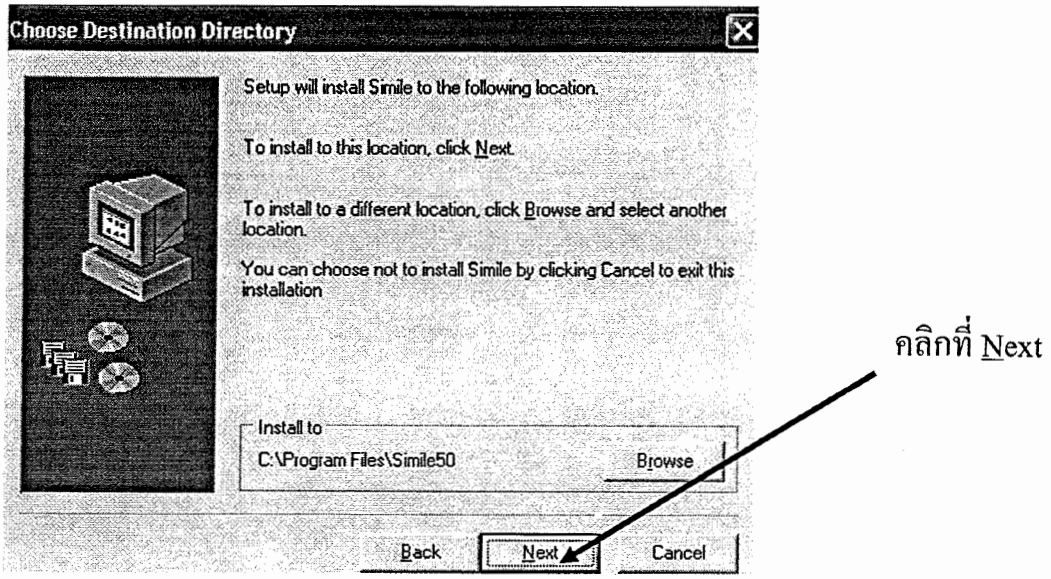
ภาพที่ ก.7 การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Yes

8. คลิกที่ปุ่ม Next ดังแสดงในภาพที่ ก.8



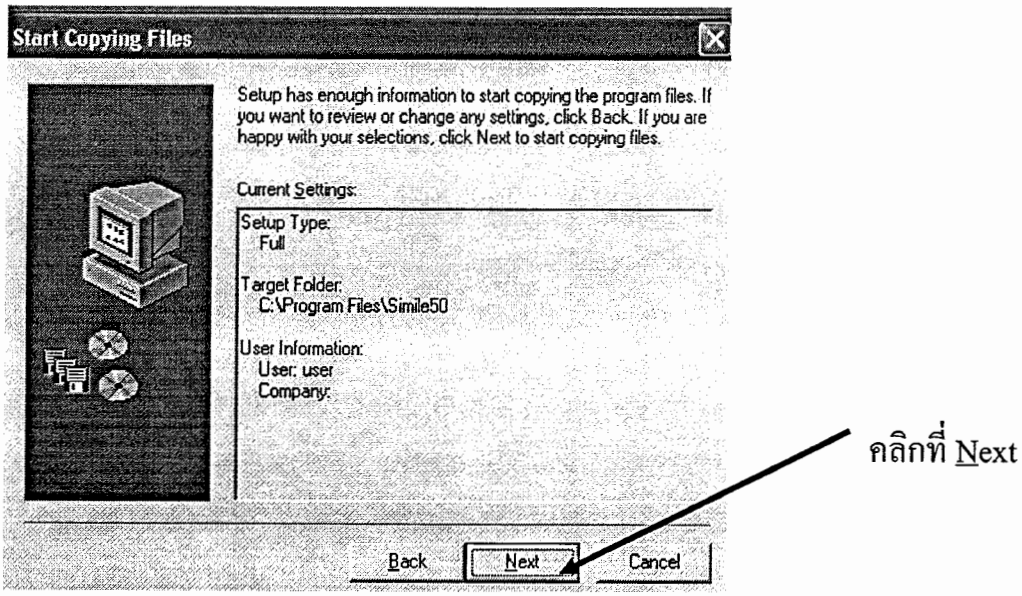
ภาพที่ ก.8 การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Next

9. คลิกที่ปุ่ม Next ดังแสดงในภาพที่ ก.9



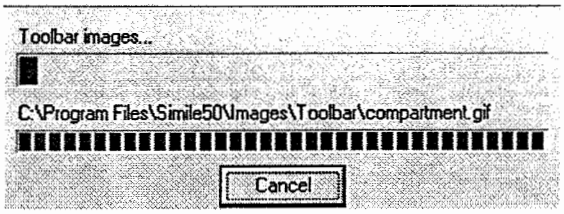
ภาพที่ ก.9 การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Next

10. คลิกที่ปุ่ม Next ดังแสดงในภาพที่ ก.10



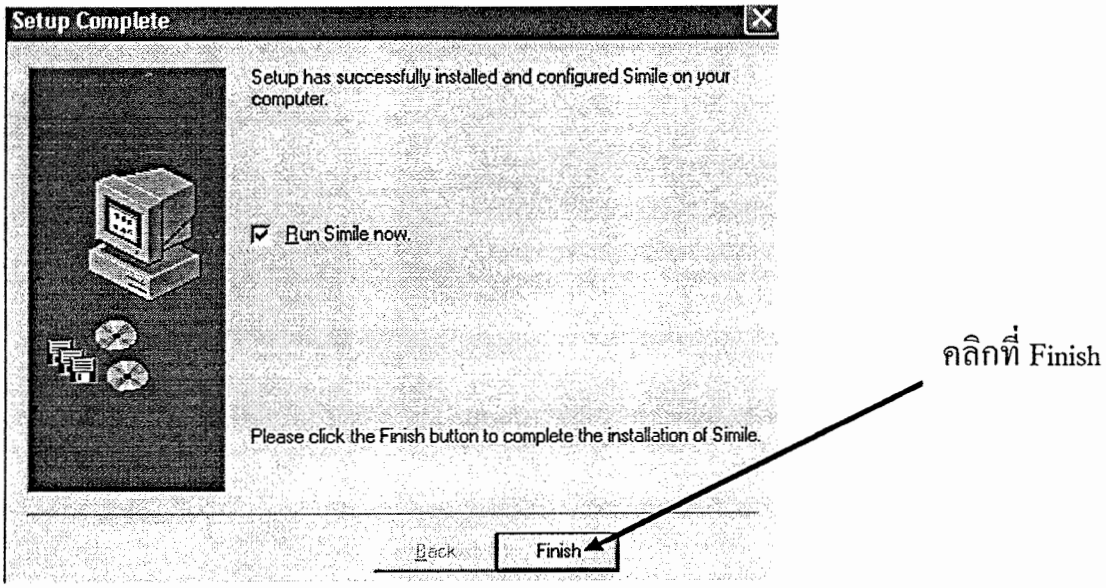
ภาพที่ ก.10 การดำเนินการติดตั้งต่อไป ใช้คำสั่ง Next

11. กรุณารอสักครู่ระบบกำลัง run เพื่อจะติดตั้งโปรแกรม



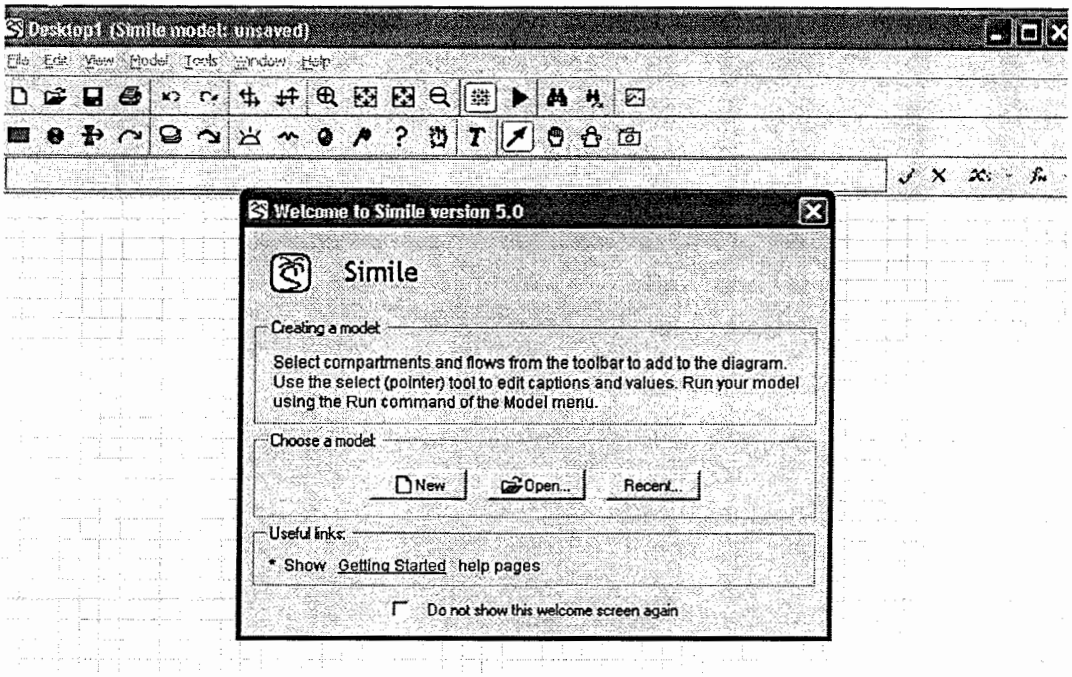
ภาพที่ ก.11 การ run เพื่อจะติดตั้งโปรแกรม

2. คลิกที่ปุ่ม Finish เพื่อติดตั้งโปรแกรม ดังแสดงในภาพที่ ก.12



ภาพที่ ก.12 การเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม

13. การติดตั้งโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์ดังแสดงในภาพที่ ก.13



ภาพที่ ก.13 โปรแกรม Simile ที่ติดตั้งเสร็จสมบูรณ์

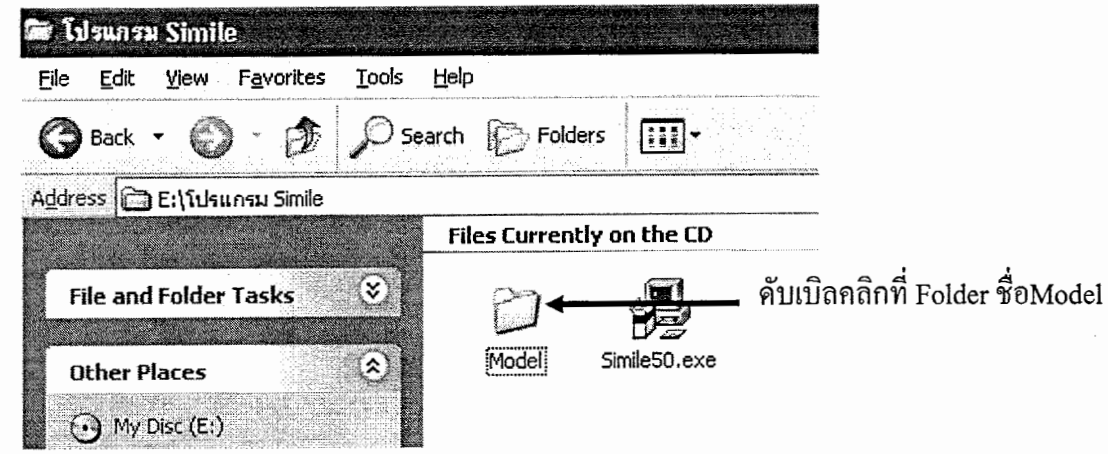
ภาคผนวก ข

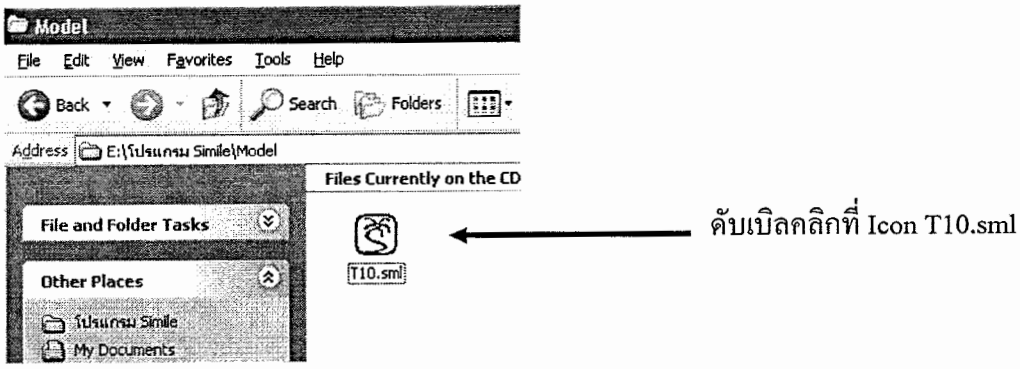
คู่มือการใช้โปรแกรม SIMILE ในการ run แบบจำลองระบบ

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้โปรแกรม SIMILE ในการ run แบบจำลองระบบ

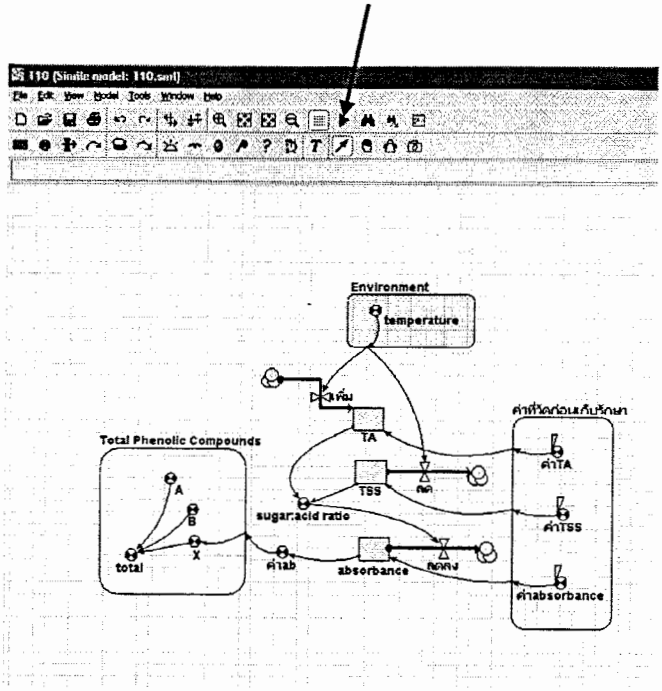
1. เมื่อติดตั้งโปรแกรม Simile เสร็จสมบูรณ์แล้ว เปิดแบบจำลอง ชื่อ T10 จาก folder ชื่อ Model





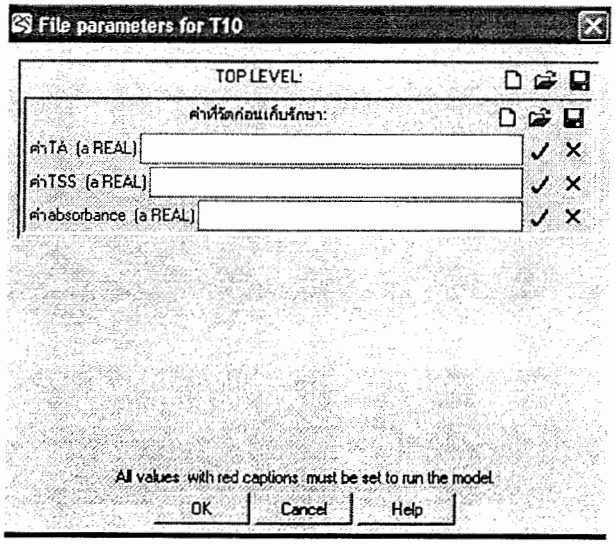
ภาพที่ ข.1 Icon Model T10

2. ดูที่แถบเครื่องมือคลิกรูป ▷ เพื่อทำการ Run model



ภาพที่ ข.2 แบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบ Phenolics ในผลหมากเม่า ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°

3. เมื่อคลิกรูป ▷ จะขึ้นหน้าจอสำหรับกรอกข้อมูล



ภาพที่ ข.3 หน้าจอสำหรับกรอกข้อมูล parameter คือ ค่า TA ค่า TSS และค่า apsorbance

4. ตารางแสดงข้อมูลที่ใช้กรอกในแบบจำลอง

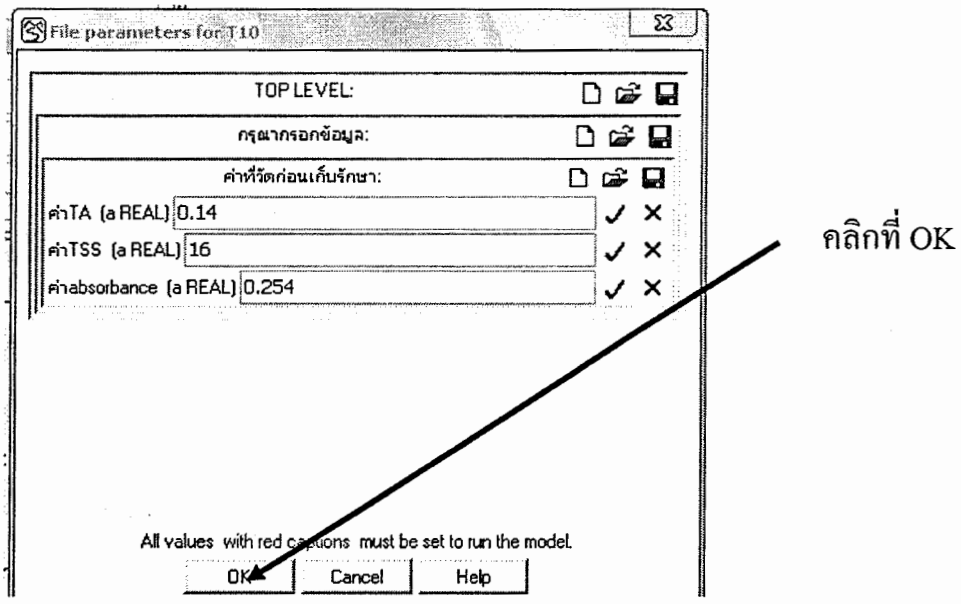
ตารางที่ ข.1 แสดงผลการวัดค่า Absorbance ของหมากเม่าตัวอย่างที่ 1

วันที่วัดปริมาณ	ตัวอย่างที่	ซ้ำ	ค่าที่กรอก
วัดก่อนการเก็บรักษา	1	1	0.254
		2	0.288

ตารางที่ ข.2 แสดงผลวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) การวัดปริมาณการวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titrable Acidity, TA) ของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 1

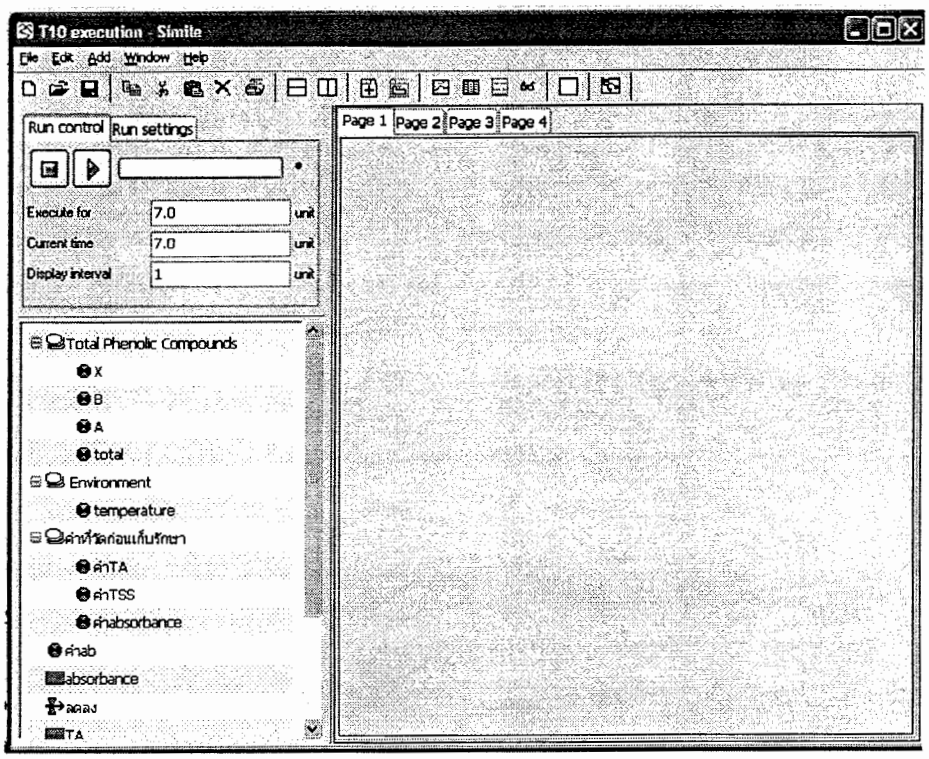
วันที่วัดปริมาณ	ตัวอย่างที่	ซ้ำ	ค่า TSS	ค่าTA
วัดก่อนการเก็บรักษา	1	1	16	0.14

5. เมื่อกรอกข้อมูลแล้วให้คลิกที่ปุ่ม OK



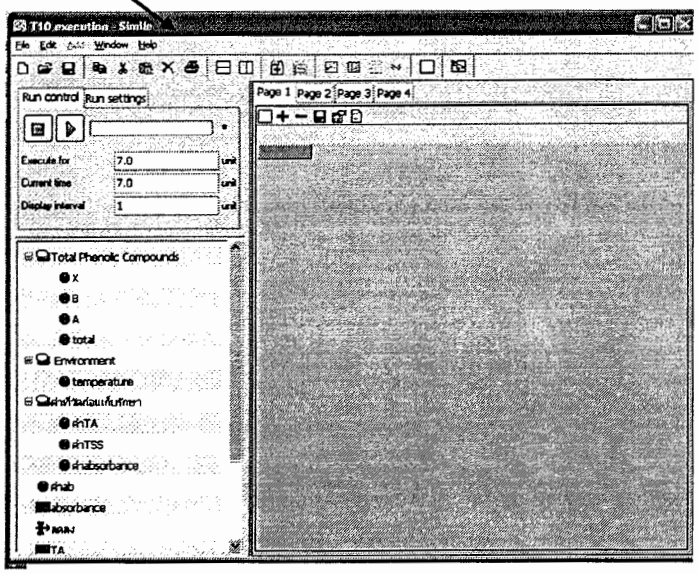
ภาพที่ ข.4 ข้อมูลที่ใช้กรอกและตกลงเพื่อใช้ข้อมูล

6. เข้าสู่หน้าจอแสดงผลของแบบจำลอง



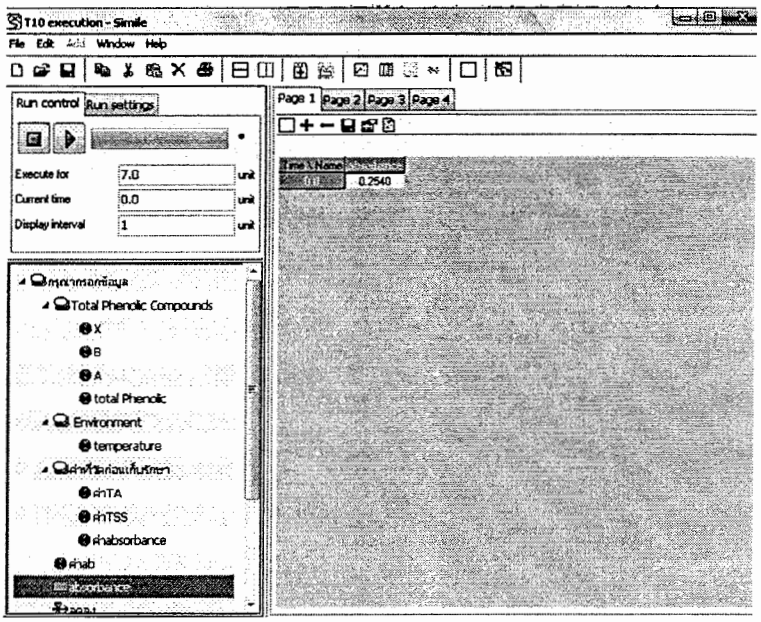
ภาพที่ ข.5 หน้าจอแสดงผลของแบบจำลอง

7.เลือก Create table เพื่อสร้างตารางในการแสดงผล ตัวแปรหลัก จะแสดงดังรูป



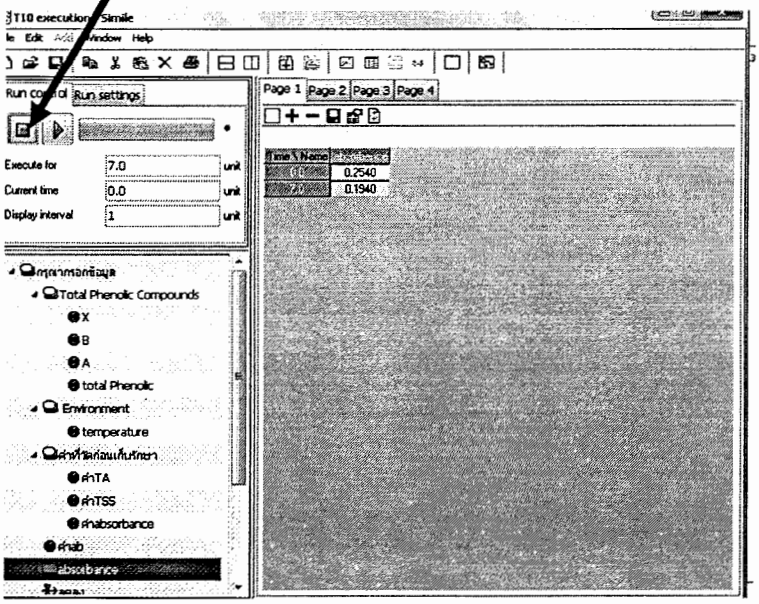
ภาพที่ ข.6 Create table

8. คลิกที่ เลือกตัวแปร ทางซ้ายมือที่ต้องการทราบ จากตัวอย่าง เลือกตัวแปรหลักมา 3 ตัว คือ ค่า TA ค่า TSS และ ค่า apsorbance ดังภาพ



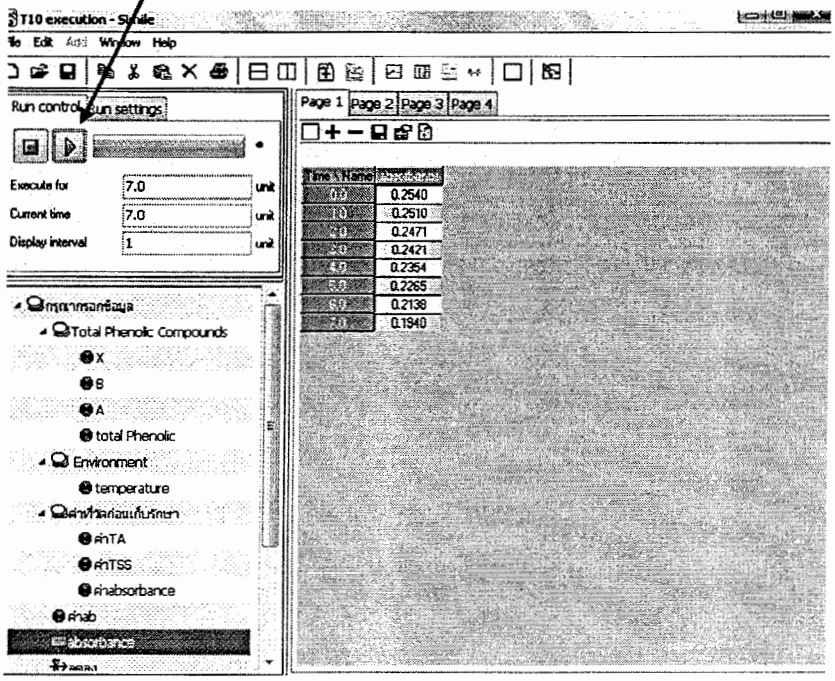
ภาพที่ ข.7 การเลือกตัวแปรใส่ในตาราง

9. คลิกที่ ปุ่ม เพื่อเริ่มจากค่าก่อนการเก็บรักษา Corrent time = 0.0



ภาพที่ ข.8 ค่าเริ่มต้นในการแสดงผลของแบบจำลอง

10. คลิกที่ ปุ่ม ▷ เพื่อทำการ run แบบจำลอง



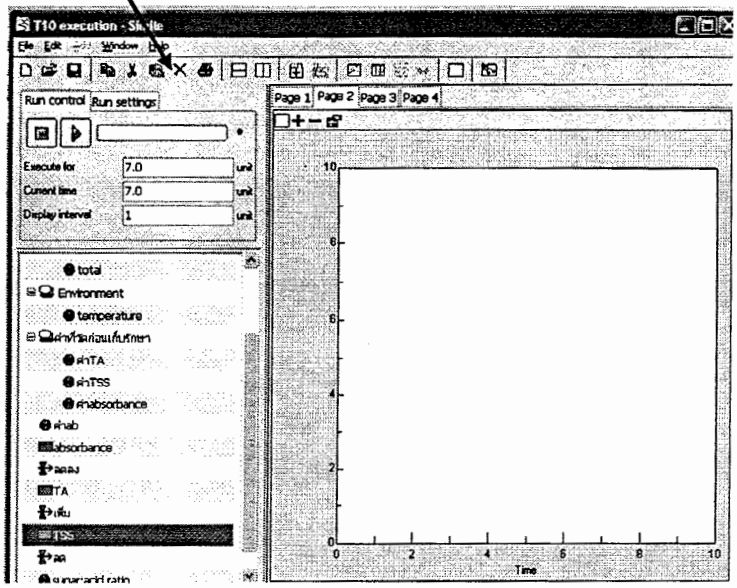
ภาพที่ ข.9 ค่าที่ได้จากการ Run แบบจำลองในค่าที่แสดงเป็นตาราง

11. ค่าที่ได้จากการ Run แบบจำลอง

Time \ Name	absorbance
0.0	0.2540
1.0	0.2511
2.0	0.2474
3.0	0.2427
4.0	0.2365
5.0	0.2283
6.0	0.2168
7.0	0.1996

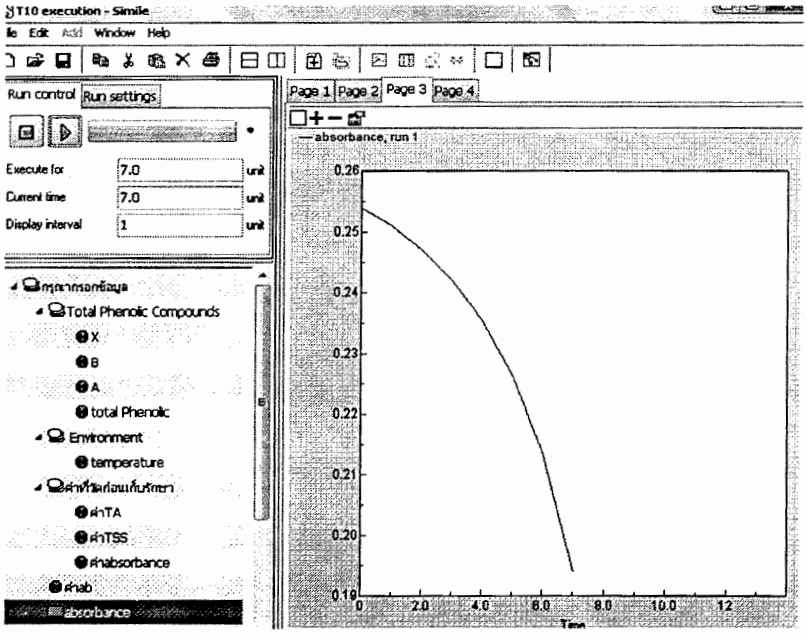
ภาพที่ ข.10 ค่าที่ได้ในรูปตาราง

12.เลือก Create plotter เพื่อสร้างกราฟในการแสดงผล ตัวแปรหลัก จะแสดงดังรูป



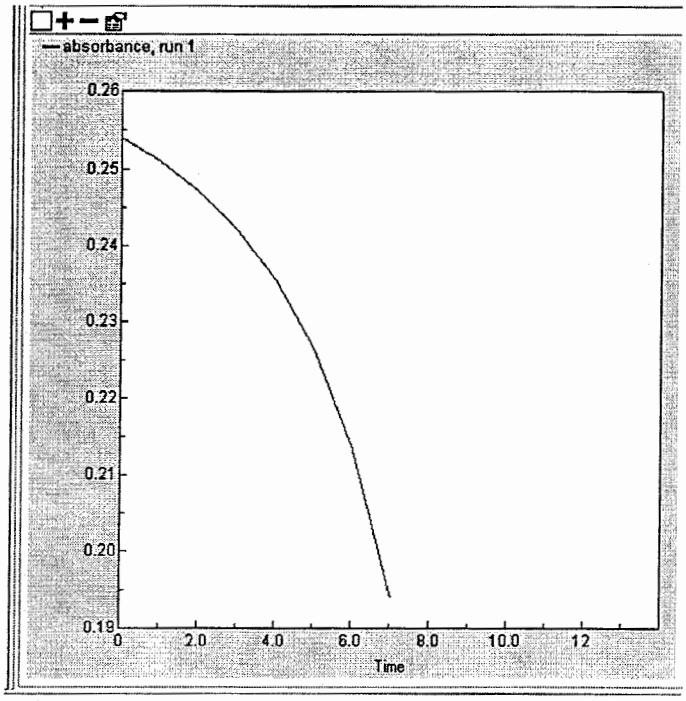
ภาพที่ ข.11 Create plotter

13. คลิกที่ เลือกตัวแปร ทางซ้ายมือที่ต้องการทราบ จากตัวอย่าง เลือกตัวแปรหลักมา 1 ตัว คือ ค่า apsorbance ดังภาพ แล้วทำการ Run จะแสดงกราฟที่ได้ดังภาพ



ภาพที่ ข.12 ค่าที่ได้จากการ Run ค่า apsorbance ในรูปกราฟ

14. ค่าที่ได้จากการ Run แบบจำลอง



ภาพที่ ข.13 กราฟของค่า apsorbance

15. คลิก เลือก Model Window เพื่อกลับไปที่แบบจำลอง และที่แถบเครื่องมือของโปรแกรม หน้าแรก หรือ จบการทำงานโดยการปิดโปรแกรม

ภาคผนวก ค

ค่าสถิติ (Statistics) สำหรับการทดสอบแบบจำลอง

ภาคผนวก ค

ค่าสถิติ (Statistics) สำหรับการทดสอบแบบจำลอง

การตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากระบบจริงมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงไรนั้น Willmott (1982) ได้เสนอว่าผู้ใช้งานอาจจะพิจารณาจากค่า bias และ ค่า root mean square error (RMSE) แบบจำลองที่ดีควรให้ค่า RMSE เข้าใกล้ 0.00

ค่าสถิติ Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}$$

กำหนดให้

n = จำนวนค่าทั้งหมด

Si = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

Oi = ค่าที่ได้จากสภาพจริง

ความหมาย

1. แสดงความแตกต่างยกกำลังสองเฉลี่ย
2. ค่าความแตกต่างยิ่งน้อย = ยิ่งดี = แบบจำลองแม่น
3. ขึ้นกับธรรมชาติของข้อมูล

ค่าสถิติ Coefficient of Correlation (ค่า r)

$$r = \frac{n\sum OS - \sum O\sum S}{\left(\sqrt{n\sum O^2 - (\sum O)^2}\right)\left(\sqrt{n\sum S^2 - (\sum S)^2}\right)}$$

ค่าสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง ในที่นี้หมายถึงค่า

1. Observed (Obs)
2. Simulated (Sim)

ค่าสถิติเพื่อวัดความแตกต่างของค่า r

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

ค่าสถิติ Coefficient of Determination (ค่า R2)

ค่าสถิติใช้อธิบายว่าร้อยละเท่าใดของ variance ที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ของทั้งสองค่า ในที่นี้หมายถึงค่า

1. Observed (Obs)
2. Simulated (Sim)

1.0 0.8 0.4 -0.4 -0.8 -1.0

r = 0.0

Coefficient of determination = แสดงว่าร้อยละ 94.07 ของ variance ที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ของทั้งสองค่า

ค่าสถิติ Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = N^{-1}\left[\sum_{i=1}^{N}|S_i - O_i|\right]$$

N = จำนวนค่าทั้งหมด

Si = ค่าจากแบบจำลอง

Oi = ค่าจากระบบจริง

<u>ความหมาย</u>

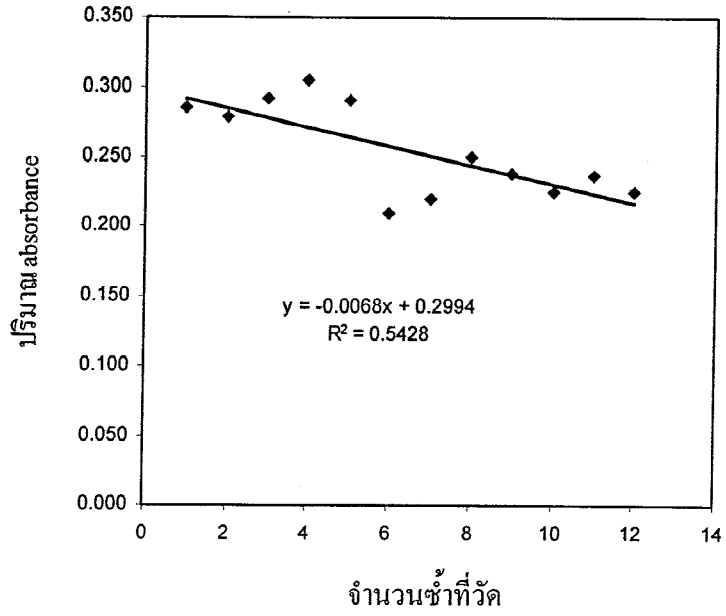
1. แสดงความแตกต่างเฉลี่ย
2. ค่าความแตกต่างยิ่งน้อย = ยิ่งดี = แบบจำลองแม่นยำ

ค่า MAE สรุปความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าจากสภาพจริงและค่าจากแบบจำลอง และแสดงความสามารถรวม ๆ ของแบบจำลองในการคาดการณ์สภาพจริง

การสร้างสมการในแบบจำลองโดยใช้ตัวอย่างการทดลองที่ 2 และ 3

ตารางที่ ค.1 ผลการวัดค่า absorbance ของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3

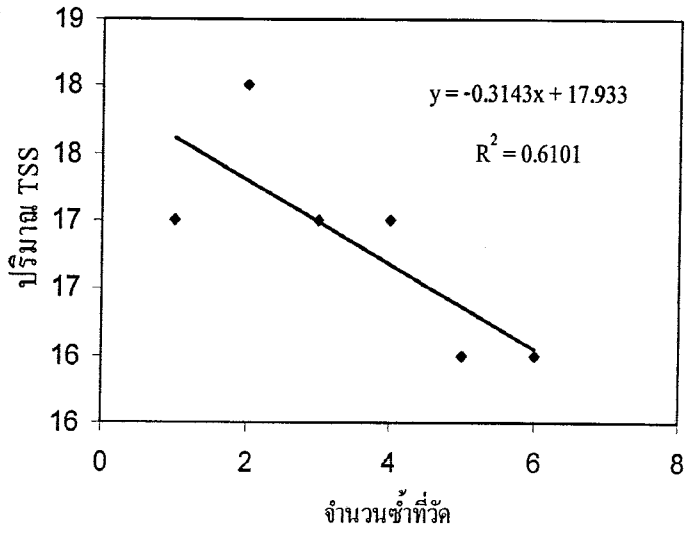
วันที่วัดปริมาณ	ตัวอย่างที่	ซ้ำ	ค่าที่ได้
วัดก่อนการเก็บรักษา	2	1	0.286
		2	0.279
	3	1	0.292
		2	0.305
1 วัน	2	1	0.291
		2	0.210
	3	1	0.220
		2	0.250
7 วัน	2	1	0.239
		2	0.226
	3	1	0.237
		2	0.225



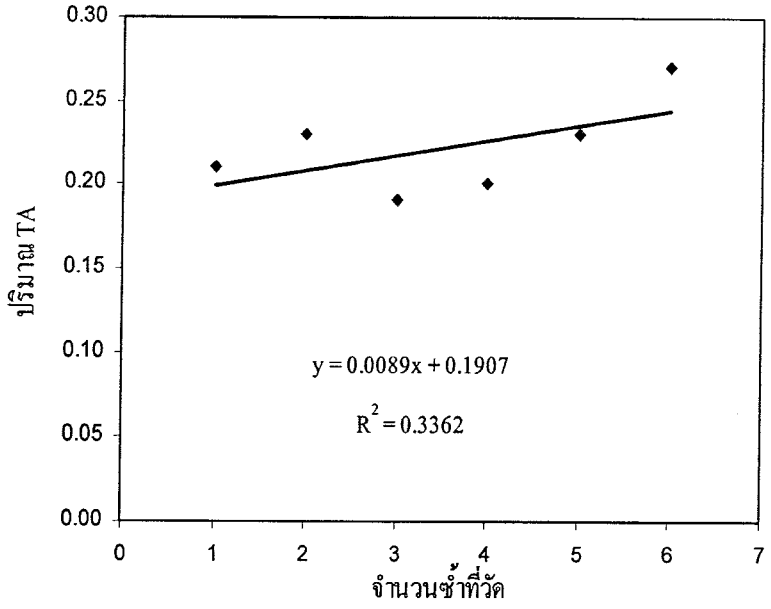
ภาพที่ ค.1 ค่า absorbance ต่อ จำนวนซ้ำของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3

ตารางที่ ค.2 ผลวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) การวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titrable Acidity, TA) ของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3

จำนวนวันที่วัด		ซ้ำ	ค่า TSS	ค่าTA
วัดก่อนการเก็บรักษา		2	17	0.21
		3	18	0.23
เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศา	วัดที่ 1 วัน	2	17	0.19
		3	17	0.20
	วัดที่ 7 วัน	2	16	0.23
		3	16	0.27



ภาพที่ ค.2 ผลวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS)ต่อ จำนวนซ้ำของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3



ภาพที่ ค.3 ผลการวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titrable Acidity, TA)ต่อ จำนวนซ้ำของหมากเม่าในตัวอย่างที่ 2 และ 3

ตารางที่ ค.3 ผลการวัดค่า absorbance และ ปริมาณสารประกอบ Phenolics ของหมากเม่าทั้ง 3 ตัวอย่าง

การวัดปริมาณต่อวัน		ตัวอย่างที่	ซ้ำ	ค่าที่ได้	ค่าX (mM)	(ค่าA) 0.5/25.5	(ค่าB) 100g/0.5g	(ค่าX*ค่าA* ค่า B)mM/100g Fw
วัดก่อนการเก็บรักษา		1	1	0.254	0.136	0.020	200	0.535
			2	0.288	0.178	0.020	200	0.697
		2	1	0.286	0.175	0.020	200	0.687
			2	0.279	0.167	0.020	200	0.654
		3	1	0.292	0.183	0.020	200	0.716
			2	0.305	0.198	0.020	200	0.778
เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 10 องศา	วัดที่ 1 วัน	1	1	0.231	0.108	0.020	200	0.425
			2	0.261	0.145	0.020	200	0.568
		2	1	0.291	0.181	0.020	200	0.711
			2	0.21	0.083	0.020	200	0.326
		3	1	0.22	0.095	0.020	200	0.373
			2	0.25	0.132	0.020	200	0.516
	วัดที่ 7 วัน	1	1	0.225	0.101	0.020	200	0.397
			2	0.238	0.117	0.020	200	0.459
		2	1	0.239	0.118	0.020	200	0.464
			2	0.226	0.102	0.020	200	0.402
		3	1	0.237	0.116	0.020	200	0.454
			2	0.225	0.101	0.020	200	0.397

ตารางที่ ค.4 ผลวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) การวัดปริมาณการวัดปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titrable Acidity, TA) ของหมากเม่าของหมากเม่าทั้ง 3 ตัวอย่าง

		ซ้ำ	ค่า TSS	ค่าTA	sugar: acid radio
วัดก่อนการเก็บรักษา		1	16	0.14	114.29
		2	17	0.21	80.95
		3	18	0.23	76.09
เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศา	วัดที่ 1 วัน	1	18	0.18	100.00
		2	17	0.19	89.47
		3	17	0.20	85.00
	วัดที่ 7 วัน	1	15	0.21	71.43
		2	16	0.23	69.57
		3	16	0.27	59.26

ภาคผนวก ง

แบบประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

ภาคผนวก ง

แบบประเมินระสิทธิภาพแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

นางสาวจันจิรา จันทร์ประเสริฐ รหัสนักศึกษา 4912300746
สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตร และพัฒนาชนบท
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

คำชี้แจง

แบบประเมินการศึกษาค้นคว้าอิสระชุดนี้ เป็นแบบสอบถามเพื่อให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้งานแบบจำลอง ปริมาณสารประกอบ phenolics ของผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษาเพื่อใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจจัดการทรัพยากรของระบบและช่วยคาดการณ์ผลลัพธ์ ในการทดลอง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพที่ใช้งานระบบจริง โดยแบ่งการประเมินประสิทธิภาพออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ประเมิน

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้ประเมิน เกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น

ตอนที่ 3 การให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการปรับปรุง และพัฒนาโปรแกรม

.....

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ประเมิน กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ❑ หรือเติมคำตอบลงในช่องว่างที่กำหนดให้ ต่อไปนี้

1. ชื่อ-สกุล.....

2. ตำแหน่งงาน.....

3. คุณวุฒิ

❑1. ปริญญาตรี ❑2. ปริญญาโท

❑3. ปริญญาเอก ❑4. อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

4. ประสบการณ์การทำงาน

❑1. น้อยกว่า 1 ปี ❑2. 1-3ปี ❑ 3. 4-6 ปี ❑ 4. 7-10 ปี ❑ 5. 10ปีขึ้นไป

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้ประเมิน เกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น กรุณาพิจารณารายการประเมิน (ด้านซ้ายมือ) ในแต่ละข้อและทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องส่วนการประเมินค่า (ด้านขวามือ) เพื่อระบุประสิทธิภาพที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียว โดยกำหนดความหมายของค่าระดับประสิทธิภาพเป็นดังนี้

9.00-10.00 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดีมาก

7.00-8.99 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดี

5.00-6.99 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง

3.00-4.99 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนาต้องปรับปรุงแก้ไข

1.00-2.99 หมายถึง แบบจำลองระบบที่พัฒนาไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ตัวอย่างการประเมิน

รายการประเมิน	ระดับประสิทธิภาพ									
	ดีมาก		ดี		ปานกลาง		ควรปรับปรุง		ต้องปรับปรุง	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ความถูกต้องของข้อมูล			✓							

1. การประเมินความคิดเห็นด้านความถูกต้องในการทำงานแบบจำลอง (Functional Test)

รายการประเมิน	ระดับประสิทธิภาพ									
	ดีมาก		ดี		ปานกลาง		ควรปรับปรุง		ต้องปรับปรุง	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1. ความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลองระบบในภาพรวม										
2. ความถูกต้องของแบบจำลองในการจัดการข้อมูลเพื่อลดความซ้ำซ้อนและความผิดพลาดของระบบ										
3. ความถูกต้องของแบบจำลองในการตัดสินใจเพื่อจัดการทรัพยากรเมื่อทรัพยากรของระบบมีจำกัด										
4. ความถูกต้องของแบบจำลองในการช่วยกำหนดเป้าหมายของการวิจัยหรือการพัฒนาให้ชัดเจน										
5. ความถูกต้องของแบบจำลองในการคาดการณ์ผลลัพธ์ของระบบ										

2. การประเมินความคิดเห็นด้านความสะดวก และง่ายต่อการใช้งานแบบจำลอง (Usability Test)

รายการประเมิน	ระดับประสิทธิภาพ									
	ดีมาก		ดี		ปานกลาง		ควรปรับปรุง		ต้องปรับปรุง	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1. ความง่ายต่อการใช้งานแบบจำลองระบบ										
2. ความเหมาะสมในการออกแบบจำลองระบบ										
3. ความรดเร็วในการประมวลผลของแบบจำลองระบบ										
4. ความเหมาะสมต่อการป้อนข้อมูลในแบบจำลอง										
5.ความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในแบบจำลอง										
6.ความเหมาะสมต่อการติดตั้งโปรแกรม Simile เพื่อใช้พัฒนาแบบจำลองระบบ										

ตอนที่ 3 การให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการปรับปรุง และพัฒนาแบบจำลองปริมาณสารประกอบ phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา (โปรดระบุ)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ขอขอบคุณที่สละเวลาในการกรอกแบบประเมินครั้งนี้

ภาคผนวก จ

รายนามผู้ประเมินระสิทธิภาพแบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ Phenolic ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

ภาคผนวก จ

รายนามผู้ประเมินระสิทธิภาพแบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ Phenolics ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

ชื่อผู้วิจัย: นางสาวจันจิรา จันทร์ประเสริฐ รหัสนักศึกษา 4912300746

ชื่อเรื่อง : แบบจำลองระบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบ Phenolic ในผลหมากเม่าระหว่างการเก็บรักษา

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วสุ อมฤตสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.อรรถชัย จินตะเวช

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ-นามสกุล	วุฒิการศึกษา	ตำแหน่ง	หน่วยงาน
1. ดร.เรวัติ ชัยราช	Ph.D. (วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน)	อาจารย์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2. ดร.วีณา เมฆวัฒนากาญจน์	Ph.D. (วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน)	อาจารย์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
3. นายวีรพงษ์ บัวเขียว	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตรและพัฒนาชนบท)	นักวิชาการคอมพิวเตอร์	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
4. นายมานพ กองอุ่น	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตรและพัฒนาชนบท)	อาจารย์	วิทยาลัยเฉลิมกาญจนา
5. นางสาวกนิษฐา อินธิชิต	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตรและพัฒนาชนบท)	อาจารย์	วิทยาลัยเฉลิมกาญจนา

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวจันจิรา จันทร์ประเสริฐ

ประวัติการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ.2548
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศการเกษตร
และพัฒนาชนบท คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ.2548