



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหการ

วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์และออกแบบการทดลองเพื่อลดการสูญเสียมะม่วงจากโรคแอนแทรกโนส
กรณีศึกษาการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น

Analyzing and Designing of Experiments to Minimize the Loss of Mangoes' Problem in
Anthracnose Disease Case Study of Mangoes' Shipping to Japan

نامผู้วิจัย นางสาวมาลิณี หลวงคลัง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ปณณมี สังคมม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทจี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์และออกแบบการทดลองเพื่อลดการสูญเสียมะม่วงจากโรคแอนแทรกโนส
กรณีศึกษาการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น

Analyzing and Designing of Experiments to Minimize the Loss of Mangoes' Problem in
Anthracnose Disease Case Study of Mangoes' Shipping to Japan

โดย

นางสาวมาลินี หลวงคลัง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

พ.ศ. 2557

มาลินี หลวงคลัง 2557: การวิเคราะห์และออกแบบการทดลองเพื่อลดการสูญเสียมะม่วงจากโรคแอนแทรกโนส กรณีศึกษาการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ไอลดา ตีร์ตันตระกูล, Ph.D. 81 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของมะม่วงระหว่างการส่งออก คือ การเกิดโรคแอนแทรกโนส ทั้งนี้เพื่อให้สัดส่วนของมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรกโนสระหว่างการส่งออกมีสัดส่วนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการส่งออกในปัจจุบันที่มีสัดส่วน ร้อยละ 3 ถึง ร้อยละ 15 จึงได้ทำการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การทดลองกลุ่มที่ 1 ทำการทดลองสามปัจจัย คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ และสายพันธุ์ของมะม่วง ในส่วนของการทดลองกลุ่มที่ 2 ทำการทดลองสามปัจจัย คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2 ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ และระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน โดยทั้ง 2 กลุ่ม ใช้แผนการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปมินิแท็บ (Minitab) ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 กลุ่มพบว่า อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1 มีปฏิสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารโปรคลอราซ และอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2 มีปฏิสัมพันธ์กับระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ควรละลายสารโปรคลอราซในน้ำที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม และจุ่มมะม่วงในสารละลายโปรคลอราซภายใน 16 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งสามารถลดปริมาณมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรกโนสระหว่างการส่งออกได้ ร้อยละ 1.75 ถึง ร้อยละ 13.75

Malinee Luangklang 2014: Analyzing and Designing of Experiments to Minimize the Loss of Mangoes' Problem in Anthracnose Disease Case Study of Mangoes' Shipping to Japan. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Miss Ailada Treerattrakoon, Ph.D. 81 pages.

This purpose of this research is to determine the appropriate parameters during shipping mangoes to Japan. The most important factor that impacts quality of mangoes is Anthracnose. At present, there is 3% to 15% of damaged mangoes during transportation. To reduce this damage, experiments have been established and divided into 2 groups. The first experiment, there are 3 factors: the temperature of dissolved prochloraz type 1, the concentration of prochloraz and the breed of mangoes. The second experiment, there are 3 factors: the temperature of dissolved prochloraz type 2, the period of time before dipping mangoes into prochloraz solution, and the period of time before vapour heat treatment process. 2^3 full factorial design and analysis of variance have been applied with Minitab at 90% confidence level. The result of this research has found that the temperature of dissolved prochloraz type 1 interacts with the concentration of prochloraz. The temperature of dissolved prochloraz type 2 interacts with the period of time before dipping mangoes into prochloraz solution. According to the result, the prochloraze should be dissolved in water at 53 ° C with concentration 250 ppm and mangoes should be dipped into prochloraz solution within 16 hours after harvest. As the result, the damage has reduced 1.75% to 13.75%

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร.ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของงานวิจัยนี้มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ ดร.ปณณมี สัจจกมล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งคณะกรรมการในการสอบปากเปล่าชั้นสุดท้ายทุกท่านที่เสียสละเวลาควบคุมการสอบและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าของสวนมะม่วงทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาด้านข้อมูลมะม่วงที่ใช้สำหรับการส่งออกอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยอารักขาพืช ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ และสถานที่สำหรับทำงานวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องที่ช่วยเหลือในการสืบค้นข้อมูล แลกเปลี่ยนเรียนรู้ และเสนอแนะการศึกษาวิจัย

ท้ายนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเสมอมา กระทั่งการศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และความดีอันเกิดจากการวิจัยครั้งนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

มาลิณี หลวงคลัง

เมษายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	70
สรุป	70
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก แสดงข้อมูลสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยแผน การทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ	76
ภาคผนวก ข แสดงค่า λ กรณี $\alpha = 0.05$ $U = df_r$ และ $V = df_e = n - k - 1$ ($K = U$)	79
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงปริมาณ (หน่วย: ตัน) และมูลค่าการส่งออกมะม่วง (หน่วย: ล้านบาท) ไปยังตลาดต่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2552 - 2555	1
2 การส่งออกมะม่วงสดไปยังตลาดญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2553 – 2555	3
3 ขนาดของผลมะม่วงเพื่อการส่งออก	18
4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโปรคลอราช	19
5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Three – Factor Fixed Effect Model	27
6 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 1	43
7 แสดงแผนการทดลองกลุ่มที่ 1	45
8 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ	46
9 แสดงแผนการทดลองกลุ่มที่ 2	48
10 ผลการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 1	50
11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแผนการทดลอง 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ	54
12 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน กลุ่มที่ 1	57
13 ผลการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 2	58
14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแผนการทดลอง 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 2	61
15 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนกลุ่มที่ 2	64
16 วิเคราะห์ยืนยันผลการทดลอง	65
17 แสดง Tow Proportions -Test	69
18 ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น	71

ตารางผนวกที่

ก1 ข้อมูลการออกแบบการทดลองโดยใช้แผนการทดลอง 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบการทดลองกลุ่มที่ 1	78
ข1 แสดงค่า λ กรณี $\alpha = 0.05$ $U = df_r$ และ $V = df_e = n - k - 1 (K = U)$	80

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การล้างมะม่วงในน้ำผสมสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม	14
2 การจุ่มมะม่วงในสารละลายโปรคลอราซ ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม	16
3 กระบวนการอบไอน้ำร้อน (Vapour Heat Treatment: VHT)	17
4 การบรรจุมะม่วง	17
5 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการหรือระบบ	20
6 กราฟผลกระทบปัจจัยอันตรายที่แสดงว่าไม่มีผลกระทบปัจจัยอันตรายระหว่างปัจจัย A และ B	23
7 กราฟผลกระทบปัจจัยอันตรายของ 2 ปัจจัยและแสดงให้เห็นว่ามีผลกระทบปัจจัยอันตรายระหว่างปัจจัย A และ B	24
8 การพล็อตความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายชนิดปกติ	30
9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดกับลำดับเวลาที่เก็บข้อมูล	31
10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์ผลตอบสนอง	32
11 ขั้นตอนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นในปัจจุบัน	38
12 แผนผังเหตุและผลจากสาเหตุของปัญหาการเกิดโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงระหว่างการส่งออก	40
13 การเปรียบเทียบการละลายสารโปรคลอราซน้ำที่มีอุณหภูมิ 53 และ 25 องศาเซลเซียส	43
14 การเปรียบเทียบการละลายสารโปรคลอราซน้ำที่มีอุณหภูมิ 53 และ 10 องศาเซลเซียส	47
15 การจุ่มมะม่วงในน้ำที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียสที่ผสมโปรคลอราซความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม	51
16 การจุ่มมะม่วงในน้ำที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียสที่ผสมโปรคลอราซ ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม	52
17 การจุ่มมะม่วงในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสที่ผสมโปรคลอราซ ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
18 การจุ่มมะม่วงในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสที่ผสมโปรคลอราซความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม	52
19 กราฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซและความเข้มข้นของสารโปรคลอราซ	55
20 แผนภาพการกระจายของความคลาดเคลื่อนจากแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 1	57
21 แสดงตัวอย่างผลการทดลองที่ได้จากการทดลองกลุ่มที่ 2	59
22 กราฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ และระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ	62
23 แผนภาพการกระจายของความคลาดเคลื่อนจากแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 2	63
24 กระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นก่อนการปรับปรุง	71
25 กระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นหลังการปรับปรุง	72

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

- A = อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1
- B = ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ
- C = สายพันธุ์มะม่วง
- A*A = ผลกระทบร่วมกำลังสองของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1
- B*B = ผลกระทบร่วมกำลังสองของความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ
- C*C = ผลกระทบร่วมกำลังสองของสายพันธุ์มะม่วง
- A*B = อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1 และความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ
- A*C = อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1 และสายพันธุ์มะม่วง
- B*C = อันตรกิริยาระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซและสายพันธุ์มะม่วง
- A* B*C = อันตรกิริยาร่วมระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซและสายพันธุ์มะม่วง
- D = อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2
- E = ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ
- F = ระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน
- D*D = ผลกระทบร่วมกำลังสองของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2
- E*E = ผลกระทบร่วมกำลังสองของระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ
- F*F = ผลกระทบร่วมกำลังสองของระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน
- D*E = อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2 และระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ
- D*F = อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2 และระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน

การวิเคราะห์และออกแบบการทดลองเพื่อลดการสูญเสียมะม่วงจากโรคแอนแทรกโนส
กรณีศึกษาการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น

Analyzing and Designing of Experiments to Minimize the Loss of Mangoes'
Problem in Anthracnose Disease Case Study of Mangoes' Shipping to Japan

คำนำ

มะม่วงเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553) ได้รายงานผลผลิตรวมของมะม่วง 2,469,814 ตัน ผลผลิตมะม่วงที่ได้ส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ ส่วนการส่งออกมะม่วงสดและผลิตภัณฑ์มีมูลค่ารวมปีละกว่า 1,500 ล้านบาท คิดเป็น 2% ของผลผลิตทั้งหมด โดยส่งออกในรูปของมะม่วงสดประมาณ 22,369 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 500 ล้านบาท ซึ่งตลาดส่วนใหญ่ ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น มาเลเซีย สาธารณรัฐเกาหลี ซึ่งราคาส่งออกมะม่วงสดประมาณ 20,830 บาทต่อตัน จะเห็นว่าการส่งออกในปัจจุบันมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับผลผลิตที่ได้ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มีโอกาสพัฒนาศักยภาพในการผลิตและการตลาดในการส่งออกสูง เนื่องจากผลมะม่วงมีคุณภาพดี มีคุณค่าทางโภชนาการ อร่อย หอม รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ซึ่งเป็นที่ชื่นชอบของชาวต่างชาติ

การส่งออกผลมะม่วงสดไปสู่ตลาดต่างประเทศของประเทศไทย ตลาดส่งออกที่สำคัญสำหรับมะม่วงสด ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น มาเลเซีย เกาหลี สิงคโปร์ ลาว อินโดนีเซีย สาธารณรัฐประชาชนจีน และฮ่องกง เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของการส่งออกได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณ (หน่วย: ตัน) และมูลค่าการส่งออกมะม่วง (หน่วย: ล้านบาท) ไปยังตลาดต่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2552 - 2555

	2552		2553		2554		2555	
เดือน	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
มกราคม	215.09	17.04	783.24	21.57	1,208.61	36.47	4,075.81	76.68
กุมภาพันธ์	493.29	27.01	3,153.39	54.37	5,427.71	77.85	9,341.14	139.25
มีนาคม	4,596.99	85.98	10,140.96	160.69	13,388.83	171.96	10,001.56	179.55

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เดือน	2552		2553		2554		2555	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
เมษายน	9,357.26	133.71	3,346.86	78.00	7,925.57	131.96	10,822.15	208.55
พฤษภาคม	6,198.60	98.93	1,503.09	67.47	5,859.81	112.69	5,338.50	127.73
มิถุนายน	1,205.34	25.06	1,602.90	32.57	1,920.09	51.94	1,176.14	34.08
กรกฎาคม	285.33	14.86	468.01	9.56	358.14	7.77	241.12	12.49
สิงหาคม	196.72	9.79	104.28	7.12	141.80	10.23	167.18	12.82
กันยายน	458.08	20.87	270.44	12.95	306.53	15.12	647.43	28.53
ตุลาคม	272.30	13.87	190.66	12.71	211.60	21.33	319.54	21.89
พฤศจิกายน	335.37	18.06	313.41	21.81	263.93	26.16	-	-
ธันวาคม	222.50	19.41	491.86	26.38	488.12	39.99	-	-
รวม	23,836.87	484.58	22,369.08	505.20	37,500.74	703.47	42,130.57	841.57

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

ประเทศญี่ปุ่นเป็นตลาดนำเข้าผลไม้ที่สำคัญของประเทศไทยประเทศหนึ่ง โดยผลไม้ที่ผลิตได้ภายในประเทศมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการบริโภคของประเทศไทย มีเพียงร้อยละ 40-45 เท่านั้น ซึ่งมีแนวโน้มของการผลิตผลไม้ในญี่ปุ่นโดยรวมที่ลดลง เนื่องจากมีพื้นที่เพาะปลูกที่ลดลง จำนวนคนรุ่นใหม่ที่ไม่สนใจทำการเกษตรน้อยลง และต้นทุนการผลิตสูงกว่าผลไม้นำเข้า รวมทั้งผู้บริโภคคำนึงถึงราคามากขึ้น ดังนั้นแม้จำนวนประชากรของญี่ปุ่นลดลง แต่การนำเข้าผลไม้จากต่างประเทศยังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

การส่งออกมะม่วงไปประเทศญี่ปุ่นของประเทศไทยในปัจจุบัน จะส่งออกได้เฉพาะมะม่วงสดพันธุ์หนังกลางวัน (งาช้าง) น้ำดอกไม้ แรด พิมเสน และมหาชนก เท่านั้น ซึ่งผลไม้ที่นำเข้าเพื่อจำหน่ายในประเทศต้องปลอดจากสารเคมีตกค้าง ดังนั้นผู้ส่งออกและผู้ผลิตที่เป็นคู่ค้า จะต้องดำเนินการตรวจสอบควบคุมคุณภาพมะม่วงก่อนการขนส่ง การจัดเก็บบรรจุ จัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้อง และการขนส่ง ดำเนินการอย่างพิถีพิถันเพื่อรักษาความสด และความมั่นใจในมาตรฐานคุณภาพสินค้าและความปลอดภัย

ผลมะม่วงจากประเทศไทยที่ส่งไปยังตลาดของประเทศญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2555 โดยรวมมีมูลค่าเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2554 ทั้งปริมาณและมูลค่า โดยมีรายละเอียดสถิติการนำเข้าผลมะม่วงของประเทศญี่ปุ่นปรากฏตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การส่งออกมะม่วงสดไปยังตลาดญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2553 – 2555

ปี พ.ศ.	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (ล้านบาท)
2553	1,503,099	211.0
2554	1,515,095	222.6
2554 (ม.ค. – ก.ค.)	1,228,732	174.1
2555 (ม.ค. – ก.ค.)	1,389,393	199.1

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมมะม่วงเพื่อการส่งออก กรณีที่เป็นมะม่วงสด ยังคงประสบปัญหามะม่วงเกิดความเสียหายระหว่างกระบวนการส่งออกทางเรือ ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายประการรวมทั้งการเกิดโรคแอนแทรกคโนส ในมะม่วง ซึ่งมะม่วงเสียที่เกิดจากโรคแอนแทรกคโนสระหว่างการส่งออกทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นมีประมาณ ร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 15 ของมะม่วงส่งออกทางเรือทั้งหมด (สหกรณ์การเกษตรท่าใหม่ จำกัด, 2555) โรคนี้ได้สร้างความเสียหายระหว่างการขนส่งคิดเป็นมูลค่า 40 บาทต่อกิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ออกดอกง่าย สามารถตอบสนองต่อการบังคับให้ออกดอกก่อนฤดูได้เป็นอย่างดี และเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ พันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือ น้ำดอกไม้เบอร์สี่ และน้ำดอกไม้สีทอง แต่เนื่องจากผลของมะม่วงน้ำดอกไม้จะมีเปลือกที่บางจึงเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการเกิดโรคแอนแทรกคโนส

โรคแอนแทรกคโนส เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc ซึ่งทำความเสียหายอย่างรุนแรงกับมะม่วงพันธุ์ต่างๆ ทุกระยะการเติบโต โดยเฉพาะได้ทำความเสียหายอย่างรุนแรงกับผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวในระหว่างการขนส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ (สุชาติ

และคณะ, 2531) มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคนี้เป็นอย่างมาก (นิพนธ์, 2526) แต่ได้รับความนิยมมากที่สุดจากผู้จำหน่ายและส่งขายในประเทศญี่ปุ่น อาการเริ่มต้นของโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงจะพบจุดสีน้ำตาล ต่อมาเปลี่ยนเป็นจุดกลมสีดำ อยู่บริเวณผิวมะม่วง ซึ่งมีขนาดไม่แน่นอนแล้วแต่ความรุนแรงของโรคในสภาพแวดล้อมนั้นๆ จุดดังกล่าวจะขยายขนาดออกไปเรื่อยๆ อย่างรวดเร็ว ถ้ามีหลายจุดอาจจะเชื่อมต่อกันเป็นปื้น แผลจะขยายลุกลามต่อกันทำให้ผลเน่าทั้งผล

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้นำหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาประยุกต์ใช้โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณร้อยละของมะม่วงเสียเนื่องจากโรคแอนแทรคโนส ในกระบวนการส่งออกทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น โดยใช้แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป มินิแทบ เพื่อช่วยในการหาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณร้อยละของมะม่วงเสียเนื่องจากโรคแอนแทรคโนส และกำหนดระดับของปัจจัยให้เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นมีสัดส่วนมะม่วงเสียเนื่องจากโรคแอนแทรคโนสลดลงเมื่อเทียบกับกระบวนการส่งออกในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาการเกิดโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงน้ำดอกไม้ระหว่างการส่งออกทางเรือ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงน้ำดอกไม้
2. กำหนดสถานะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่มีผลในข้อที่ 1 โดยมีเป้าหมายในการลดจำนวนมะม่วงน้ำดอกไม้เสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรกซ์ในศกฐณัสนัส่งทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น โดยการเปรียบเทียบร้อยละของเสียในกระบวนการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้ทางเรือในปัจจุบัน คือ ร้อยละ 3 ถึง ร้อยละ 15 กับร้อยละของเสียที่ได้จากการทดลอง

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการเกิดโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงน้ำดอกไม้ กรณีส่งออกทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นเท่านั้น
2. ศึกษากระบวนการตั้งแต่การเก็บรวบรวมมะม่วงจนถึงการส่งออกทางเรือ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงน้ำดอกไม้ กรณีการส่งออกทางเรือ
2. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยในกระบวนการระหว่างการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้ได้อย่างเหมาะสม
3. กระบวนการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้ทางเรือมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การเกิดโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงน้ำดอกไม้ระหว่างการส่งออกมีสัดส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้เสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรกซ์ลดลงเมื่อเทียบกับกระบวนการส่งออกในปัจจุบัน

การตรวจเอกสาร

การตรวจเอกสารแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. มะม่วง

ชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific name) : *Mangifera indica* L.

ชื่อสามัญ (Common name) : Mango

วงศ์ (Family) : Anacardiaceae

มะม่วง (mango) เป็นผลไม้เขตเมืองร้อน ที่คนไทยรู้จักกันดี และนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เป็นผลไม้ที่สามารถนำไปประกอบอาหาร หรือรับประทานหลังอาหารเป็นของว่าง ซึ่งมะม่วงเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี กลิ่นหอม มีคุณค่าทางอาหารสูง ผลของมะม่วงสุกสามารถใช้รับประทานสดได้ หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น มะม่วงกวน น้ำมะม่วง หรือทำเป็นแยมมะม่วง เป็นต้น มะม่วงยังเป็นผลไม้ที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย เนื่องจากปลูกได้ในดินทั่วไป ยกเว้นดินเค็มและดินที่มีน้ำขัง ถ้าปลูกในดินร่วนซุยมีอินทรีย์วัตถุมาก (กาญจนา สุทธิกุล, 2548) และมีการระบายน้ำดีก็จะยิ่งให้ผลผลิตดี นอกจากนี้มะม่วงยังมีความต้านทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี จะเริ่มให้ผลหลังจากการปลูกด้วยกิ่งทาบประมาณ 3 ปี สามารถให้ผลผลิตมากกว่า 15 ปี และผลผลิตจะสูงขึ้นเฉลี่ยปีที่ 8 ประมาณ 50 -100 กก./ต้น โดยเฉลี่ยอายุจากดอกบาน เก็บผลแก่อยู่ระหว่าง 90-115 วัน น้ำหนักผลมะม่วงเฉลี่ยประมาณ 260 กรัม ฤดูกาลผลผลิตอยู่ระหว่างปลายเดือนมีนาคม-มิถุนายน และทั้งนี้เนื่องจากจะใช้บริโภคภายในประเทศทั้งในรูปผลสด และแปรรูปแล้วยังสามารถส่งเป็นสินค้าส่งออกไปต่างประเทศ เพื่อสร้างมูลค่าให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

มะม่วงที่นิยมรับประทานกันในปัจจุบันสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ คือ มะม่วงรับประทานดิบหรือมะม่วงมัน มีรสหวานเมื่อตอนแก่จัดแม้ยังไม่สุกหรือมีรสมัน ไม่เปรี้ยวแม้ผลยังเล็ก เก็บไว้ในลักษณะมะม่วงแก่ได้ไม่กี่วันก็จะเริ่มสุก ซึ่งโดยมากจะมีรสจัดไม่อร่อยเหมือนในขณะดิบ เช่น มะม่วงเขียวเสวย มะม่วงรับประทานสุก เมื่อยัง

ดิบจะมีรสเปรี้ยวมาก จึงนิยมเก็บจากต้นเมื่อผลแก่เต็มที่แล้วบ่มในสุกก่อนรับประทาน เมื่อสุกจะมีรสหอมหวาน เช่น มะม่วงน้ำดอกไม้ มะม่วงอกร่อง และมะม่วงที่ใช้แปรรูป เป็นมะม่วงที่มีผลดก ผลขนาดเล็กถึงปานกลาง เมื่อแก่จัดจะมีรสมันอมเปรี้ยว เมื่อสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยวหรือจัดชิดผลดิบใช้ทำมะม่วงตากแห้งหรือมะม่วงคอง ผลสุกใช้ทำมะม่วงกวน มะม่วงแผ่น เช่น มะม่วงแก้ว (ภูวนาท, ม.ป.ป)

มะม่วงน้ำดอกไม้ไม่เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ลำต้นเป็นพุ่ม ใบเป็นใบเดี่ยว เรียงสลับใบอ่อนสีแดงเรื่อๆ เมื่อแก่ใบจะมีสีเขียวเข้ม ดอกสีขาวนวล ออกเป็นช่อที่ปลายกิ่ง กลิ่นหอม (ระพีพรรณ, 2544) มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันโดยทั่วไป ออกดอกดก แต่ติดผลปานกลาง และให้ผลทุกปี เวลาตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งผลแก่ใช้เวลาประมาณ 115 วัน ผลมีขนาดใหญ่ หนักประมาณ 400 กรัม ลักษณะของผลอ้วน หัวใหญ่ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เปลือกบาง คุณภาพของผลดิบ สีเปลือกสีเขียวนวล เนื้อแน่น หวาน รสเปรี้ยวจัด เมื่อแก่จัดรสมัน เมื่อสุก ผิวของเปลือกสีเหลืองนวลถึงเหลืองทอง เนื้อสีเหลืองมักมีกลิ่นหอม ลักษณะของเนื้อละเอียด มีเส้นค่อนข้างน้อย รสหวานเย็น ความหวานประมาณ 19 % เมล็ดแบนยาว เมื่อเพาะต้นอ่อนขึ้นได้หลายต้นจากเมล็ดเดียว (วิจิตร, 2529; กรมวิชาการเกษตร, 2531)

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ออกดอกง่าย สามารถตอบสนองต่อการบังคับให้ออกก่อนฤดูได้เป็นอย่างดี และเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ พันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือ น้ำดอกไม้เบอร์สี่ และน้ำดอกไม้สีทอง

ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกมะม่วงประมาณ 2,151,478 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 24 ของพื้นที่ปลูกไม้ผลทั้งหมด ซึ่งผลผลิตมะม่วงที่เก็บได้ในแต่ละปี ส่วนใหญ่ ใช้บริโภคภายในประเทศทั้งในรูปแบบผลสดและใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูป แม้ว่าผลผลิตมะม่วงส่วนใหญ่จะบริโภคภายในประเทศ มีเหลือส่งออกเพียงร้อยละ 2 ของปริมาณผลผลิตทั้งประเทศ แต่ในปัจจุบันปริมาณและมูลค่าการส่งออกมะม่วงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น คือมีปริมาณการส่งออกในรูปของมะม่วงสดประมาณ 22,369 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 500 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

2. โรคแอนแทรคโนส

โรคแอนแทรคโนสเป็นโรคที่สำคัญโรคหนึ่งของมะม่วง พบในแหล่งปลูกมะม่วงทั่วโลก โดยเฉพาะในเขตร้อนชื้น เกิดได้กับหลายส่วนของมะม่วง เช่น ใบ ยอด ดอก ผล กิ่ง และเกิดได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของมะม่วง พันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคนี้มากคือ พันธุ์น้ำดอกไม้ (นิพนธ์, 2542)

โรคแอนแทรคโนส เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc เชื้อราเกิดขึ้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95-97 % ระบาดโดยลมและฝนเป็นพาหะ โดยสปอร์ของเชื้อราจะปลิวไปตามลมและฝน ในช่วงฤดูฝนมะม่วงจะผลิใบอ่อน การทำลายจะมีมาก ส่วนการแพร่ระบาดในระยะที่มะม่วงออกดอกซึ่งเป็นฤดูแล้ง ระยะนี้หากมีพายุฝนการเกิดโรคแอนแทรคโนสบนผลจะรุนแรง และระบาดไปทั่วทั้งสวน (ปีมมาลา, 2520)

2.1 ลักษณะอาการ

ระยะต้นกล้า เชื้อราเข้าทำลายลำต้นกล้าที่เพาะ ทำให้ลำต้นกล้าเน่าดำ เชื้อราจะสร้างสปอร์มีลักษณะคล้ายกลุ่มแป้งขาวหรือสีชมพูบริเวณกลางจุดที่เป็นแอ่ง ใบอ่อนที่เป็นโรคนี้จะเริ่มแสดงอาการเป็นจุดซ้ำๆ สีน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วไป ขนาดแผลประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร ตรงกลางแผลทะลุเป็นรูพรุน ต่อมาจุดเหล่านี้จะขยายโตขึ้น บางครั้งแผลเชื่อมติดกันจนเป็นแผลใหญ่ หลังจากนั้นจะลุกลามไปอย่างรวดเร็ว การระบาดรุนแรงขึ้นหากเพาะกล้ามะม่วงแน่นและมีความชื้นสูง ขาดการระบายของอากาศที่ดีพอ ใบแห้งตายและหลุดร่วง ถ้าเป็นตามขอบใบหากใบไม่ร่วงใบก็จะห่อตัว บิดเบี้ยว แคร่แกร็น นอกจากนี้ โรคอาจลุกลามไปยังส่วนของยอดอ่อน ทำให้ยอดอ่อนเน่าดำ ใบร่วงและต้นกล้าตายในที่สุด ระยะต้นกล้านับว่าเป็นระยะที่อันตรายต่อโรคนี้มาก เพราะเป็นระยะที่ต้นมะม่วงยังอ่อนแออยู่มาก

ระยะต้นโต อาการจะพบมากที่ใบมะม่วง จะเห็นชัดในใบแก่ ใบจะแสดงอาการเป็นจุดสีน้ำตาล จุดแผลค่อนข้างกลมมีทั้งแผลใหญ่และแผลเล็ก ขนาดแผลใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.5 เซนติเมตร ใบบิดเบี้ยว ตรงกลางแผลแห้ง ในใบหนึ่งๆ มีการทำลายเกิดเป็นจุดแผลได้ทั่วพื้นใบ ทำให้ใบเป็นรูพรุน ส่วนพื้นใบที่เหลือจะเหลืองและร่วงเร็วกว่าปกติ ระยะนี้นอกจากจะเกิดที่ใบแล้วยังพบว่าทำลายส่วนของยอดอ่อนด้วย ทำให้ยอดอ่อนเน่าแห้งดำ เช่นเดียวกับในระยะต้นกล้า

ระยะออกดอก เชื้อโรคเข้าทำลายช่อดอกมะม่วง หากเป็นรุนแรง ทำให้ช่อดอกแห้งมีสีดำ ดอกร่วงหล่นหรือทำลายดอกแต่ละดอกทำให้ดอกฝ่อ และหลุดร่วงไป หรือเข้าทำลายตรงก้านช่อดอก ทำให้เกิดแผลเน่าโดยรอบต้น ซึ่งนำอาหารไปเลี้ยงปลายช่อดอกไม่ได้ ช่ออาจจะแห้งเหี่ยวเป็นสีดำทั้งช่อ ไม่ติดผล

ระยะติดผล ระยะผลอ่อนเชื้อราจะเข้าทำลายทำให้ผลอ่อนฝ่อ ผลชะงักการเจริญเติบโต ผลสีดำคล้ำและหลุดร่วงไป ในผลอ่อนที่มีขนาดใหญ่จะพบจุดสีดำบนผลกระจายอยู่ทั่วไป (ชลอ, 2539) ในกรณีที่สภาพอากาศแห้งเชื้อราพื้ตัวได้ผิวผล ตลอดระยะที่ผลมะม่วงพัฒนาขนาด เมื่อสภาพแวดล้อมมีฝนตกชุกมีความชื้นสูงจะแสดงอาการ เป็นลักษณะจุดดำกระจายบนผิวผล เชื้อราในระยะที่พื้ตัวในเนื้อเยื่อผิวของผลที่ได้รับสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะไม่แสดงอาการออกมาหลังจากเชื้อราเข้าทำลายได้แล้ว เชื้อราจะเจริญลงไประหว่างเซลล์ ลึกลงไปประมาณ 2-3 ชั้นของเซลล์ผิวผล แล้วพื้ตัวอยู่เช่นนั้น (Verhoeff, 1974) จนกระทั่งผลมะม่วงแก่จึงแสดงอาการจุดดำบนผิวผลทำให้ผลมะม่วงเป็นแผลแตกตามความยาวของผลที่กำลังเจริญเติบโต เชื้อราที่ไหลย้อยไปกับหยดน้ำบนผลลงสู่ก้นผลจะทำให้ก้นผลเน่าดำรุนแรงกว่าที่ผิวผลและไหลผล ผลมะม่วงส่วนมากที่เชื้อราเข้าพื้ตัวที่ผิวผล ที่ไม่แสดงอาการผลจุดดำระยะก่อนเก็บเกี่ยวจะเริ่มปรากฏกับผลมะม่วงที่อยู่ระหว่างการบ่มและผลสุกในระยะหลังเก็บเกี่ยว (นิพนธ์, 2542)

(นิพนธ์, 2542) กล่าวว่าสำหรับอาการของโรคนี้ในผลหลังการเก็บเกี่ยวจะเห็นได้ชัดเจนกว่าขณะที่ผลอยู่บนต้นเพราะผลสุกจะอ่อนแอต่อโรคนี้ อาการที่พบบนผลสุกคือ พบจุดดำ กระจายอยู่บนผล จุดดำเหล่านี้จะขยายตัวตามการสุกของผลจนเชื่อมกันเป็นแผลใหญ่บริเวณตรงกลางที่เป็นโรคจะบวมลึกลง และมีกลุ่มเมือกของสปอร์สีส้มหรือสีชมพูของเชื้อราทำให้ผลมะม่วงเน่า นิ่ม และมีกลิ่น โรคแอนแทรคโนสจะแสดงอาการเน่าจากผิวผลในพันธุ์มะม่วงที่อ่อนแอต่อโรค เช่น พันธุ์น้ำดอกไม้ พันธุ์แรดและพันธุ์อกร่อง

2.2 การแพร่ระบาด

สปอร์ของเชื้อรามีการแพร่ระบาดโดยทางลมและฝนในสวนมะม่วง โดยเฉพาะในสภาพอากาศที่ชื้นสลับกับอุณหภูมิสูงและมีความแห้งแล้ง แผลงเพาะกล้าที่แน่นทึบมีความชื้นสูงทำให้เกิดโรคได้ง่ายกับระยะแตกยอดอ่อน ทางช่อดอกและติดผลอ่อน สปอร์ของเชื้อราจากใบที่เป็นโรคจะไหลไปตามหยดน้ำลงสู่ผิวผลแล้วกระจายไปทั่วผลทำให้ก้นผลเน่า

2.3 การป้องกัน

จัดการระบายอากาศในแปลงเพาะกล้า ตัดแต่งกิ่งระยะต้นโตให้โปร่งและทุกระยะที่มีการเจริญเติบโตที่มีเนื้อเยื่ออ่อนมีสีเขียวของพืชต้องฉีดพ่นป้องกันกำจัดเชื้อราด้วยเบนโนไมล์ หรือ คาร์เบนดาร์ซิมและควรมสพหรือสลับกัน แมนโคเซปฉีดพ่นทุกๆ 7-10 วัน เน้นการฉีดพ่นระยะการแทงช่อดอก ระยะดอกบานและติดผลอ่อน ต้องระวังชนิดสารเคมีและวิธีฉีดพ่นไม่ให้ดอกร่วง เว้นระยะห่างมากขึ้นเมื่อผลมะม่วงโตมากขึ้น เช่น ทุกๆ 15 วัน แต่ถ้ามีสภาพดินฟ้าอากาศเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ มีฝนตกสลับกับสภาพอากาศร้อนในระยะติดผลจนถึงระยะเก็บเกี่ยวก็มีความจำเป็นต้องฉีดพ่นป้องกันทุกระยะ 7-10 วัน ควรฉีดพ่นสารเคมีต่อเนื่องกัน ตั้งแต่ระยะออกดอกจนถึงระยะใกล้เก็บเกี่ยวประมาณ 4-7 ครั้งเพื่อป้องกันการพักตัว (latent infection) ของเชื้อรา ซึ่งหลังการเก็บเกี่ยวจะต้องนำผลมะม่วงมาจุ่มในน้ำร้อน 50 องศาเซลเซียส ผสมเบนโนไมล์ 500 พีพีเอ็ม (ส่วนในล้านส่วน) หรือ โพรคลอราซ (prochloraz) 200 พีพีเอ็ม (ส่วนในล้านส่วน) เป็นเวลานาน 5-10 นาที ซึ่งน้ำร้อนและสารจะช่วยควบคุมการเกิดโรคได้ แต่สารชนิดหลังไม่สามารถควบคุมโรคชั่วคราวที่เกิดจากเชื้อรา *Lasioidipladia theobromae* (นิพนธ์ วิจารณ์, 2532)

3. การส่งออกมะม่วง

3.1 ข้อมูลทั่วไปของการส่งออกมะม่วงไปตลาดต่างประเทศ

ที่ผ่านมา แม้ประเทศไทยจะผลิตมะม่วงได้มากเป็นอันดับ 4 ของโลก แต่สามารถส่งออกมะม่วงสดและผลิตภัณฑ์ได้เพียงร้อยละ 2 จากที่ผลิตได้ อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2554 สามารถทำรายได้ถึง 795.1 ล้านบาท โดยแยกเป็น มะม่วงผลสด (26%) มะม่วงกระป๋อง (38%) มะม่วงอบแห้ง (9%) และมะม่วงแช่แข็ง (27%) มะม่วงกระป๋องมีมูลค่าการส่งออกสูงสุด ซึ่งเติบโตเพิ่มขึ้น ร้อยละ 31.7 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2553 ขณะที่การส่งออกมะม่วงผลสดค่อนข้างคงที่ ส่วนในไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2555 มะม่วงมีปริมาณการส่งออกเพิ่มขึ้น ร้อยละ 61.1 โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นมีทั้งตลาดที่ต้องการ และเป็นช่วงของฤดูกาลที่มีการส่งออกมะม่วงสู่ตลาด

การส่งออกมะม่วงผลสดและผลิตภัณฑ์ให้กับประเทศเพื่อนบ้าน โดยเฉพาะกับกลุ่มประเทศที่อยู่ติดกับจังหวัดชายแดนภาคใต้ได้ดำเนินมานาน ในปี พ.ศ. 2552 รัฐบาลจีนอนุญาตให้นำเข้าผลไม้ไทย จำนวน 23 ชนิด โดยมีมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นหนึ่งในผลไม้ที่ได้รับความนิยม และประเทศไทยได้เปิดช่องทางขนส่งสินค้าผลไม้ไปสาธารณรัฐประชาชนจีนเส้นทางใหม่ คือ เส้นทาง

R9 จากจังหวัดมุกดาหารผ่าน ลาว เวียดนาม เข้าสู่ด่านโห่ฮักกว่าน เมืองผิงเสียง มณฑลกว่างสีของ สาธารณรัฐประชาชนจีน ระยะทางรวมประมาณ 1,200 กิโลเมตร ซึ่งการลำเลียงสินค้าไปยัง ปลายทางจะใช้ระยะเวลาสั้น ประมาณ 2-3 วัน ทำให้ชาวจีนที่อยู่ห่างไกลมีโอกาสบริโภคผลไม้ไทย ที่ยังสด ใหม่ รสชาติดี และคงคุณค่าทางโภชนาการที่สมบูรณ์เหมือนกับสินค้าที่คนไทยได้บริโภค อนาคตคาดว่า การเปิดเส้นทาง R9 จะช่วยให้ประเทศไทยสามารถกระจายสินค้าผลไม้และสินค้า เกษตรอื่นๆ ไปสาธารณรัฐประชาชนจีนได้เพิ่มขึ้น 20-30% หรือประมาณ 1,000-1,500 ล้านบาท การส่งออกมะม่วงผลสดไปประเทศญี่ปุ่นซึ่งถือเป็นตลาดสำคัญที่สุดของไทย ผู้ผลิตได้มีความ พยายามมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 แต่การส่งออกอย่างจริงจัง เริ่มประมาณปี พ.ศ. 2544 ในปี พ.ศ. 2550 และปัจจุบันเริ่มขยายตลาดการส่งออกไปสู่ประเทศสหรัฐเอมิเรตส์ (UAE) เพิ่มมากขึ้น

ตลาดญี่ปุ่น เป็นตลาดส่งออกสำคัญลำดับที่ 4 สำหรับสินค้าผลไม้ไทยมีสัดส่วนการ ส่งออกประมาณร้อยละ 6 ของการส่งออกผลไม้สดแช่เย็น แช่แข็งและแห้งทั้งหมดของประเทศไทย รองจากสาธารณรัฐประชาชนจีน สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา ซึ่งประเทศไทยได้มีการจัดทำข้อตกลง เขตการค้าเสรีไทย-ญี่ปุ่น หรือ JTEPA มีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2550 ทำให้สินค้า ผลไม้เมืองร้อนของประเทศไทยได้รับการยกเลิกภาษีนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นทันที เช่น ทูเรียน มะละกอ มะม่วง มังคุด มะพร้าว เป็นต้น ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2554 ที่ผ่านมา ประเทศไทยได้ดำเนินการ ส่งออกมะม่วงไปประเทศญี่ปุ่นเป็นปริมาณ 1,515 ตัน มูลค่า 222.6 ล้านบาท และในช่วง 6 เดือน แรกของปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงไปประเทศญี่ปุ่นเป็นมูลค่า 199.1 ล้านบาท เพิ่มขึ้น จากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2554 ร้อยละ 14.4 โดยตลาดการนำเข้ามะม่วงของประเทศญี่ปุ่นนั้น มี การนำเข้ามะม่วงจากประเทศเม็กซิโกมากที่สุด เป็นสายพันธุ์เคนท์ รองลงมาจากประเทศฟิลิปปินส์ สายพันธุ์คาราบาว และประเทศไทยมาอันดับ 3 เป็นพันธุ์น้ำดอกไม้

ปัจจุบันมะม่วงสดของประเทศไทยที่ได้ส่งออกไปยังตลาดญี่ปุ่นมีจำนวน 4 สายพันธุ์ คือ น้ำดอกไม้ พิมเสน แรด และหนังกกลางวัน ส่วนมะม่วงแก้วยังไม่ได้มีการส่งออกไปยังญี่ปุ่นในรูป มะม่วงสด แต่มีการแปรรูปเป็นน้ำมะม่วงส่งออก มะม่วงสดที่ส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นต้องได้รับ อนุญาตจากกระทรวงเกษตรและประมงของประเทศญี่ปุ่น โดยต้องผ่านขั้นตอนการอบไอน้ำ เพื่อ ป้องกันเชื้อรา แผลงวันทอง และโรคพืชอื่นๆ ส่วนมะม่วงสดที่ส่งออกไปยังประเทศอื่น เช่น มาเลเซีย สิงคโปร์ สหราชอาณาจักร ไม่ต้องผ่านกรรมวิธีการอบไอน้ำ และมะม่วงสดที่ส่งออกไปยัง สหรัฐอเมริกา ต้องผ่านกรรมวิธีการฉายรังสีเพื่อป้องกันเชื้อโรคและแมลง

นอกจากนี้ การส่งออกผลมะม่วงสดไปสู่ตลาดต่างประเทศของประเทศไทยได้ขยายไปยังตลาดที่มีการแข่งขันสูงทั่วโลกกว่า 42 ประเทศ อุปสรรคสำคัญของการส่งออกผลมะม่วงสดที่อยู่ระหว่างการแก้ไขปรับปรุง ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บรักษาสั้น มักเน่าเสียก่อนนำไปวางจำหน่าย และการตกค้างปนเปื้อนของสารพิษ ซึ่งปัจจุบันอยู่ในระหว่างการหาแนวทางแก้ไขจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม ตลาดส่งออกที่สำคัญสำหรับมะม่วงสด ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น มาเลเซีย เกาหลี สิงคโปร์ ลาว อินโดนีเซีย สาธารณรัฐประชาชนจีน และฮ่องกง สำหรับมะม่วงกระป๋อง ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น สหราชอาณาจักรเยอรมัน ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย สำหรับมะม่วงอบแห้ง ได้แก่ สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น สำหรับมะม่วงแช่แข็ง ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ ออสเตรเลีย และเกาหลี เป็นต้น

3.2 โอกาสของมะม่วงไทยในประเทศญี่ปุ่น

ชาวญี่ปุ่นชอบรับประทานผลไม้ โดยเฉพาะสตรีจะชอบผลไม้รสหวานอมเปรี้ยวมากกว่าผลไม้ที่มีรสใดรสนึงนำเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ผู้ซื้อจะยินยอมจ่ายเงินเพิ่มเพื่อซื้อผลไม้ที่มีรูปลักษณ์สวยงามและมั่นใจว่ามีรสชาติตามที่คาดหวัง ด้วยเหตุนี้ราคามะม่วงที่ผลิตจากจังหวัดมิยาซากิ จึงสามารถขายได้ในราคาสูงกว่ามะม่วงนำเข้าถึงกว่า 10 เท่า เพราะมะม่วงเหล่านี้สามารถจัดทำข้อมูลของผลไม้ให้ผู้ซื้อได้รู้จักอย่างละเอียด เหมือนการทำบัตรประจำตัว หรือ พาสปอร์ตของผลมะม่วงแต่ละลูก คนซื้อสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ว่าผลิตที่ใด (Traceability system) โดยเกษตรกรรายไหน มีความหวานระดับใด และมีรสชาติดีที่สุดวันไหน (สุกพอเหมาะสำหรับบริโภค) ชาวญี่ปุ่นยกย่องมะม่วงและผลไม้ว่ามีรสชาติกลมกล่อม และอร่อยกว่าของแหล่งอื่นๆ อยู่แล้ว ดังนั้นหากผู้ผลิตไทยสามารถพัฒนาคุณภาพ และจัดวางระบบให้ไปสู่การทำข้อมูลของผลไม้ที่ตรวจสอบย้อนกลับได้ เหมือนที่จังหวัดมิยาซากิ ก็จะสามารถยกระดับมะม่วงและผลไม้ของประเทศไทย ไปสู่ความเป็นเลิศ ที่ไม่ใช่เพียงจะทำให้ขายได้ราคาสูงกว่านี้อีกหลายเท่าตัว แต่หมายรวมถึงตลาดที่จะแพร่ขยายไปอีกหลายเท่าเช่นกัน ตลาดมะม่วงในประเทศญี่ปุ่นไม่ได้จำกัดเฉพาะการขายเป็นผลสุก เนื่องจากคนญี่ปุ่นมีนิสัยชอบคิดค้นต่อจึงนำมะม่วงดิบรับประทานเป็นสลัด เมื่อขึ้นชอผลไม้นชนิดใด ก็อยากให้มีการบริโภคอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งจะคิดค้นเมนูใหม่ๆ ปัจจุบันจึงมีอาหาร ขนมและของว่างที่มีมะม่วงเป็นส่วนผสมจำนวนมากในประเทศญี่ปุ่น เป็นการตอกย้ำถึงความนิยมบริโภคมะม่วงของชาวญี่ปุ่น และแสดงให้เห็นศักยภาพและความต้องการของตลาดที่ยังขยายได้อีกมาก ตลาดที่ประเทศไทยสามารถผลิตและส่งออกมะม่วงคุณภาพดี รสชาติอร่อย และปลอดภัยไร้สารตกค้างไปจำหน่าย ก็ไม่ต้องกังวลว่าจะมีแหล่งผลิตใหม่ๆ ที่ไหนเข้ามาแข่งขัน

3.3 ขั้นตอนการส่งออกมะม่วงไปประเทศญี่ปุ่นในปัจจุบัน

ประเทศญี่ปุ่นได้มีการกำหนดมาตรการทางด้านการค้าสำหรับผลไม้ ทั้งด้านภาษีและมิใช่ภาษี โดยมาตรการที่มีใช่อนับเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อส่งออกผลไม้ไปยังประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเข้มงวดด้านสุขอนามัย ห้ามนำเข้าผลไม้ที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคพืช แมลงศัตรูพืช และสารเคมีที่ตกค้างในผลไม้ โดยจะกำหนดให้นำเข้าได้เฉพาะรายการที่ทางการญี่ปุ่นได้ตรวจสอบและตกลงกับประเทศผู้ส่งออกแล้วเท่านั้น สำหรับกระบวนการส่งออกมะม่วงของประเทศไทยไปยังประเทศญี่ปุ่นมีรายละเอียด ดังนี้

3.3.1 การเก็บเกี่ยว หากต้นมะม่วงมีความสูงไม่มากนัก เกษตรกรนิยมเก็บเกี่ยวโดยใช้มือเด็ดก้านขั้วผล หรือหากต้นมะม่วงมีความสูงมาก เกษตรกรนิยมเก็บเกี่ยวโดยใช้ตะกร้อ โดยเก็บเกี่ยวให้มีขั้วที่ผลยาวไว้ก่อน เพื่อช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคขั้วผลเน่า ยิ่งเก็บเกี่ยวให้มีความยาวขั้วผลสั้น พื้นที่ผิวการเกิดโรคยิ่งมาก อย่างไรก็ตามการไว้ขั้วยาวเกินไปไม่ใช่ว่าเป็นผลดีนัก เนื่องจากก้านที่ยาวเกินไปสามารถดูดซับน้ำให้เป็นรอยระหว่างการบรรจุลงในตะกร้า ณ แปลงเกษตรกร และระหว่างการขนส่ง นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มน้ำหนักให้กับผลมะม่วง ซึ่งหมายถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการซื้อผลผลิตของผู้รับซื้อ ด้วยเหตุนี้ในทางปฏิบัติ จึงมีการแนะนำให้เกษตรกรเก็บเกี่ยวผลมะม่วงโดยไว้ขั้วผลให้ยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วไม่ควรวางมะม่วงให้สัมผัสกับดินโดยตรง เนื่องจากจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์มากับผลได้ แต่ควรเก็บเกี่ยวแล้วนำไปใส่ภาชนะเพื่อรวบรวมลงตะกร้า แล้วรีบนำเข้าที่ร่มทันที อย่าให้ผลมะม่วงตากแดด เพื่อไม่ให้มะม่วงสะสมความร้อนมากเกินไป อันจะมีผลให้มะม่วงมีอัตราการหายใจ และการคายน้ำเพิ่มสูงขึ้น เกิดการสะสมความร้อน กระตุ้นการผลิตเอทิลีนของผลมะม่วง และอุณหภูมิที่สูงขึ้นยังช่วยให้เชื้อจุลินทรีย์ที่แอบแฝงมากับผิวผลมะม่วงมีพัฒนาการเร็วขึ้นทำให้ยากแก่การป้องกันกำจัดโรคหลังเก็บเกี่ยว

3.3.3 การคัดเลือกความบริสุทธิ์ของผล หลังจากตัดแต่งมะม่วงจนแห้งแล้ว ควรนำผลมะม่วงมาคัดเลือกความบริสุทธิ์หรือความแก่โดยการลอยมะม่วงในน้ำเกลือเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงนำผลมาจุ่มลงในน้ำที่ใช้สำหรับล้างผลมะม่วง ซึ่งถ้าหากพบว่าผลมะม่วงจมน้ำ แสดงว่าผลมีความแก่ที่เหมาะสม สำหรับผลที่ลอยน้ำจัดเป็นผลที่ยังอ่อนอยู่ ผลมีการพัฒนาคุณภาพยังไม่ดีเพียงพอ เมื่อบ่มผลแล้วจะพบการเหี่ยวของเปลือกผล สำหรับผลที่จมน้ำเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์เป็นผลที่มีความแก่มากเกินไปเมื่อบ่มแล้วอาจพบอาการที่เนื้อบริเวณติดกับเมล็ดมีสีน้ำตาลใสซึ่งเกษตรกรมักเรียกว่า “อาการน้ำตาลใส” ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

3.3.4 การล้างทำความสะอาด น้ำที่ใช้ในการล้างผลมะม่วงที่สะเด็ดยางแล้วเป็นน้ำที่ใช้สำหรับการตรวจสอบความแก่ของผลมะม่วงในคราวเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อลดขั้นตอนการจัดการผลมะม่วงลง โดยปกติผลมะม่วงหลังจากสะเด็ดยางแล้วมักมียางเปรอะเปื้อนที่ผิวผล จึงควรล้างในน้ำที่ผสมสารละลายคลอรีนที่มีสารออกฤทธิ์โซเดียมไฮโปคลอไรท์ หรือแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ดังภาพที่ 1 โดยใช้ผ้าที่อ่อนนุ่ม หรือฟองน้ำถูผลเบาๆ ด้วยความระมัดระวัง อย่าทำให้ผิวผลบอบช้ำ หรือเกิดบาดแผล นอกจากสารละลายคลอรีนจะช่วยในการกำจัดสารเคมีที่เป็นพิษบางส่วนที่ติดผลจนกระทั่งผลแก่และเก็บเกี่ยวได้แล้ว ยังช่วยฆ่าเชื้อโรคที่ติดมากับผิวผลมะม่วงได้ด้วย น้ำที่ใช้ล้างผลมะม่วงควรจะเปลี่ยนทุกๆ ครั้งที่พบว่าน้ำมีลักษณะขุ่นสกปรกแล้ว มิฉะนั้นน้ำอาจจะเป็แหล่งที่ช่วยแพร่กระจายเชื้อไปยังมะม่วงผลอื่นๆ ต่อไปได้



ภาพที่ 1 การล้างมะม่วงในน้ำผสมสารละลายแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม

3.3.5 การควบคุมโรคหลังเก็บเกี่ยว ผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวแล้วขณะรอบ่มสุกสามารถพบอาการเน่าเสียจากการเข้าทำลายของเชื้อราได้หลายชนิดได้แก่ *Lasiodiplodia theobromae* เชื้อรานี้พบกระจายอยู่ในสวนทั่วไป โดยจะตกค้างที่ผิวผล ขั้วผล และภายในท่อน้ำ ท่ออาหารของมะม่วง เมื่อตัดขั้วผลร่วมกับสภาพแวดล้อมที่ชื้นและอุณหภูมิสูง เชื้อราจะเจริญเติบโตและเข้าทำลายทางแผลรอยตัดขั้วผลและบาดแผลบนผล ซึ่งผลมะม่วงในระยะผลสุก จะแสดงอาการเน่ามีสีน้ำตาล ลูกกลมจากรอยตัดขั้วผลไปยังก้นผล ทำให้ผลเน่าผิวนุ่มอย่างรวดเร็ว เชื้อราสาเหตุชนิดที่สองคือ *Dothioerelfa dominicana* ผลมะม่วงจะสุกแสดงอาการจุดเน่าบนผล เป็นแผลสีน้ำตาลจางขวางผล และขอบผลไม่ชัดเจน เนื้อเยื่อจะเน่ายุบตัวลง อย่างไรก็ตามโรคมะม่วงที่สำคัญที่สุด และเกิดกับผล

มะม่วงมากที่สุดคือ โรคแอนแทรคโนส ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สามารถทำให้เกิดโรคได้ทุกระยะของผลมะม่วงทั้งในระยะก่อน และหลังเก็บเกี่ยว ผลมะม่วงส่วนมากที่เชื้อราเข้าทำลาย และพักตัวที่ผิวผลไม่แสดงอาการจุดดำ ระยะหลังการเก็บเกี่ยวจะเริ่มปรากฏอาการของโรคผลเน่าระหว่างที่อยู่ในระยะบ่มและผลสุก เรียกการเข้าทำลายแบบนี้ว่า การเข้าทำลายแบบแฝง (Intent infection) ซึ่งเชื้อมีการแอบแฝงในเนื้อเยื่อของผลมะม่วงในช่วงลึกลงไปจากผิวไม่เกิน 2 มิลลิเมตร แต่ส่วนมากจะอยู่ในช่วง 1 มิลลิเมตรจาก ผิวนอก หลังจากนั้นจุดดำจะขยายใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นแอ่งบวม เมื่อผลสุกอมมากขึ้นบริเวณกลางจุดจะมีกลุ่มเมือกของ สปอร์สีส้มหรือชมพู ทำให้ผลเน่าเนิ่นม มีกลิ่นหมัก

จากการสำรวจความเสียหายของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์รี่และพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในแหล่งปลูกและแหล่งวางจำหน่ายในเขตภาคเหนือ และตลาดกลางสินค้าเกษตรกรในเขตกรุงเทพมหานคร พบความเสียหายมากที่สุดในระยะเก็บเกี่ยวและระยะวางจำหน่าย ซึ่งมีสาเหตุจากโรคแอนแทรคโนส มากที่สุดคิดเป็น 62.8 และ 63.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ในระยะขนส่งความเสียหายจากโรคแอนแทรคโนสกลับพบเป็นอันดับสองรองลงมาจากอาการซ้ำ โดยที่มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์รี่ เป็นพันธุ์อ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนสมากที่สุด รองลงมาคือ มหานคร โชคอนันต์ น้ำดอกไม้สีทอง และแรด ตามลำดับ

สำหรับวิธีการที่ใช้ในการป้องกันกำจัดโรคมะม่วงภายหลังการเก็บเกี่ยวและได้ผลดีคือการจุ่มในน้ำร้อน 50-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นจุ่มในน้ำร้อนแล้วให้จุ่มมะม่วงในน้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ก่อนจุ่มในสารละลายโปรคลอราซความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม ดังภาพที่ 2 เป็นเวลา 3 นาทีอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นผึ่งให้แห้ง ทั้งนี้ควรหมั่นสังเกตอุณหภูมิให้ดีหากอุณหภูมิสูงเกินกว่า 55 องศาเซลเซียส อาจทำให้ผลมะม่วงเสียหาย มีลักษณะผลเหมือนลูกน้ำร้อนลวกได้ หรือเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส จะปรากฏอาการเปลือกแห้ง มีลักษณะเนื้อเหี่ยวยุบ เป็นสีน้ำตาล เมื่อปอกเปลือกหลังจากผลสุกไม่พบความเสียหายของเนื้อได้ผิวเปลือก อีกทั้งยังไม่ปรากฏกลิ่นและรสชาติผิดปกติใดๆ เกิดขึ้น แต่หากใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคจะลดลง



ภาพที่ 2 การจุ่มมะม่วงในสารละลายโปรคลอราซ ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม

3.3.6 การป้องกันกำจัดแมลงวันทองโดยการอบไอน้ำร้อน สำหรับมะม่วงที่ถูกส่งออกไปประเทศญี่ปุ่น จะต้องผ่านกระบวนการอบไอน้ำร้อน(Vapour Heat Treatment: VHT) ให้บริเวณกึ่งกลางของผลมะม่วงมีอุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 90 ดังภาพที่ 3 เพื่อป้องกันและกำจัดแมลงวันผลไม้ตามข้อกำหนดของญี่ปุ่น โดยมะม่วงจะถูกเรียงชั้นเดียวบนตะกร้า VHT ขนาด 10-12 กิโลกรัม ให้ส่วนปลายผลชี้ขึ้นด้านบนและทำมุมเอียง 45 องศา เพื่อให้ความร้อนสามารถถ่ายเทให้ผลมะม่วงอย่างทั่วถึง ซึ่งระยะเวลาในการอบไอน้ำร้อนจะใช้เวลาตั้งแต่เริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงการระบายอากาศร้อนออกจากตู้อบรวมเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 3 กระบวนการอบไอน้ำร้อน (Vapour Heat Treatment: VHT)

3.3.7 การบรรจุ มะม่วงที่ผ่านการอบไอน้ำร้อนแล้ว จะถูกนำมาลดอุณหภูมิด้วยระบบลมเป่า (Air Cooling) ประมาณ 7-10 นาทีจนแห้ง ก่อนสวมตาข่ายโพลี เพื่อป้องกันการกระแทก และบรรจุลงกล่องกระดาษลูกฟูกที่มีรูระบายอากาศข้างกล่อง ข้างละ 2 ช่องและมีผ้าตาข่ายปิดรูของกล่องไว้ เพื่อป้องกันแมลงจากภายนอกบินเข้าสู่ภายในกล่อง ดังภาพที่ 4 พร้อมข้อความว่า FOR JAPAN อย่างน้อย 3 ด้าน รอการตรวจสอบและรับรองการปลอดศัตรูพืช (Phytosanitary Certification) จากเจ้าหน้าที่กักกันพืชของประเทศไทยและประเทศญี่ปุ่น



ภาพที่ 4 การบรรจุมะม่วง

ที่มา: บริษัท สยามเอ็กซ์ปอร์ตมาร์เก็ต จำกัด

3.3.8 การขนส่งทางเรือ สำหรับการขนส่งทางเรื่อนั้น จะใช้มะม่วงที่ไม่ผ่านการบ่ม และเก็บรักษาไว้ในตู้คอนเทนเนอร์พิเศษที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส และปรับสภาพบรรยากาศภายในตู้ (Controlled Atmosphere: CA) ให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน ประมาณร้อยละ 5 ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 90 และกำจัดก๊าซเอทิลีนระหว่างการขนส่งด้วย เพื่อให้ยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงให้ยาวนานขึ้น เนื่องจากต้องใช้เวลาเกือบ 10 วัน ในการเดินทางถึงท่าเรือประเทศญี่ปุ่น

3.4 คุณภาพและมาตรฐานของมะม่วงเพื่อการส่งออกสู่ประเทศญี่ปุ่น

สำหรับคุณภาพและมาตรฐานของมะม่วงเพื่อการส่งออกสู่ประเทศญี่ปุ่น นอกจากจะต้องผ่านการตรวจรับรองการปลอดศัตรูพืชแล้ว ยังจะต้องผ่านการตรวจสอบและมีหนังสือรับรองว่า ไม่มีสารตกค้างชนิดสารกำจัดแมลงในกลุ่ม Organochlorines, Organophosphates, Pyrethroids, Carbamates และสารกำจัดโรคพืชในกลุ่ม Dithiocarbamates, Benzimidazoles โดยมีขนาดและน้ำหนักโดยเฉลี่ย ดังนี้คือ รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดของผลมะม่วงเพื่อการส่งออก

ขนาด	น้ำหนัก (กรัม)
Size SS	225-249
Size S	250-279
Size M	280-329
Size L	330-379
Size LL	380-449
Size LLL	มากกว่า 450

ที่มา: ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ม.ป.ป.)

4. สารโปรคลอราซ (Prochloraz)

ประเทศญี่ปุ่นได้มีการกำหนดมาตรการทางด้านการค้าสำหรับผลไม้ ทั้งด้านภายในและมิใช่ภายใน โดยมาตรการที่มีใช้ภายในนับเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อส่งออกผลไม้ไปยังประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเข้มงวดด้านสุขอนามัย ห้ามนำเข้าผลไม้ที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคพืช แมลงศัตรูพืช และสารเคมีที่ตกค้างในผลไม้ โดยจะกำหนดให้นำเข้าได้เฉพาะรายการที่ทางการญี่ปุ่นได้ตรวจสอบและตกลงกับประเทศผู้ส่งออกแล้วเท่านั้น สำหรับกระบวนการส่งออกมะม่วงของประเทศไทยไปยังประเทศญี่ปุ่นมีการใช้สารโปรคลอราซเพื่อป้องกันการเกิดโรคแอนแทรคโนสในมะม่วง โดยสารโปรคลอราซมีคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโปรคลอราซ

พารามิเตอร์	ค่า (s) และเงื่อนไข	ความบริสุทธิ์%
ความดันไอ	3.5×10^{-6} Pa at 20°C	99.3 (ก)
(Vapour pressure)	$< 8.8 \times 10^{-5}$ Pa at 25°C	99.7 (ข)
จุดหลอมเหลว	48.0 - 51.0°C	99.3 (ก)
(Melting point)	102.5 - 105.0°C	99.7 (ข)
อุณหภูมิของการสลายตัว	222°C	98.9 (ก)
(Temperature of decomposition)		
ความสามารถในการละลายน้ำ	0.0276 g/l at 20°C at pH 5	99.3 (ก)
(Solubility in water)	0.0249 g/l at 20°C at pH 7	
	0.0236 g/l at 20°C at pH 9	
	0.0265 g/l at 20°C (น้ำบริสุทธิ์)	
ความหนาแน่นสัมพัทธ์	1.413	99.3 (ก)
(Relative density)	1.475	99.7 (ข)

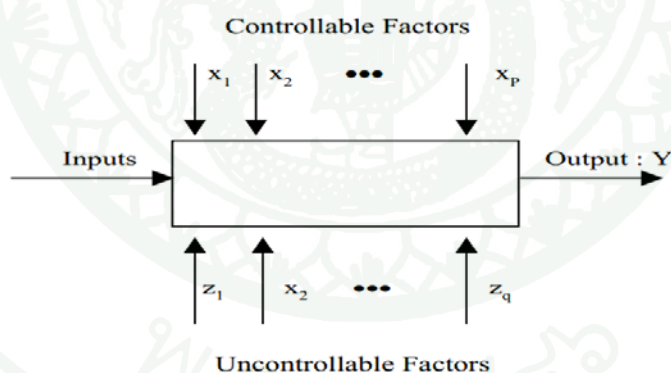
หมายเหตุ โปรคลอราซบริสุทธิ์ (ก) และโปรคลอราซที่ผสมธาตุสังกะสี (ข)

5. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การทดลอง (Experiment) คือ การจำลองสภาพความเป็นจริงให้มาอยู่ในสภาพที่เราสามารถควบคุมได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงอันเป็นผลมาจากการปฏิบัติในการศึกษาทดลอง โดยที่การทดลองจะแบ่งเป็นการทดลองเบื้องต้น คือ การทดลองเพื่อให้ทราบผลอย่างกว้างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป และการทดลองขั้นตัดสินใจ เป็นการนำสิ่งที่คัดเลือกที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นมาทำการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบ หรือหาสิ่งที่ดีที่สุดในกลุ่ม โดยจะมีการใช้แผนการทดลองแบบต่างๆ

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

Montgomery (1997) ได้กล่าวไว้ว่า วัตถุประสงค์ของการทดลองคือ การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ ซึ่งกระบวนการและระบบจะแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการหรือระบบ

จากภาพที่ 5 สามารถอธิบายได้ว่ากระบวนการ คือ การรวมกันของเครื่องจักร วิธีการ คน และทรัพยากรอื่นๆ เข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนตัวแปรนำเข้า (Inputs) ให้เป็นผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs) ที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่า โดยตัวแปรของกระบวนการบางตัว $x_1, x_2, \dots, x_p$ เป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ในขณะที่ตัวแปรอื่นๆ $z_1, z_2, \dots, z_q$ เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงมีวัตถุประสงค์ดังนี้

ก. หาตัวแปรที่มีผลต่อ Y มากที่สุด

ข. หาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อ Y ที่ทำให้ได้ค่า Y ตามต้องการ

ค. หาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อ Y ที่ทำให้ได้ค่า Y มีความแปรปรวนน้อยที่สุด

ง. หาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อ Y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ ($Z_1, Z_2, \dots, Z_q$) ส่งผลกระทบบต่อ Y น้อยที่สุด

5.1 หลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบการทดลอง

5.1.1 เรพลีเคชัน (Replication) เป็นการทดลองซ้ำๆ โดยมีคุณสมบัติ 2 ประการคือ

ก. ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้

ข. ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้ประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง ดังนั้น เรพลีเคชันทำให้ผู้ทดลองหาตัวประมาณที่ถูกต้องขึ้น

5.1.2 แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึงการทดลองที่ทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นตัวแทนสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง นอกจากนี้การใช้วิธีการแรนดอม (Random) ทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

5.1.3 บล็อกกิ้ง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลองบล็อกอันหนึ่ง อาจหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมด

5.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

5.2.1 กำหนดและทำความเข้าใจปัญหา คือ การศึกษา และทำความเข้าใจกระบวนการหรือระบบ เพื่อกำหนดปัญหาในการออกแบบการทดลองให้แน่ชัด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

5.2.2 เลือกปัจจัยและกำหนดค่าของปัจจัยที่ทำการทดลอง คือการเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง การกำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง

5.2.3 เลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เป็นตัวแปรที่ใช้ในการวัดผลของกระบวนการ โดยจะเลือกตัวแปรตอบสนองที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่

5.2.4 เลือกการออกแบบการทดลอง ในการเลือกการออกแบบการทดลองจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเสมอ โดยจะพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรปลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อกหรือแรนดอมไมเซชันอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่

5.2.5 ทำการทดลอง ตามวิธีการที่ได้ออกแบบการทดลองไว้แล้ว

5.2.6 วิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการทางสถิติคือ การนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทำการทดลองไว้ เพื่อช่วยในการหาข้อสรุปที่เกิดขึ้นว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่

5.2.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการสรุปผลของกระบวนการที่ทำการทดลอง ซึ่งอาจแสดงในรูปของตาราง กราฟ หรือแผนภูมิ

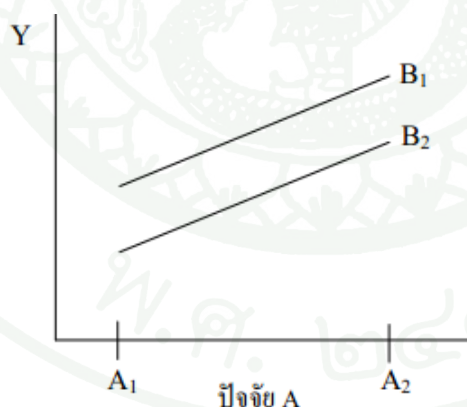
6. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experimental Designs)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลนิยมใช้มากในการทดลองที่มีหลายปัจจัยซึ่งต้องการศึกษาถึงผลรวมที่มีต่อผลตอบซึ่งเกิดจากปัจจัยเหล่านั้น เป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการ

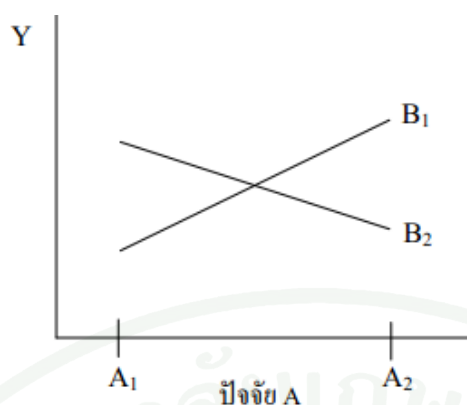
ร่วมกันของระดับของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปเรียกว่า ทรีทเมนต์คอมบินชัน (Treatment Combination) หรือเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple Factor Experiments) และเนื่องจากมีปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้ว ยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วย

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลมีประโยชน์หลายประการ และเป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองทีละปัจจัย ยิ่งกว่านั้น การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลยังเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมเกิดขึ้น ซึ่งกรณีเช่นนี้ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ นอกจากนั้นแล้ว การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลทำให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ ทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลตลอดเงื่อนไขของการทดลอง

อิทธิพลของปัจจัยร่วม คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงระดับไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงระดับไป ดังตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมซึ่งเมื่อไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดังภาพที่ 6 และเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดังภาพที่ 7 โดย A และ B คือ ปัจจัย 2 ปัจจัย



ภาพที่ 6 กราฟอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่แสดงว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม ระหว่างปัจจัย A และ B



ภาพที่ 7 กราฟอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่แสดงว่ามีอิทธิพลของปัจจัยร่วม ระหว่างปัจจัย A และ B

6.1 วัตถุประสงค์ของการทดลองแฟคทอเรียล

เป็นการทดลองที่สนใจทำการศึกษปัจจัยหลายปัจจัยพร้อมกัน โดยต้องการศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) เช่น กรณีที่ศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือปัจจัย A B และ C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

ก. ผลกระทบหลักหรือผลกระทบปัจจัยเดียว (Main Effects) คือ ผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณาปัจจัยเดียว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B และผลกระทบของปัจจัย C

ข. ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two – Factors หรือ 2 – ways Interaction) คือ ผลกระทบที่เกิดจากพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) AB BC และ AC

ค. ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three – Factors หรือ 3 – ways Interaction) คือ ผลกระทบที่เกิดจากพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกัน ในที่นี้ ได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC

โดยทั่วไปผู้ทดลองจะให้ความสำคัญแก่การศึกษา ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัยเท่านั้น เนื่องจากผลกระทบร่วมตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไปส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยมากจึงไม่นิยมนำมาพิจารณา

ตัวอย่างการทดลองเชิงแฟคทอเรียลของปัจจัย 3 ปัจจัย A B และ C โดยให้

$i = 1, 2, \dots, a$ คือ ระดับของปัจจัย A

$j = 1, 2, \dots, b$ คือ ระดับของปัจจัย B

$k = 1, 2, \dots, c$ คือ ระดับของปัจจัย C

$l = 1, 2, \dots, n$ คือ จำนวนซ้ำ

สมการตัวแทนของแหล่งความผันแปรต่อตัวแปรตอบสนอง คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่	Y_{ijkl}	คือ ค่าตัวแปรตอบสนอง
	μ	คือ ค่าเฉลี่ย
	τ_i	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A
	β_j	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย B
	γ_k	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย C
	$(\tau\beta)_{ij}$	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ A กับ B
	$(\tau\gamma)_{ik}$	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ A กับ C
	$(\beta\gamma)_{jk}$	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ B กับ C
	$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ A กับ B กับ C
	ε_{ijkl}	คือ ความคลาดเคลื่อน

6.2 การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เป็นการทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ($k \geq 2$) โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ต้องการศึกษผลกระทบร่วม (Interactions) ผู้ทดลองจะใช้จำนวนระดับของปัจจัยที่ระดับนั้นขึ้นกับความสำคัญของปัจจัยปัจจัยที่วิกฤต (Critical Factor) หรือปัจจัยที่ต้องการศึกษาละเอียดจะใช้จำนวนระดับที่มีค่ามาก (ในการทดลองเดียวกัน ผู้ทดลองไม่จำเป็นต้องทำการศึกษาปัจจัยแต่ละปัจจัยที่จำนวนระดับเท่ากัน) ค่าจำนวนระดับที่ระบุจะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการทดลอง เช่น กรณีศึกษา 2 ระดับ (2^k Full Factorial) โดยมีปัจจัย k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะ

เกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณหรือข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ สูง หรือ ต่ำ ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการมี หรือไม่มี ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้ใน 1 เหตุการณ์ที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบไปด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ข้อมูล

7. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ประไพศรี (2551) การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง (Response; Y) หรือลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristics) สนใจศึกษาหรือปรับปรุงของผลิตภัณฑ์ (ผลลัพธ์; Output) จากระบบหรือกระบวนการ ในการวิเคราะห์จะแยกสาเหตุของความแตกต่างออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

7.1 ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้ (Explained Variation) คือ ความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัย (Factor) หรือวิธีปฏิบัติ (Treatment) ที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง บางครั้งอาจถูกเรียกว่าความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

7.2 ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained Variation) คือ ความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการขาดความรู้ หรือความรู้เกี่ยวกับระบบยังไม่มากพอ ซึ่งในบางกรณีอาจเกิดจากกรณีที่ผู้ศึกษาทราบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่สามารถควบคุมได้ในการทดลอง (Noise Factors) ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนกล่าวถึงความแตกต่างในส่วนนี้ในรูปของความผิดพลาดหรือส่วนที่ยังไม่สามารถอธิบายได้ (Error or Residuals) ถ้าผู้ทดลองมีความรู้ความสามารถในการควบคุมการทดลองมากขึ้นความผิดพลาดส่วนนี้ก็จะลดลง

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนระบุในตารางที่ 5 ค่าผลรวมกำลังสองคำนวณจากสูตรท้ายตารางโดยที่ ถ้า $F_o > F_{\alpha, v1, v2}$ หรือ P – value < 0.10 แล้วถือว่าปัจจัยนั้นสำคัญทางสถิติ สามารถปฏิเสธ H_0 ได้

7.3 การตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับปัจจัยที่ต้องการตรวจสอบ แบ่งเป็น 2 กรณีคือ

ก. กรณีทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Factor) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบ คือ

H_0 : ปัจจัยหลักไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยหลักมีผลต่อค่าตอบสนอง

ข. กรณีทดสอบปัจจัยอันตรกิริยา (Test of Interaction Factors) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบ คือ

H_0 : ปัจจัยอันตรกิริยาไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยอันตรกิริยามีผลต่อค่าตอบสนอง

7.4 การทดสอบสมมติฐานโดยการสร้างตาราง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Three – Factor Fixed Effect Model

แหล่งความผันแปร (Source)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	องศาเสรี (d.f.)	ค่าเฉลี่ยผลบวก กำลังสอง (MS)	อัตราส่วน F (F_0)
A	SS_A	$a - 1$	MS_A	MS_A/MS_E
B	SS_B	$b - 1$	MS_B	MS_B/MS_E
C	SS_C	$c - 1$	MS_C	MS_C/MS_E
AB	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	MS_{AB}	MS_{AB}/MS_E
AC	SS_{AC}	$(a - 1)(c - 1)$	MS_{AC}	MS_{AC}/MS_E
BC	SS_{BC}	$(b - 1)(c - 1)$	MS_{BC}	MS_{BC}/MS_E
ABC	SS_{ABC}	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	MS_{ABC}	MS_{ABC}/MS_E
ความคลาดเคลื่อน	SS_E	$abc(n - 1)$	MS_E	
ทั้งหมด	SS_T	$abcn - 1$		

ที่มา: Montgomery (2005)

$$SS_A = \frac{\{abc + ab + ac + a - bc - b - c - (1)\}^2}{2^3 r}$$

$$SS_B = \frac{\{abc + ab - ac - a - bc + b - c - (1)\}^2}{2^3 r}$$

$$SS_C = \frac{\{abc - ab + ac - a + bc - b + c - (1)\}^2}{2^3 r}$$

$$SS_{AB} = \frac{\{abc + ab - ac - a - bc - b + c + (1)\}^2}{2^3 r}$$

$$SS_{AC} = \frac{\{abc - ab + ac - a - bc + b - c + (1)\}^2}{2^3 r}$$

$$SS_{BC} = \frac{\{abc - ab - ac + a + bc - b - c + (1)\}^2}{2^3 r}$$

$$SS_{ABC} = \frac{\{abc - ab - ac + a - bc + b + c - (1)\}^2}{2^3 r}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^r X_{ijkl}^2 - \frac{X_{...}^2}{abcr}$$

** หมายถึง r คือ จำนวนซ้ำของการทดลอง

X คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง

8. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การแยกเอาความแปรผันในค่าสังเกตออกจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นความสัมพันธ์ทางพีชคณิตอย่างเดียวยังไงก็ตามการใช้การแบ่งเพื่อทำการทดสอบอย่างเป็นทางการสำหรับกรณีไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับต้องอิงกับสมมติฐานบางประการ โดยเฉพาะสมมติฐานที่ว่า ค่าสังเกตจะต้องอธิบายได้โดยแบบจำลองนี้

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \dots\dots\dots(2)$$

ความผิดพลาดจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ซึ่งพบว่าความแปรปรวนมีค่าคงตัวแต่ไม่ทราบค่า ถ้าสมมติฐานเหล่านี้เป็นจริง กระบวนการวิเคราะห์

ความแปรปรวนนี้ก็จะเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการไม่มีความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของระดับที่ถูกต้อง

ในทางปฏิบัติสมมติฐานที่กล่าวถึงมักจะไม่เป็นเช่นนี้ ซึ่งเราควรจะเชื่อในผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ก็ต่อเมื่อเราสามารถตรวจสอบ ความถูกต้องของสมมติฐานว่าเป็นจริงเสียก่อน เราสามารถตรวจสอบสมมติฐานขั้นต้น และความถูกต้องของแบบจำลองได้โดยง่ายจากการตรวจสอบความผิดพลาด (Residual) สำหรับค่าสังเกต j ของระดับที่ i ค่าความผิดพลาดจะมีค่าเป็น

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่ $\hat{y}_{ij}$ คือค่าประมาณของค่าสังเกต y_{ij} ซึ่งหาได้จาก

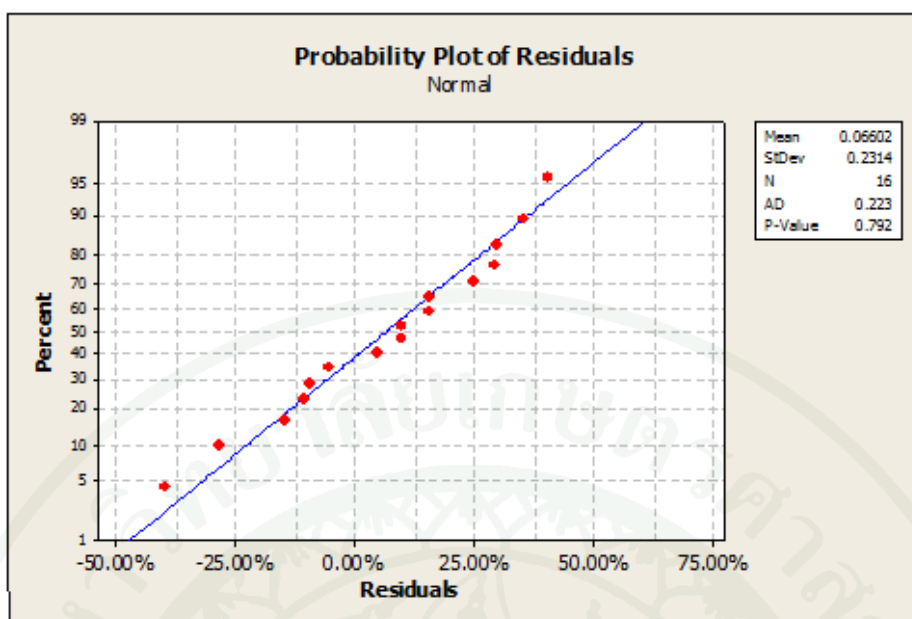
$$\begin{aligned} \hat{y}_{ij} &= \hat{\mu} + \hat{\tau}_i \\ &= \bar{y}_{..} + (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) \\ &= \bar{y}_{i.} \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

สมการด้านบนบอกให้ทราบว่า ค่าประมาณของค่าสังเกตใดๆ ในระดับที่ i ก็คือ ค่าเฉลี่ยของระดับนั้นๆ

การตรวจสอบค่าความผิดพลาดควรทำทุกครั้งในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้าแบบจำลองถูกต้อง ค่าความผิดพลาดจะต้องไม่มีรูปแบบ โดยการศึกษาค่าความผิดพลาดเราจะพบความไม่พอเพียงของสมมติฐานที่ใช้ในแบบจำลองได้หลายรูปแบบ

8.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ

ในการตรวจสอบข้อสมมติฐานการกระจายแบบปกติของข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองสามารถกระทำได้โดยการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าความผิดพลาด ถ้าข้อกำหนดสมมติฐานมีความถูกต้อง การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟดังกล่าวควรมีลักษณะเป็น “เส้นตรง” ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การพล็อตความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายชนิดปกติ

ที่มา: Montgomery (2005)

อาจจะทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยการตั้งสมมติฐานด้วยวิธีการของ Anderson – Darling ดังนี้

H_0 : ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ

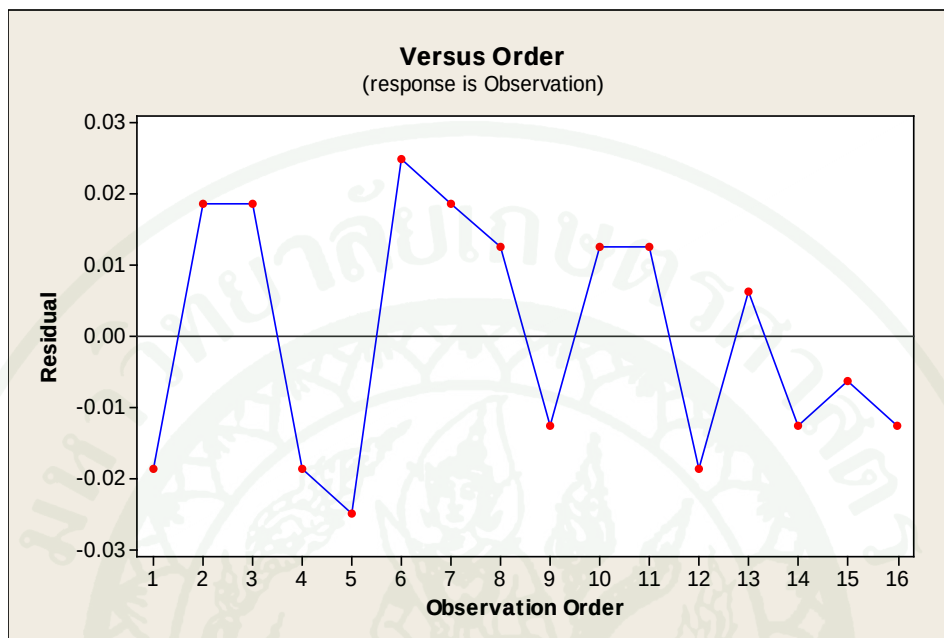
H_1 : ค่าความผิดพลาดไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $P - \text{value} < \alpha$ (โดยทั่วไปความเชื่อมั่นที่ 90%; $\alpha = 0.10$)

8.2 การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับลำดับเวลาที่เก็บข้อมูล

การพล็อตค่าความผิดพลาดตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลมีประโยชน์อย่างมากในการตรวจหาความเกี่ยวพันระหว่างค่าความผิดพลาด แนวโน้มที่จะพบค่ารันของค่าความผิดพลาดที่เป็นบวก ลบ หรือมีวัฏจักร (Cycle) บ่งชี้ว่าสมมติฐานของความเป็นอิสระถูกละเมิดแล้ว ซึ่งถือเป็นปัญหาสำคัญและยากที่จะทำการแก้ไข ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะป้องกันปัญหา ถ้าเป็นไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะเก็บรวบรวมข้อมูล การทดลองแบบสุ่มที่เหมาะสมถือเป็นขั้นตอนที่

สำคัญเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เป็นอิสระ ค่าความผิดพลาดดังกล่าวควรมี “การกระจายแบบสุ่ม” (ไม่มีรูปแบบ) ดังภาพที่ 9

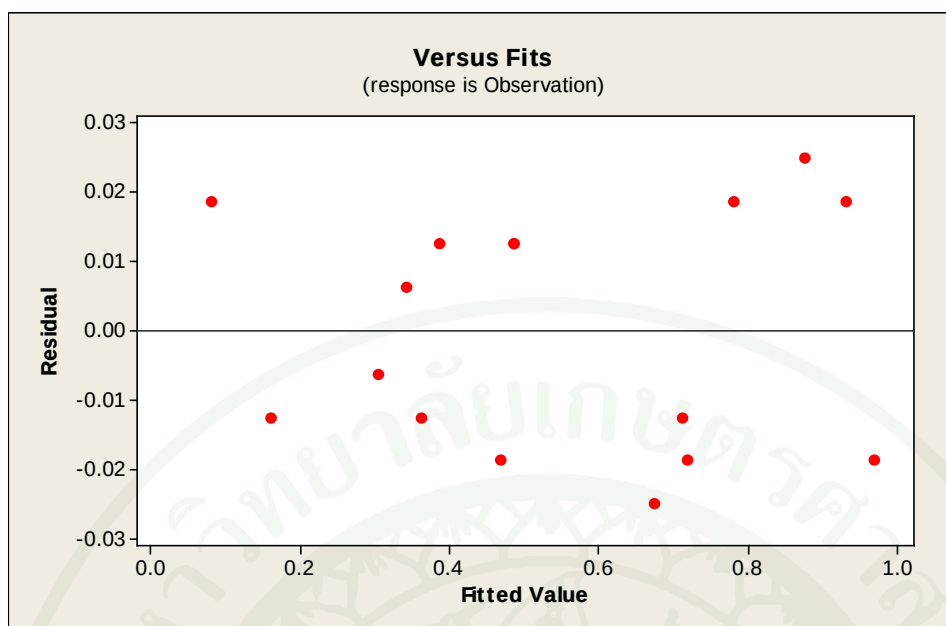


ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดกับลำดับเวลาที่เก็บข้อมูล

ที่มา: Montgomery (2005)

11.3 การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์

การตรวจสอบคือ การพล็อตค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์ $\hat{y}_{ij}$ (Fitted Value) หรือค่าประมาณของค่าสังเกต y_{ij} กราฟที่ได้จากการพล็อตนี้ควรมีแนวโน้มที่มีการกระจายแบบสุ่ม มีค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนของค่าผิดพลาดคงที่ ดังภาพที่ 10 อย่างไรก็ตามหากแนวโน้มของรูปทรงเช่น เป็นลักษณะลำโพงหรือกรวยปลายเปิด หรือปลายปิด แสดงว่าขัดแย้งกับข้อสมมติฐานดังกล่าวคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดไม่คงที่



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์ผลตอบสนอง

ที่มา: Montgomery (2005)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาบันเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โครงการ “การป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวโดยใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อพัฒนาต้นแบบการยืดอายุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสำหรับอุตสาหกรรมส่งออก” ได้ดำเนินการศึกษาวิธีการป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองน้ำหนักประมาณ 300-350 กรัม จากการศึกษา พบว่า การเก็บเกี่ยวผลผลิต อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ควรใช้อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วันหลังดอกบาน หรือประมาณ 80 % ความสุกแก่ และมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 300-350 กรัม การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ในส่วนของการยับยั้งโรค (โรคแอนแทรคโนส และโรคข้าวเน่า) นำผลมะม่วงจุ่มด้วยสารโปรคลอราซความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 5 นาที วัสดุที่ห่อหุ้มใช้ฟองน้ำหนาประมาณ 1 เซนติเมตร หุ้มที่บริเวณขั้วเพื่อรักษาสภาพความสดของขั้วผลมะม่วงและลดการสูญเสีย น้ำ ก่อนที่จะใส่ตาข่ายโพลีให้แกผลมะม่วงเพื่อป้องกันการกระแทกระหว่างการขนส่ง แล้วบรรจุผลมะม่วงลงในกล่องกระดาษลูกฟูกพร้อมกับการใช้ถุงพลาสติก LLDPE เจะรู 20 รู แล้วมัดปากถุงให้ปิดสนิท การขนส่งควรจัดวางเรียงผลมะม่วงในรถห้องเย็นในทันทีหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้รถห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในการขนส่งก่อนเข้าห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส การเก็บรักษาในห้องเย็น โดยนำผลมะม่วงจัดวางเรียงไว้ในห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิที่ 8 องศาเซลเซียส มีความชื้นมากกว่า 85 – 90 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ในระยะเวลา 1-30 วัน ไม่มีการสูญเสียจากการหมัก และอาการสะท้านหนาวและการเกิดโรค ในช่วงวันที่ 31-35 ความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาวเฉลี่ยเท่ากับ 1.4 คะแนน ร้อยละ 73.5 ที่ไม่พบความเสียหายที่เกิดจากอาการสะท้านหนาว ร้อยละ 5 ที่มีระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ผิว ร้อยละ 2.25 มีระดับการเกิดในช่วง 26 – 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ผิว ในขณะที่ร้อยละ 19.25 มีระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ การเกิดโรคของผลมะม่วงมีความรุนแรงเฉลี่ย (Decay index) มีค่าเท่ากับ 1.66 โดยแบ่งระดับความรุนแรงของการเกิดโรคออกเป็น 5 ระดับ ซึ่งมีผลมะม่วงร้อยละ 49.5 ที่ไม่มีการเกิดโรค และมีระดับการเกิดโรคน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ผิว ร้อยละ 41.75 ในขณะที่ระดับการเกิดโรคในช่วง 26 – 50 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ผิวนั้น มีเพียงร้อยละ 1.75 และร้อยละ 4.50 ตามลำดับ โดยผลมะม่วงทั้งหมดไม่พบความเสียหายที่เกิดจากการหมัก

สถาบันเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553) โครงการ “การชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก” งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอการสุกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองสำหรับการส่งออก โดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

ร่วมกับการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำ จากการศึกษาวิจัย พบว่า การชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองทำได้โดยใช้บรรจุภัณฑ์เป็นถุงพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เจาะรู 6 รู (รูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.44 มิลลิเมตร) ปิดปากถุงให้สนิท นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้ 35 วัน โดยไม่แสดงอาการเกิดโรค การดูแลผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส แล้วจุ่มผลมะม่วงด้วยสารกำจัดเชื้อรา อมิตา ที่ความเข้มข้น 500 ส่วนต่อล้านส่วน (ฟิฟิเอ็ม)

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร (2552) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง “การเก็บรักษาผลไม้และผัก” จากการศึกษาวิจัยพบว่า ช่วงอายุที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวมะม่วงเพื่อการส่งออก คือ อายุ 90-100 วัน หลังจากดอกบานเต็มที่ ส่วนตลาดในประเทศควรเก็บเกี่ยว เมื่อผลมีอายุ 110-120 วัน หลังจากดอกบานเต็มที่ อย่างไรก็ตาม อายุเก็บเกี่ยวของมะม่วงอาจจะแตกต่างกันไปบ้างขึ้นกับฤดูกาลและพื้นที่ปลูก ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถเก็บมะม่วงได้ 15-20 วัน โดยไม่เกิดอาการ สะท้อนหนาว การบรรจุมะม่วงเพื่อการส่งออกนิยมเรียงผลมะม่วงในกล่องกระดาษลูกฟูกแบบเรียงชั้นเดียว รองกันกล่องด้วยแผ่นฟองน้ำเพื่อกันกระแทก ส่วนผลมะม่วงจะหุ้มผลด้วยตาข่ายโฟมเพื่อกันการชำ สำหรับประเทศที่มีความเข้มงวดด้านกักกันพืช ระบุว่าอากาศที่กล่องต้องปิดด้วยตาข่ายเพื่อป้องกันแมลง มะม่วงที่บรรจุเรียบร้อยแล้วหากขนส่งทางเรือควรลดอุณหภูมิผลมะม่วงให้เย็นก่อนบรรจุในตู้สินค้า

จากสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ทำการศึกษวิจัย เรื่อง “การพัฒนาเทคนิคกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออก” จากการศึกษาวิจัยพบว่า ทำการศึกษาในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ที่ระยะเก็บเกี่ยว 110 วัน หลังดอกบานเต็มที่ ผ่านการรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 ฟิฟิบี ที่ 20 องศาเซลเซียส นาน 14 ชั่วโมง แล้วบรรจุมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ Active Model 2 และชุดควบคุม (ไม่ใช้บรรจุภัณฑ์) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน แล้วนำมาจุ่ม ในน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที การดูแลผลมะม่วงต้องดูแลตั้งแต่ก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อควบคุมคุณภาพผลผลิต โดยเปลี่ยนระยะเวลาในการนับวัน จากการนับวันหลังดอกบาน (Day After Full Booms: DAFB) มาเป็นนับวันแรกของการเริ่มเป็นผล (Fruit Set) เป็นระยะเวลา 70 – 80 วัน เพื่อควบคุมอายุการสุกแก่ของผลมะม่วง เมื่อผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกแก่ตามระยะที่ต้องการต้องตัดขั้วยาวประมาณ 1 นิ้ว เพื่อป้องกันการไหลของน้ำยาง หลังการเก็บเกี่ยวต้องจุ่มด้วยโปรคลอราซความเข้มข้น 1,000 ฟิฟิเอ็ม นาน 5 นาที แล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาด จึงใส่ตาข่ายโฟมวางเรียงกันไม่เกิน 3 ชั้นในตะกร้าพลาสติก เพื่อป้องกันการกดทับและการกระ

แทรกของผลมะม่วงระหว่างการขนส่ง แล้วขนส่งไปห้องปฏิบัติการโดยรถห้องเย็นที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปรมด้วยสาร 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 พีพีบี ในห้องปิดที่ควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 14 ชั่วโมง ภายหลักรมสาร 1-MCP นำผลมะม่วงบรรจุใส่ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ซึ่งมีหน้าที่ ควบคุมสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยการยอม หรือ สกัด กั้นการแพร่ของก๊าซต่าง ๆ ที่ผ่านเข้า-ออก จากภาชนะบรรจุให้มีความเหมาะสม เพื่อยืดอายุการเก็บ และรักษาคุณภาพของมะม่วง โดยปริมาณของผลมะม่วงที่ใส่ลงไปไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของปริมาตร ทั้งหมดของบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดปัญหาการเกิดการหมัก จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 5 องศาเซลเซียส ทำการเก็บรักษาไว้นาน 35 วัน แล้วนำออกจากห้องเย็นโดยจุ่มด้วยน้ำอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ก่อนนำไปบ่มด้วยเอทธิฟอนความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม จุ่มนาน 5 นาที แล้วเก็บไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน สามารถเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ได้นาน 35 วัน แต่ยังมีการสูญเสีย ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ จากอาการเกิดรอยคล้ำบริเวณผิวผล

นภาพรรณ และ วิชชา (2551) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง“การพัฒนาปรับปรุงรูปแบบบรรจุ กัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อให้เหมาะสมต่อการส่งออกทางเรือ” จากการศึกษาวิจัยพบว่า การพัฒนา และออกแบบบรรจุภัณฑ์มะม่วง โดยเลือกกล่องกระดาษลูกฟูกที่สามารถขึ้นรูปทรงได้โดยไม่ต้อง ใช้กาวหรือที่เย็บกระดาษ รวมทั้งสามารถล็อกแต่ละชั้นไว้ได้ด้วยสลักบนกล่อง มีขนาดที่บรรจุ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองขนาด 300-400 กรัมได้ 9 ลูก และกล่องมีความแข็งแรงพอที่จะรับ น้ำหนักกดทับได้ประมาณ 236 ± 12 กิโลกรัม โดยระยะเก็บเกี่ยวของมะม่วงที่เหมาะสม คือ ผล มะม่วงมีความแก่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของความสุก จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานกว่า ขนาดของผลมะม่วงที่เหมาะสมควรมีน้ำหนักประมาณ 300-350 กรัม การบรรจุมะม่วงแต่ละลูกในถุง LLDPE+3% antifog และ LLDPE ที่เจาะรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร ก่อนนำไปจัดเรียงในกล่องกระดาษ ลูกฟูกที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ซึ่งเป็นกล่องแบบที่สามารถขึ้นรูปได้โดยไม่ต้องใช้กาวหรือที่เย็บกระดาษ ขนาดบรรจุกล่องละ 9 ลูก หรือน้ำหนักประมาณกล่องละ 3 กิโลกรัม การเรียงซ้อนกล่องนี้ประมาณ 7 ชั้นยังสามารถป้องกันผลมะม่วงไม่ให้เกิดความเสียหายจากแรงกดทับได้ ขณะทำการขนส่งควร เก็บรักษากล่องบรรจุมะม่วงนี้ไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ชะลอการสุกของมะม่วงได้นาน 28 วัน และสามารถนำออกมาบ่มให้สุกที่ อุณหภูมิห้อง (31 องศาเซลเซียส) ได้อีกประมาณ 8 วัน โดยมะม่วงสุกยังคงมีคุณภาพสีผิว สีเนื้อ ความแน่นเนื้อ รสชาติและการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ดี

Fisher (1953) คิดค้นการใช้วิธีการทางสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองขึ้น เป็น ผู้พัฒนา และเป็นบุคคลแรกที่น่าเอาการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) มาใช้เป็น

วิธีการเบื้องต้นในการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้ในการด้านการเกษตร ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

Montgomery (2005) ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด จะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ” หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการ สำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทดลองคือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง	จำนวน 224 ลูก
2. มะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์สี่	จำนวน 48 ลูก
3. กรรไกรตัดชำผล	จำนวน 3 อัน
4. กะละมัง	จำนวน 4 ใบ
5. สารโซเดียมไฮโปคลอไรท์	จำนวน 10 กรัม
6. น้ำ	จำนวน 400 ลิตร
7. เทอร์โมมิเตอร์	จำนวน 2 ตัว
8. เครื่องทำน้ำร้อน	จำนวน 3 เครื่อง
9. ภาชนะตวงน้ำ	จำนวน 1 ใบ
10. นาฬิกาจับเวลา	จำนวน 1 เรือน
11. น้ำแข็ง	จำนวน 10 กิโลกรัม
12. สารโปรคลอราซ	จำนวน 1 ลิตร
13. พัดลม	จำนวน 1 เครื่อง
14. ตาชั่งโฟม	จำนวน 224 ชิ้น
15. กล่องลูกฟูก	จำนวน 20 กล่อง
16. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	จำนวน 1 เครื่อง
17. เครื่องพิมพ์เลเซอร์สี	จำนวน 1 เครื่อง
18. โปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์เวิร์ด (Microsoft Word)	จำนวน 1 ชุด
19. โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Minitab	จำนวน 1 ชุด

ข. จากนั้น นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำที่ผสมสารละลายคลอรีนที่มีสารออกฤทธิ์โซเดียมไฮโปคลอไรท์ หรือแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม โดยใช้ผ้านุ่ม หรือฟองน้ำถูที่ผิวเบาๆ เพื่อกำจัดยางมะม่วงที่เกาะบนผิว

ค. นำมาจุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

ง. นำมาจุ่มในน้ำเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

จ. นำมาจุ่มในสารละลายโปรคลอราซ ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 3 นาที

ฉ. นำมาผ่านกระบวนการอบไอน้ำร้อน (Vapour Heat Treatment: VHT) ให้บริเวณกึ่งกลางของผลมะม่วงมีอุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 90 เพื่อป้องกันและกำจัดแมลงวันผลไม้ตามข้อกำหนดของญี่ปุ่น

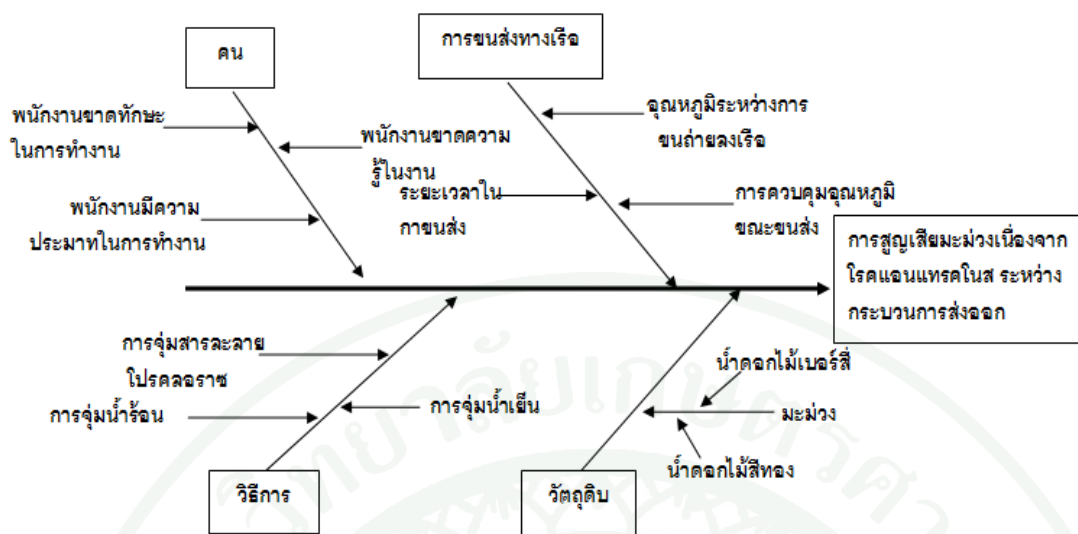
ช. เป่าลม (Air Cooling) จนแห้ง ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

ซ. สวมตาข่ายโฟมและบรรจุลงกล่อง

ณ. ขนส่งไปยังท่าเรือเพื่อส่งไปยังประเทศญี่ปุ่นซึ่งจะเก็บรักษามะม่วงไว้ในตู้คอนเทนเนอร์พิเศษที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเกือบ 10 วัน ในการเดินทางถึงท่าเรือประเทศญี่ปุ่น

1.2 ระบุปัญหาที่จะทำการวิจัย

จากการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น ยังประสบปัญหาการสูญเสียมะม่วงจากโรคแอนแทรกคโนส ประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 15 ของมะม่วงส่งออกทางเรือทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องทำการพิจารณาถึงสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดโรคแอนแทรกคโนสในมะม่วงระหว่างการส่งออกมีจำนวนลดลง ซึ่งสาเหตุของปัญหาสามารถแยกพิจารณาได้จากฝั่งแสดงเหตุและผล ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนผังเหตุและผลจากสาเหตุของปัญหาการเกิดโรคแอนแทรกโนสในมะม่วง ระหว่างการส่งออก

2. กำหนดตัวแปรหรือปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

2.1 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เป็นตัวแปรที่สนใจที่ทำการศึกษา ซึ่งในที่นี้คือ สัดส่วนมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรกโนสระหว่างการส่งออก

2.2 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Control Factors) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าของตัวแปรตอบสนอง ซึ่งได้มาจากการศึกษาของผู้วิจัย และการระดมความคิดของผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือ ในงานวิจัยนี้มีปัจจัยที่ทำการศึกษา 6 ปัจจัยคือ

2.2.1 X_1 คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1 มีหน่วยคือ องศาเซลเซียส แทนด้วยปัจจัย A

2.2.2 X_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ มีหน่วยคือ พีพีเอ็ม แทนด้วยปัจจัย B

2.2.3 X_3 คือ สายพันธุ์ของมะม่วง แทนด้วยปัจจัย C

2.2.4 X_4 คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2 มีหน่วยคือ องศาเซลเซียส แทนด้วยปัจจัย D

2.2.5 X_5 คือ ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ มีหน่วยคือ ชั่วโมง แทนด้วยปัจจัย E

2.2.6 X_6 คือ ระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน มีหน่วยคือ ชั่วโมง แทนด้วยปัจจัย F

สาเหตุที่นำปัจจัยดังกล่าวมาทำการศึกษาและกำหนดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ เนื่องจากโรคแอนแทรกโอสที่เกิดกับมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวมีวิธีการที่สามารถควบคุมการเกิดโรคดังกล่าวได้ และยังไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น จึงต้องทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือมีส่วนการเกิดโรคแอนแทรกโอสในมะม่วงระหว่างการขนส่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการส่งออกในปัจจุบัน

3. การออกแบบการทดลอง

3.1 ในขั้นตอนนี้เป็นการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกโอสในมะม่วงระหว่างการส่งออกทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น โดยมีปัจจัยในการทดลอง ดังนี้ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1 (A) ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ (B) สายพันธุ์ของมะม่วง (C) อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2 (D) ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (E) และระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน (F) ซึ่งมีจำนวนปัจจัยในการทดลองทั้งหมดมากถึง 6 ปัจจัย และจำนวนมะม่วงที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนจำกัด จึงจำเป็นต้องแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง เพื่อให้ง่ายต่อการทดลองและการวิเคราะห์ผล จึงใช้การทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) ทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง ในการกรองหาปัจจัยที่มีผล เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้าง (ถ้ามี) เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 9 เปอร์เซ็นต์)

สาเหตุที่งานวิจัยนี้เลือกใช้การทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ และแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม เนื่องจากข้อจำกัดทางการทดลอง คือ

ก. ระยะเวลาในการทดลอง เนื่องจากการทดลองจะจำลองสถานการณ์ทั้งแต่กระบวนการเก็บรวบรวมมะม่วงจนถึงการส่งออกทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจะใช้เวลาในการทดลองทั้งหมด 1 วัน

ข. จำนวนมะม่วง เนื่องจากช่วงที่ทำการทดลองนั้นเป็นช่วงที่มีมะม่วงนอกฤดูดูแล เพราะฉะนั้นมะม่วงในช่วงนี้จะมีปริมาณน้อย และค่อนข้างราคาแพง

ค. สถานที่ ที่ใช้สำหรับการทดลอง เนื่องจากจะใช้ห้องทดลองของสถาบันศูนย์วิจัยควบคุมโรคพืช ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่มีขนาดจำกัด เช่น ขนาดของตู้อบมะม่วง ใน 1 ตู้ จะสามารถอบมะม่วงได้เพียง ครั้งละ 80 ลูก ซึ่งจะมีตู้อบอยู่ 2 ตู้ เพราะฉะนั้นจะอบมะม่วงได้วันละ 160 ลูก เท่านั้น ซึ่งบางวันตู้อบก็ไม่สามารถใช้ได้ทั้ง 2 ตู้ เนื่องจากทางสถาบันศูนย์วิจัยควบคุมโรคพืชต้องใช้ตู้อบในการทดลอง

ซึ่งถ้าใช้การทดลองแบบอื่น เช่น 3^k แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ผลการทดลองที่ได้อาจจะได้ผลที่มีความละเอียดกว่าแบบ 2^k แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ เนื่องจากวิธี 3^k แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ มีจำนวนการทดลองที่มากกว่า และด้วยข้อจำกัดทางการทดลองที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้การทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อจำกัดในการทดลองครั้งนี้

3.1.1 การทดลองกลุ่มที่ 1

ทำการทดลอง 3 ปัจจัยแรก คือ

- อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 1 (A)
- ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ (B)
- สายพันธุ์ของมะม่วง (C)

โดยทำการทดลอง แบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ในการกรองหาปัจจัยที่มีผล เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 90เปอร์เซ็นต์) โดยแบ่งปัจจัยเป็นปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำและสูง ซึ่งใช้มะม่วงในการทดลอง 6 ลูกต่อการ

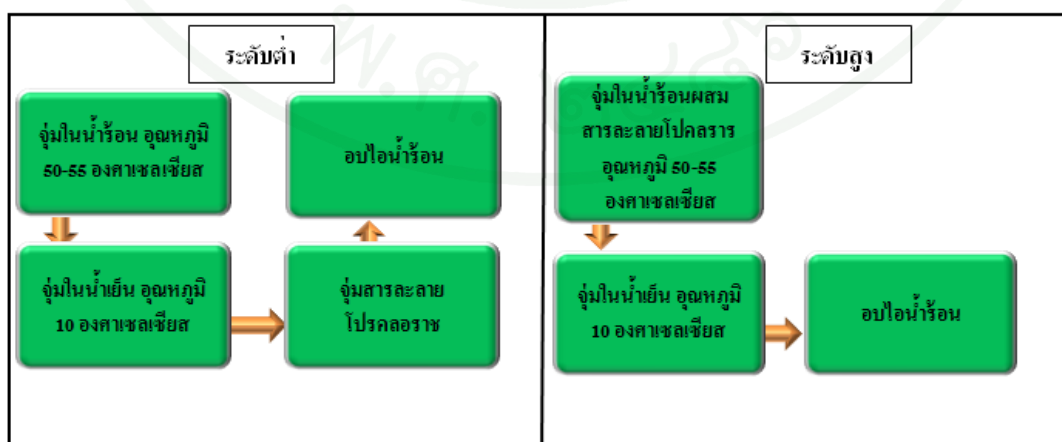
ทดลอง แต่ละการทดลองมีการทำซ้ำ 2 ครั้ง ดังนั้นจึงทำการทดลองทั้งหมด 16 การทดลองและใช้มะม่วงทั้งหมด 96 ลูก ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในแผนการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 1

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย		ระดับปัจจุบัน
		ต่ำ	สูง	
A	องศาเซลเซียส	25	53	25
B	พีพีเอ็ม	250	500	250
C	-	น้ำดอกไม้อีสทอง	น้ำดอกไม้อีสเบอร์รี่	ส่งออกทั้งสองสายพันธุ์

งานวิจัยนี้ได้แบ่งปัจจัยเป็นปัจจัยสองระดับ คือ ระดับต่ำและระดับสูง โดยสาเหตุที่แบ่งปัจจัยเป็นระดับตามที่ปรากฏในตารางที่ 6 คือ

ก. ปัจจัย A เปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ ที่ระดับต่ำ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการผสมสารละลายโปรคลอราซในน้ำที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อทำการจุ่มภายหลังขั้นตอนการจุ่มมะม่วงในน้ำเย็นซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบัน และที่ระดับสูง 53 องศาเซลเซียส โดยทำการผสมสารละลายโปรคลอราซในน้ำที่มีอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการจุ่มมะม่วงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบการละลายสารโปรคลอราซน้ำที่มีอุณหภูมิ 25 และ 53 องศาเซลเซียส

ข. ปัจจัย B ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ ที่ระดับต่ำ 250 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และที่ระดับสูง 500 พีพีเอ็ม เพื่อต้องการทราบว่าความเข้มข้นของสารโปรคลอราซที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงหรือไม่

ค. ปัจจัย C สายพันธุ์ของมะม่วง ที่ระดับต่ำ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง และที่ระดับสูงน้ำดอกไม้เบอร์สี่ เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่ส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่น และเป็นสายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการเกิดโรคแอนแทรกโนสมากที่สุด เนื่องจากผลมะม่วงมีเปลือกบาง

การคำนวณจำนวนมะม่วงที่ต้องใช้ในการทดลอง แบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ได้จากการคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นตรง โดยกำหนดให้ $R^2 = 0.13$, power 0.90, $\alpha = 0.05$ ตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร เปิดตาราง ข1 ในภาคผนวก เพื่อหาค่าอำนาจการทดสอบ (λ) โดยให้ค่าเริ่มต้น $v = 120$ ได้ $\lambda = 14.5$ ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$N = \frac{\lambda(1 - R^2)}{R^2}$$

$$N = \frac{14.5(1 - 0.13)}{0.13}$$

$$N = 97$$

ผลลัพธ์ที่ได้ คือ จำนวนมะม่วงที่ต้องใช้ในการทดลองทั้งหมด 97 ลูก เนื่องจากการทดลองมีทั้งหมด 16 การทดลอง จึงใช้มะม่วงในการทดลอง 6 ลูกต่อการทดลอง ดังนั้นจึงใช้มะม่วงสำหรับการทดลองทั้งหมด 96 ลูก ดังแสดงแผนการทดลองกลุ่มที่ 1 ในตารางที่ 7

ขั้นตอนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นในส่วนของขั้นตอนที่ไม่ได้นำมาเป็นปัจจัยในการทดลอง ก็ยังคงปฏิบัติตามขั้นตอนการส่งออกมะม่วงทางเรือในปัจจุบัน

ตารางที่ 7 แสดงแผนการทดลองกลุ่มที่ 1

ลำดับการทดลอง	ปัจจัย		
	A (องศาเซลเซียส)	B (พีพีเอ็ม)	C
1	53	500	น้ำดอกไม้เบอร์ลี
2	25	500	น้ำดอกไม้เบอร์ลี
3	25	250	น้ำดอกไม้สีทอง
4	53	500	น้ำดอกไม้สีทอง
5	25	500	น้ำดอกไม้เบอร์ลี
6	25	250	น้ำดอกไม้เบอร์ลี
7	53	250	น้ำดอกไม้สีทอง
8	53	250	น้ำดอกไม้เบอร์ลี
9	25	250	น้ำดอกไม้สีทอง
10	53	220	น้ำดอกไม้สีทอง
11	53	500	น้ำดอกไม้สีทอง
12	25	250	น้ำดอกไม้เบอร์ลี
13	25	500	น้ำดอกไม้สีทอง
14	25	500	น้ำดอกไม้สีทอง
15	53	500	น้ำดอกไม้เบอร์ลี
16	53	250	น้ำดอกไม้เบอร์ลี

3.1.2 ทำการทดลอง โดยการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการระหว่างการเก็บรวบรวมมะม่วงจนถึงการส่งออก ตามแผนการทดลองที่ได้วางแผนไว้

3.1.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 1

3.1.4 การทดลองกลุ่มที่ 2

ทำการทดลองอีก 3 ปัจจัยที่เหลือ คือ

- อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซแบบที่ 2 (D)
- ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (E)
- ระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน (F)

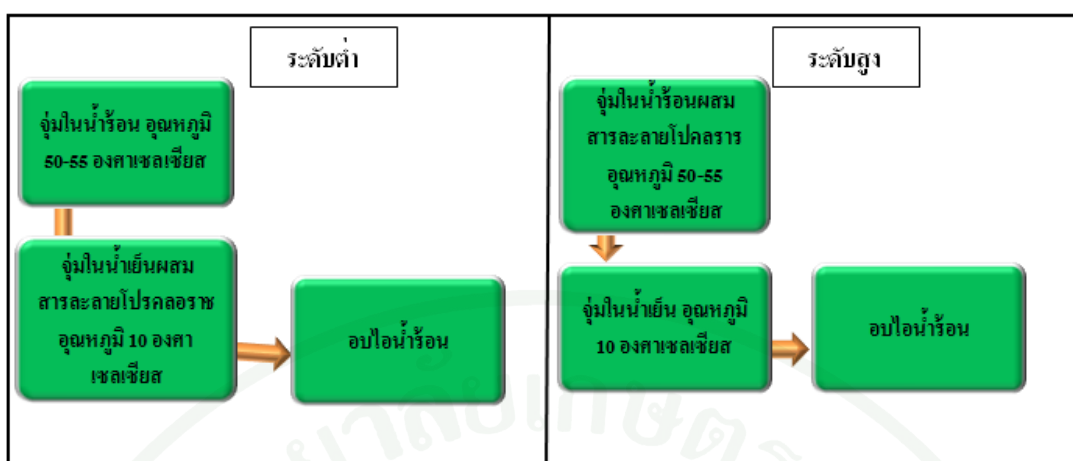
โดยทำการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ในการกรองหาปัจจัยที่มีผล เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้าง (ถ้ามี) เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซ็นต์) โดยแบ่งปัจจัยเป็นปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำและสูง ซึ่งใช้มะม่วงในการทดลอง 6 ลูกต่อการทดลอง แต่แต่ละการทดลองมีการทำซ้ำ 2 ครั้ง ดังนั้นจะทำการทดลองทั้งหมด 16 การทดลองและใช้มะม่วงทั้งหมด 96 ลูก ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในแผนการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย		ระดับปัจจุบัน
		ต่ำ	สูง	
D	องศาเซลเซียส	10	53	27
E	ชั่วโมง	16	40	ยังไม่มีเวลานั่นนอน
F	ชั่วโมง	1	20	ยังไม่มีเวลานั่นนอน

งานวิจัยนี้ได้แบ่งปัจจัยสองระดับ คือ ระดับต่ำและระดับสูง โดยสาเหตุที่แบ่งปัจจัยเป็นระดับตามที่ปรากฏในตารางที่ 8 ดังนี้

ก. ปัจจัย D เปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ ที่ระดับต่ำ 10 องศาเซลเซียส โดยทำการผสมสารละลายโปรคลอราซในน้ำที่มีอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการจุ่มมะม่วงในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และที่ระดับสูง 53 องศาเซลเซียส โดยทำการผสมสารละลายโปรคลอราซในน้ำที่มีอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการจุ่มมะม่วงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบการละลายสารโปรคลอราซน้ำที่มีอุณหภูมิ 10 และ 53 องศาเซลเซียส

ข. ปัจจัย E ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ ที่ระดับต่ำ 16 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากผู้วิจัยไปรับมะม่วงที่สวนในเวลา 16.00 น. เพื่อให้ง่ายต่อการทดลองจึง กำหนดให้จุ่มสารละลายโปรคลอราซในเวลา 08.00 น. ของวันถัดมา โดยเริ่มนับจากเวลาที่เก็บ มะม่วงจากสวนไปจนถึงทำการจุ่มมะม่วงในสารละลายโปรคลอราซ เป็นเวลาทั้งหมด 16 ชั่วโมง และที่ระดับสูง 40 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยว คือ กำหนดให้จุ่มสารละลายโปรคลอราซในเวลา 08.00 น. ของวันที่ 2 หลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง

ค. ปัจจัย F ระยะเวลาหลังการจุ่มสารละลายโปรคลอราซไปจนถึงระยะเวลา ก่อนการอบไอน้ำร้อน ที่ระดับต่ำ 1 ชั่วโมง และที่ระดับสูง 20 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลา หลังจากการจุ่มมะม่วงในสารละลายโปรคลอราซแล้ว 1 ชั่วโมง ถัดมาถึงนำมาอบไอน้ำร้อน กับ ระยะเวลาหลังการจุ่มมะม่วงในสารละลายโปรคลอราซแล้ว 20 ชั่วโมง ถัดมาถึงนำมาอบไอน้ำร้อน

ขั้นตอนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นในส่วนของขั้นตอนที่ไม่ได้ นำมาเป็นปัจจัยในการทดลอง ก็ยังคงปฏิบัติตามขั้นตอนการส่งออกมะม่วงทางเรือในปัจจุบัน

ตารางที่ 9 แสดงแผนการทดลองกลุ่มที่ 2

ลำดับการทดลอง	ปัจจัย		
	D (องศาเซลเซียส)	E (ชั่วโมง)	F (ชั่วโมง)
1	10	16	1
2	10	40	20
3	53	40	1
4	10	16	20
5	53	16	1
6	53	40	20
7	53	40	1
8	53	16	20
9	53	16	1
10	10	16	20
11	10	40	1
12	10	16	1
13	53	40	20
14	10	40	20
15	10	16	1
16	53	40	20

3.2 ทำการทดลอง โดยการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการระหว่างการเก็บรวบรวมมะม่วงจนถึงการส่งออก ตามแผนการทดลองที่ได้วางแผนไว้

3.3 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อเป็นการยืนยันว่าข้อมูลที่เก็บมาได้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ และสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ได้จริง

3.4 ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงระหว่างการส่งออกทางเรือ

3.5 นำปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงระหว่างการส่งออกทางเรือมาสร้างกราฟแสดงอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วมของปัจจัย เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือ

4. ยืนยันการวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป ที่ได้จากทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง ไปทำการทดลองยืนยันการวิเคราะห์ข้อมูลโดยจำลองสถานการณ์ การส่งมะม่วงไปประเทศญี่ปุ่นเสมือนจริง ซึ่งจะใช้มะม่วงจำนวน 80 ลูก จากนั้นทำการคำนวณค่าสถิติ เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการสรุปผลนี้ สามารถนำไปใช้กับกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นได้จริงเพื่อให้จำนวนมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรกซ์ระหว่างการส่งออกมีปริมาณลดลง

5. สรุปผลการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการยืนยันผลและคำนวณค่าทางสถิติต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นในปัจจุบันกับผลที่ได้จากการทดลอง

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลการทดลองแฟลทอเรียลเต็มรูปกลุ่มที่ 1 ผลการทดลองแฟลทอเรียลเต็มรูปกลุ่มที่ 2 และผลการทดลองเพื่อยืนยันผล

1. ผลการทดลองแฟลทอเรียลเต็มรูปกลุ่มที่ 1

ผลการทดลองแบบ 2³ แฟลทอเรียลเต็มรูปสำหรับปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัยแรก คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ (ปัจจัย A) ความเข้มข้นของสารโปรคลอราซ (ปัจจัย B) และ สายพันธุ์ของมะม่วง (ปัจจัย C) โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งมีการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยใช้มะม่วง ในการทดลอง 6 ลูกต่อการทดลอง ดังนั้นจึงใช้มะม่วงทั้งหมด 96 ลูก ศึกษาว่าปัจจัยดังกล่าว มีผลต่อจำนวนมะม่วงที่เสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรคโนสหรือไม่ โดยแบ่งปัจจัยเป็นปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำและระดับสูง ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพตัวอย่างมะม่วงที่ได้จากการทดลอง แสดงดังภาพที่ 15 - 18

ตารางที่ 10 ผลการทดลองแฟลทอเรียลเต็มรูปกลุ่มที่ 1

ลำดับการทดลอง	ปัจจัย			สัดส่วนมะม่วงเสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรคโนส (ลูก)
	A (องศาเซลเซียส)	B (พีพีเอ็ม)	C	
1	53	500	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	0.5000
2	25	500	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	0.1667
3	25	250	น้ำดอกไม้สีทอง	0.6667
4	53	500	น้ำดอกไม้สีทอง	0.1667
5	25	500	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	0.5000
6	25	250	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	0.6667
7	53	250	น้ำดอกไม้สีทอง	0.1667
8	53	250	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	0.1667
9	25	250	น้ำดอกไม้สีทอง	0.8333

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ปัจจัย			สัดส่วนมะม่วงเสียเนื่องจากโรคแอนแทรกคโนส (ลูก)
	A (องศาเซลเซียส)	B (พีพีเอ็ม)	C	
10	53	250	น้ำดอกไม้อีสทอง	0.0000
11	53	500	น้ำดอกไม้อีสทอง	0.0000
12	25	250	น้ำดอกไม้อีสเบอร์รี่	0.6667
13	25	500	น้ำดอกไม้อีสทอง	0.0000
14	25	500	น้ำดอกไม้อีสทอง	0.5000
15	53	500	น้ำดอกไม้อีสเบอร์รี่	0.3333
16	53	250	น้ำดอกไม้อีสเบอร์รี่	0.5000

มะม่วงน้ำดอกไม้อีสทอง



มะม่วงน้ำดอกไม้อีสเบอร์รี่



ภาพที่ 15 การจุ่มมะม่วงในน้ำผสมสารละลายโปรคโตรราชที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ณ อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

มะม่วงน้ำดอกไม้สีเบอร์ลี



ภาพที่ 16 การจุ่มมะม่วงในน้ำผสมสารละลายโปรคลอราซที่ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม ณ อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

มะม่วงน้ำดอกไม้สีเบอร์ลี



ภาพที่ 17 การจุ่มมะม่วงในน้ำผสมสารละลายโปรคลอราซที่ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

มะม่วงน้ำดอกไม้สีเบอร์ลี



ภาพที่ 18 การจุ่มมะม่วงในน้ำผสมสารละลายโปรคลอราซที่ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

2.1 การกำหนดรูปแบบสมการและสมมติฐานการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบผู้วิจัยได้กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 90% ($\alpha = 0.10$) กำหนดรูปแบบและตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับปัจจัยที่ต้องการทดสอบ ดังนี้

2.1.1 การกำหนดรูปแบบสมการ (Model)

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} คือ ผลตอบสนองของการทดลองปัจจัย A ที่ระดับ i ปัจจัย B ที่ระดับ j ปัจจัย C ที่ระดับ k

μ คือ ผลเฉลี่ยรวม (Grand Mean)

τ_i คือ ผลกระทบของปัจจัย A ที่ระดับ i

β_j คือ ผลกระทบของปัจจัย B ที่ระดับ j

γ_k คือ ผลกระทบของปัจจัย C ที่ระดับ k

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ ผลกระทบร่วมของปัจจัย A ที่ระดับ i และปัจจัย B ที่ระดับ j

$(\tau\gamma)_{ik}$ คือ ผลกระทบร่วมของปัจจัย A ที่ระดับ i และปัจจัย C ที่ระดับ k

$(\beta\gamma)_{jk}$ คือ ผลกระทบร่วมของปัจจัย B ที่ระดับ j และปัจจัย C ที่ระดับ k

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ คือ ผลกระทบร่วมของปัจจัย A ที่ระดับ i และปัจจัย B ที่ระดับ j และปัจจัย C ที่ระดับ k

ε_{ijkl} คือ ค่าผิดพลาดของการทดลอง

โดยที่ $i=1, 2 \quad j=1, 2 \quad k=1, 2 \quad l=1, 2$

2.1.2 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (Test of Main Factors) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบคือ

H_0 : ปัจจัยหลักไม่มีผลต่อผลตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยหลักมีผลต่อผลตอบสนอง

โดยปฏิเสธ H_0 เมื่อ ค่า P-value ≤ 0.10

2.1.3 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม (Test of Interaction Factors) รูปทั่วไป
ของสมมติฐานที่ทดสอบคือ

H_0 : ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อผลตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยร่วมมีผลต่อผลตอบสนอง

โดยปฏิเสธ H_0 เมื่อ ค่า P-value ≤ 0.10

2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

จากผลการดำเนินการทดลองโดยใช้แผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบแสดงดังตารางที่ 9 และให้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบแสดงได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ

พจน์ (Term)	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)	ค่าผิดพลาดมาตรฐานของ สัมประสิทธิ์ (SE Coefficient)	ค่า T-Test	ค่า P-value
Constant	2.1875	0.2864	7.64	0.000
A	-0.5625	0.2864	-1.96	0.085
B	-0.5625	0.2864	-2.84	0.022
C	0.4375	0.2864	1.53	0.165
A*B	0.6875	0.2864	2.40	0.043
A*C	0.1875	0.2864	0.63	0.531
B*C	0.4375	0.2864	1.53	0.165
A*B*C	-0.0625	0.2864	0.22	0.833
S = 1.14564	$R^2 = 71.57\%$	$R^2(\text{adj.}) = 46.70\%$		

จากตารางที่ 11 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนมะม่วงที่เสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรคโนส ซึ่งมีค่า P - value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.10 คือ อิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยระหว่าง อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ และความเข้มข้นของสารโปรคลอราซ (A*B) เนื่องจาก อันตรกิริยาของปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อจำนวนมะม่วงที่เสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรคโนส จึงไม่ พิจารณาอิทธิพลปัจจัยหลักของอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซและความเข้มข้นของสาร โปรคลอราซ

เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ (A) และความเข้มข้นของสารโปรคลอราซ (B) จึงทำการพิจารณากาฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างกับ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซและความเข้มข้นของสารโปรคลอราซ (A*B) ดังภาพที่ 19 พบว่า ควรกำหนดระดับของอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ ไว้ที่ 53 องศาเซลเซียส และ ระดับความเข้มข้นของสารโปรคลอราซไว้ที่ 250 พีพีเอ็ม จะทำให้มีจำนวนมะม่วงเสียหายเนื่องจากโรค แอนแทรคโนสมีน้อยที่สุด



ภาพที่ 19 กราฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซและความเข้มข้นของสารโปรคลอราซ

จากการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลของตัวแปรตอบสนองสามารถสรุปผลการวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 ได้ดังนี้ ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของปริมาณมะม่วงเสี้ยนเนื่องจากโรคแอนแทรกโนส ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ 53 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารโปรคลอราซ 250 พีพีเอ็ม ซึ่งระดับของปัจจัยที่กล่าวข้างต้นนี้จะทำให้มะม่วงเสี้ยนเนื่องจากโรคแอนแทรกโนสมีปริมาณน้อยที่สุด สำหรับสายพันธุ์มะม่วงคือน้ำดอกไม้สีทองและมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์สี่ไม่ส่งผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกโนสระหว่างการส่งออกมะม่วงทางเรือ เพราะฉะนั้นการส่งออกมะม่วงทางเรือจะเป็นสายพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองหรือน้ำดอกไม้เบอร์สี่ก็สามารถส่งออกได้เหมือนกัน

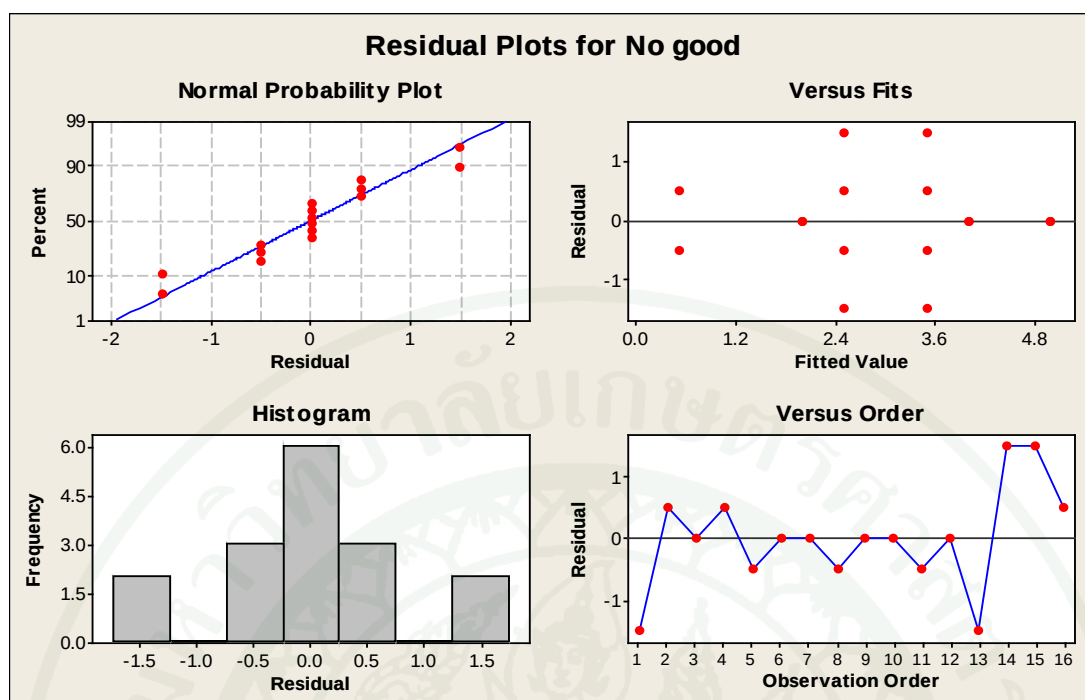
2.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป

ทำการตรวจสอบข้อสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง 2³ แฟกทอเรียลเต็มรูป เพื่อให้มั่นใจว่าผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำไปใช้ได้ จึงพิจารณา แผนภาพการกระจายของความคลาดเคลื่อน (Residual Plots) ดังภาพที่ 20 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก. การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติพบว่า กราฟ Normal Probability Plot มีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

ข. การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์พบว่า กราฟ Residual Versus Fits มีค่าความผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

ค. การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับลำดับเวลาที่เก็บข้อมูลพบว่า กราฟ Residual Versus Order มีค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบสุ่มหรือไม่มีรูปแบบ



ภาพที่ 20 แผนภาพการกระจายของความคลาดเคลื่อนจากแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน กลุ่มที่ 1

พจน์ (Term)	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)
Constant	11.8839
A	-0.0198214
B	- 0.205357
C	-1.86607
A*B	0.000392857
A*C	0.0446429
B*C	0.00289286
A*B*C	-3.57143E-05

จากตารางที่ 11 ทำการตัดพจน์ที่ไม่มีนัยสำคัญออก ซึ่งได้แก่ C, A*C, BC และ A*B*C จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้สมการถดถอยดังนี้

$$Y = 11.8839 - 0.0198214A - 0.205357B + 0.000392857AB$$

3. ผลการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 2

ผลการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัยที่เหลือ คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ (ปัจจัย D) ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (ปัจจัย E) และ ระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน (ปัจจัย F) โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งมีการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยใช้มะม่วง ในการทดลอง 6 ลูกต่อการทดลอง ดังนั้นจึงใช้มะม่วงทั้งหมด 96 ลูก และศึกษาว่าปัจจัยดังกล่าว มีผลต่อจำนวนมะม่วงที่เสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรกโนสหรือไม่ โดยแบ่งปัจจัยเป็นปัจจัยละ 2 ระดับคือระดับต่ำและระดับสูง ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 13 และภาพตัวอย่างมะม่วงที่ได้จากการทดลอง แสดงดังภาพที่ 21

ตารางที่ 13 ผลการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 2

ลำดับการทดลอง	ปัจจัย D (องศาเซลเซียส)	ปัจจัย E (ชั่วโมง)	ปัจจัย F (ชั่วโมง)	สัดส่วนมะม่วงเสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรกโนส (ลูก)
1	10	16	1	0.6667
2	10	40	20	0.5000
3	53	40	1	0.5000
4	10	16	20	0.5000
5	53	16	1	0.0000
6	53	40	20	0.6667
7	53	40	1	0.3333
8	53	16	20	0.1667
9	53	16	1	0.1667
10	10	16	20	0.5000

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลำดับการ ทดลอง	ปัจจัย			สัดส่วนมะม่วงเสียเนื่องจาก โรคแอนแทรคโนส (ลูก)
	D (องศาเซลเซียส)	E (ชั่วโมง)	F (ชั่วโมง)	
11	10	40	1	0.6667
12	10	40	1	0.1667
13	53	40	20	0.5000
14	10	40	20	0.6667
15	10	16	1	0.8333
16	53	16	20	0.3333



การจุ่มมะม่วงในน้ำผสมสารโปรคลอราซที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส โดยจุ่มภายในระยะเวลา 16 ชม. หลังการเก็บเกี่ยว



การจุ่มมะม่วงในน้ำผสมสารโปรคลอราซที่มีอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยจุ่มภายในระยะเวลา 40 ชม. หลังการเก็บเกี่ยว

ภาพที่ 21 แสดงตัวอย่างผลการทดลองที่ได้จากการทดลองกลุ่มที่ 2

3.1 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (Test of Main Factors) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบคือ

H_0 : ปัจจัยหลักไม่มีผลต่อผลตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยหลักมีผลต่อผลตอบสนอง

โดยปฏิเสธ H_0 เมื่อ ค่า $P\text{-value} \leq 0.10$

3.2 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม (Test of Interaction Factors) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบคือ

H_0 : ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อผลตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยร่วมมีผลต่อผลตอบสนอง

โดยปฏิเสธ H_0 เมื่อ ค่า $P\text{-value} \leq 0.10$

2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

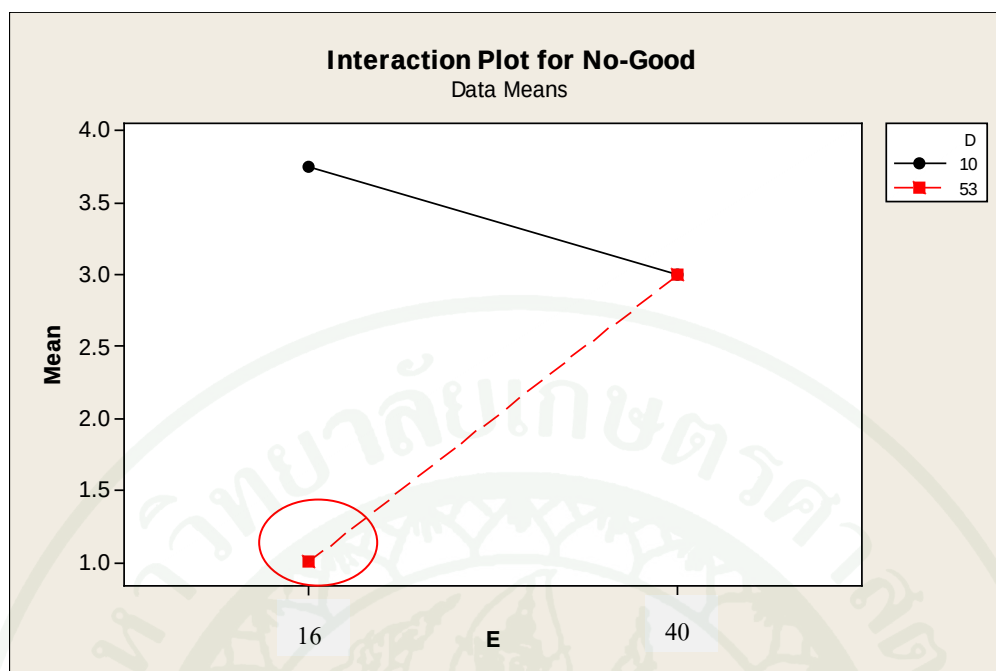
จากผลการดำเนินการทดลองโดยใช้แผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็ม และให้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป แสดงได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแผนการทดลอง 2³ แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบกลุ่มที่ 2

พจน์ (Term)	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)	ค่าผิดพลาดมาตรฐานของ สัมประสิทธิ์ (SE Coefficient)	ค่า T-Test	ค่า P-value
Constant	2.6875	0.2421	11.11	0.000
D	-0.6875	0.2421	-2.84	0.022
E	0.3125	0.2421	1.29	0.233
F	0.1875	0.2421	0.77	0.461
D*E	0.6875	0.2421	2.84	0.022
D*F	0.3125	0.2421	1.29	0.233
E*F	0.3125	0.2421	1.29	0.233
D*E*F	-0.6250	0.2421	-1.29	0.233
S = 0.968246	R ² = 74.52%	R ² (adj.) = 52.23%		

จากตารางที่ 14 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนมะม่วงที่เสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรกคโนส ซึ่งมีค่า P – value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.10 คือ อิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย ระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซและระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (A*B) เนื่องจากอันตรกิริยาของปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อจำนวนมะม่วงที่เสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรกคโนส จึงไม่พิจารณาอิทธิพลปัจจัยหลักของอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซและระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ

เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ (D) และระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (E) จึงทำการพิจารณารูปอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซและระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (D*E) ดังภาพที่ 22 พบว่า ควรกำหนดระดับของอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ ไว้ที่ 53 องศาเซลเซียส และระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ ควรจุ่มภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง จะทำให้มีจำนวนมะม่วงเสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรกคโนสน้อยที่สุด



ภาพที่ 22 กราฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ และระยะเวลา ก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ

จากการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลของตัวแปรตอบสนองสามารถสรุปผลการวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 ได้ดังนี้ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของปริมาณมะม่วงเสียบเนื่องจากโรคแอนแทรกโนส ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ ที่อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส และระยะเวลาก่อนการจุ่มสารโปรคลอราซ ควรจุ่มภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง ซึ่งระดับของปัจจัยที่กล่าวข้างต้นนี้ จะทำให้มะม่วงเสียบเนื่องจากโรคแอนแทรกโนสมีปริมาณลดลง สำหรับระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อนนั้นไม่มีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงระหว่างการส่งออก ดังนั้นเมื่อถึงฤดูมะม่วงที่จะมีมะม่วงส่งออกจำนวนมาก หลังการเก็บเกี่ยวก็ควรที่จะจุ่มสารละลายโปรคลอราซไว้ก่อน หากไม่สามารถอบไอน้ำร้อนได้ในวันเดียวกันนั้น ก็สามารถเก็บไว้อบไอน้ำร้อนในวันถัดไปได้ เนื่องจากการอบไอน้ำร้อนไม่ส่งผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกโนส

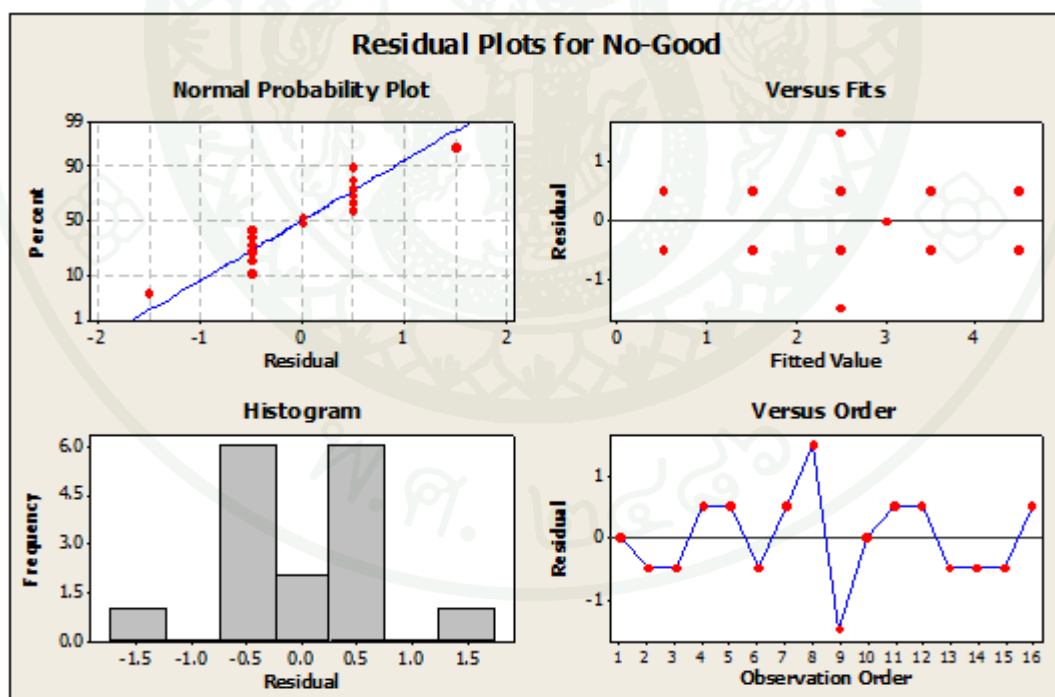
3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

ทำการตรวจสอบข้อสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เพื่อให้มั่นใจว่าผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำไปใช้ได้จากการพิจารณา แผนภาพการกระจายของความคลาดเคลื่อน (Residual Plots) ดังภาพที่ 23 พบว่า

ก. การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติพบว่า กราฟ Normal Probability Plot มีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

ข. การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์พบว่า กราฟ Residual Versus Fits มีค่าความผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

ค. การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับลำดับเวลาที่เก็บข้อมูลพบว่า กราฟ Residual Versus Order มีค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบสุ่มหรือไม่มีรูปแบบ



ภาพที่ 23 แผนภาพการกระจายของความคลาดเคลื่อนจากแผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนกลุ่มที่ 2

พจน์ (Term)	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)
Constant	8.63219
D	-0.192166
E	-3.09241
F	-0.271726
D*E	0.0960832
D*F	0.00611995
E*F	0.162179
D*E*F	-0.00305998

จากตารางที่ 15 ทำการตัดพจน์ที่ไม่มีนัยสำคัญออก ซึ่งได้แก่ F, D*F, E*F และ A*B*C จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้สมการถดถอยดังนี้

$$Y = 8.63219 - 0.192166D - 3.09241E + 0.0960832DE$$

ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงระหว่างการขนส่งทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น สามารถสรุปได้ 3 ปัจจัย คือ

ก. อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารละลายโปรคลอราซ ผลจากการทดลองกลุ่มที่ 1 และการทดลองกลุ่มที่ 2 สามารถสรุประดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัย A และ ปัจจัย D คือ การผสมสารโปรคลอราซในน้ำที่มีอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส

ข. ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ (ปัจจัย B) ซึ่งมีระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ที่ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม

ค. ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (ปัจจัย E) ซึ่งมีระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ควรจุ่มสารละลายโปรคลอราซภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง

ส่วนของปัจจัยที่ไม่มีผล คือ สายพันธุ์ของมะม่วงและระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน แสดงว่าในการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นจะส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองหรือน้ำดอกไม้เบอร์สี่ ก็ไม่ส่งผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกคโนส และระยะเวลาในการอบไอน้ำจะอบไอน้ำร้อนหลังจากจุ่มสารโปรคลอราซไปแล้ว 1 ชั่วโมง หรืออบไอน้ำร้อนหลังจากจุ่มสารโปรคลอราซไปแล้ว 20 ชั่วโมง ก็ไม่ส่งผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกคโนส เพราะฉะนั้นในช่วงที่มีมะม่วงปริมาณมาก หลังจากการเก็บเกี่ยวมะม่วงควรจุ่มสารละลายโปรคลอราซไว้ก่อน ถ้าไม่ได้อบในวันเดียวกับการจุ่มสารละลายโปรคลอราซก็สามารถเก็บไว้อบในวันถัดไปได้

4. ผลการทดลองเพื่อยืนยันผล

นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์แผนการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ทั้งสองกลุ่มการทดลอง คือ การจุ่มสารละลายโปรคลอราซภายใน 16 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว การละลายสารโปรคลอราซในน้ำที่มีอุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซที่ 250 พีพีเอ็ม ไปทดลองโดยการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง โดยทำการทดลองจำนวนมะม่วง 80 ลูก ได้ผลดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 วิเคราะห์ยืนยันผลการทดลอง

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ ผสมสาร โปรคลอราซ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นโปร คลอราซ (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาก่อนการจุ่ม สารละลาย โปรคลอราซ (ชั่วโมง)	ผ่าน/ไม่ ผ่าน
1	53	250	16	ผ่าน
2	53	250	16	ผ่าน
3	53	250	16	ผ่าน
4	53	250	16	ผ่าน

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ชั้นงานที่	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ ผสมสาร โปรคลอราซ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้น โปร คลอราซ (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาก่อนการจุ่ม สารละลาย โปรคลอราซ (ชั่วโมง)	ผ่าน / ไม่ผ่าน
5	53	250	16	ผ่าน
6	53	250	16	ผ่าน
7	53	250	16	ผ่าน
8	53	250	16	ผ่าน
9	53	250	16	ผ่าน
10	53	250	16	ผ่าน
11	53	250	16	ผ่าน
12	53	250	16	ผ่าน
13	53	250	16	ผ่าน
14	53	250	16	ผ่าน
15	53	250	16	ผ่าน
16	53	250	16	ผ่าน
17	53	250	16	ผ่าน
18	53	250	16	ผ่าน
19	53	250	16	ผ่าน
20	53	250	16	ผ่าน
21	53	250	16	ผ่าน
22	53	250	16	ผ่าน
23	53	250	16	ผ่าน
24	53	250	16	ผ่าน
25	53	250	16	ผ่าน
26	53	250	16	ผ่าน
27	53	250	16	ผ่าน
28	53	250	16	ผ่าน
29	53	250	16	ผ่าน
30	53	250	16	ผ่าน

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ชั้นงานที่	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ ผสมสาร โปรคลอราซ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นโปร คลอราซ (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาก่อนการจุ่ม สารละลาย โปรคลอราซ (ชั่วโมง)	ผ่าน / ไม่ผ่าน
31	53	250	16	ผ่าน
32	53	250	16	ผ่าน
33	53	250	16	ผ่าน
34	53	250	16	ผ่าน
35	53	250	16	ผ่าน
36	53	250	16	ผ่าน
37	53	250	16	ผ่าน
38	53	250	16	ผ่าน
39	53	250	16	ผ่าน
40	53	250	16	ผ่าน
41	53	250	16	ผ่าน
42	53	250	16	ผ่าน
43	53	250	16	ผ่าน
44	53	250	16	ผ่าน
45	53	250	16	ผ่าน
46	53	250	16	ผ่าน
47	53	250	16	ผ่าน
48	53	250	16	ผ่าน
49	53	250	16	ผ่าน
50	53	250	16	ผ่าน
51	53	250	16	ผ่าน
52	53	250	16	ผ่าน
53	53	250	16	ผ่าน
54	53	250	16	ผ่าน
55	53	250	16	ผ่าน
56	53	250	16	ผ่าน
57	53	250	16	ผ่าน
58	53	250	16	ผ่าน

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ชั้นงานที่	อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ ผสมสาร โปรคลอราซ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นโปร คลอราซ (พีพีเอ็ม)	ระยะเวลาก่อนการจุ่ม สารละลาย โปรคลอราซ (วัน)	ผ่าน / ไม่ผ่าน
59	53	250	16	ผ่าน
60	53	250	16	ผ่าน
61	53	250	16	ผ่าน
62	53	250	16	ผ่าน
63	53	250	16	ผ่าน
64	53	250	16	ผ่าน
65	53	250	16	ผ่าน
66	53	250	16	ผ่าน
67	53	250	16	ผ่าน
68	53	250	16	ผ่าน
69	53	250	16	ผ่าน
70	53	250	16	ผ่าน
71	53	250	16	ผ่าน
72	53	250	16	ผ่าน
73	53	250	16	ผ่าน
74	53	250	16	ผ่าน
75	53	250	16	ผ่าน
76	53	250	16	ไม่ผ่าน
77	53	250	16	ผ่าน
78	53	250	16	ผ่าน
79	53	250	16	ผ่าน
80	53	250	16	ผ่าน

4.1 การทดสอบทางสถิติเพื่อยืนยันผล

$H_0 : P_{old}$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ P_{new}

$H_1 : P_{old}$ มากกว่า P_{new}

จากการใช้โปรแกรมมินิแทบช่วยในการวิเคราะห์ Tow Proportions -Test สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แสดง Tow Proportions -Test

กลุ่ม	จำนวน มะม่วงเสีย	จำนวนตัวอย่าง ทั้งหมด	สัดส่วน มะม่วงเสีย	ค่า P-test	P-Value
กระบวนกรเดิม	43	96	0.447917	8.33	0.000
กระบวนใหม่	1	80	0.012500		

หมายเหตุ (ที่ความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซนต์)

จากค่า P-Value เท่ากับ 0.000 น้อยกว่า ค่าความเชื่อมั่น 0.10 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลักเพราะฉะนั้น P_{old} มากกว่า P_{new}

4.2 การเปรียบเทียบการลดปริมาณมะม่วงเสียเนื่องจากโรคแอนแทรกโนสระหว่างกระบวนกรปัจจุบัน กับกระบวนกรที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองวิเคราะห์ยืนยันผลการทดลองพบว่า เกิดมะม่วงเสียเนื่องจากโรคแอนแทรกโนสจำนวน 1 ลูก จากจำนวนมะม่วงทั้งหมด 80 ลูก คิดเป็น ร้อยละ 1.25 โดยลดลงจากปัจจุบัน ซึ่งมีมะม่วงเสียที่เกิดจากโรคแอนแทรกโนสประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 15

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น ที่ส่งผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงระหว่างการส่งออกมีปริมาณลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการส่งออกมะม่วงในปัจจุบัน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ การทดลองกลุ่มที่ 1 โดยทำการทดลองสามปัจจัย คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ และสายพันธุ์ของมะม่วง การทดลองกลุ่มที่ 2 จะทำการทดลองอีกสามปัจจัย คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซ ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ และระยะเวลาก่อนการอบไอน้ำร้อน โดยทั้ง 2 กลุ่มการทดลองใช้แผนการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

เมื่อดำเนินการทดลอง และนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปมินิแทบ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโรคแอนแทรกโนสในมะม่วงระหว่างการส่งออกทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 ในส่วนของอิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซและความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ (AB) อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซและระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (DE) แต่เนื่องจากปัจจัย A ในการทดลองกลุ่มที่ 1 กับ ปัจจัย D ในการทดลองกลุ่มที่ 2 เป็นอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซเหมือนกันต่างกันตรงที่ระดับอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งผลจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าทั้งปัจจัย A และ D มีระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิของน้ำที่ผสมสารโปรคลอราซที่ 53 องศาเซลเซียส เหมือนกัน ผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัย A การทดลองกลุ่มที่ 1 เป็นตัวแทนของปัจจัย D การทดลองกลุ่มที่ 2 ในการสรุปผล ซึ่งสามารถสรุประดับของปัจจัยที่เหมาะสมได้ดังตารางที่ 18

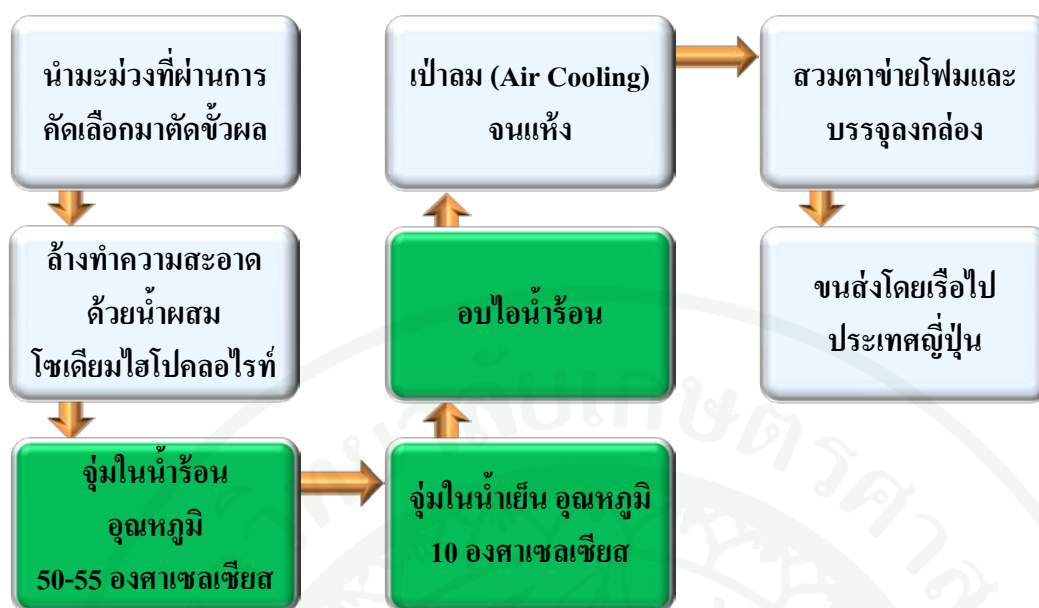
ตารางที่ 18 ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่น

ปัจจัย	หน่วย	ระดับ
อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมสารโปรคลอราซ (A)	องศาเซลเซียส	53
ความเข้มข้นของสารละลายโปรคลอราซ (B)	พีพีเอ็ม	250
ระยะเวลาก่อนการจุ่มสารละลายโปรคลอราซ (E)	ชั่วโมง	16

เมื่อทำการทดลองยืนยันผลโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบที่ได้จากทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง โดยใช้มะม่วงจำนวน 80 ลูก พบว่า จากจำนวนมะม่วงทั้งหมด 80 ลูก มีร้อยละการเกิดโรคแอนแทรคโนสคิดเป็นร้อยละ 1.25 จากจำนวนมะม่วงทั้งหมด ซึ่งสามารถลดปริมาณมะม่วงเสียหายเนื่องจากโรคแอนแทรคโนสจากกระบวนการปัจจุบันได้ถึง ร้อยละ 1.75 ถึงร้อยละ 13.75 ของมะม่วงส่งออกทางเรือทั้งหมด ถ้าสามารถปรับปรุงกระบวนการตามผลการทดลองที่ได้นี้ นอกจากจะช่วยลดการเกิดโรคแอนแทรคโนสแล้วยังช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการทำงานได้อีกด้วย เนื่องจากสามารถตัดกระบวนการในการจุ่มสารละลายโปรคลอราซในน้ำธรรมดาที่มีความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม ออกไปจากขั้นตอนการทำงานได้ จาก 9 ตอน เหลือ 8 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 24 และภาพที่ 25



ภาพที่ 24 กระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นก่อนการปรับปรุง



ภาพที่ 25 กระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือไปประเทศญี่ปุ่นหลังการปรับปรุง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะการเกิดโรคแอนแทรกคโนสในมะม่วงระหว่างการส่งออกทางเรือเท่านั้น ยังมีกระบวนการส่งออกผลไม้อีกหลายชนิดที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงซึ่งประสบปัญหาคล้ายๆ กับกระบวนการส่งออกมะม่วงทางเรือ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการส่งออกผลไม้ชนิดอื่นไปยังต่างประเทศที่ส่งออกทางเรือ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพในการส่งออกผลไม้ไทย ให้มีประสิทธิภาพและเกิดของเสียระหว่างการส่งออกให้น้อยที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2539. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ส. เอเซียเพรส จำกัด, กรุงเทพฯ.

พรเทพ ชุ่มสุวรรณ. 2546. การควบคุมโรคแอนแทรกซ์ในผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้การแช่น้ำร้อนร่วมกับจุลินทรีย์อาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อุดม ฟุ้งสง และ นวลวรรณ ฟุ้งสง. 2544. ความอ่อนแอของผลมะม่วงรับประทานสุก 5 พันธุ์ต่อการพัฒนาของโรคแอนแทรกซ์, น. 326-333. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 (สาขาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพฯ.

นฤมล เอี่ยมเดช 2543. การควบคุมโรคแอนแทรกซ์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยเกลือคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อารีรัตน์ อุดมรัตน์ศักดิ์. 2547. การควบคุมโรคแอนแทรกซ์ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้โดยชีววิธี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ดร.อภิธา บุญศิริ และ ศ.ดร.จรัสแท้ ศิริพานิช. 2550. ส่งออกมะม่วงไปต่างประเทศอย่างไร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์บริษัทเท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ.

ประพันธ์ ทิพย์สหัสรังสี และ พงษ์เพชร วงศ์โสภณ. 2544. การอบไอน้ำมะม่วงเพื่อการส่งออก. ฝ่ายพัฒนาการผลิตและควบคุมศัตรูพืช กองป้องกันและกำจัดศัตรูพืช, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ระพีพันธ์ โพธิ์ศรี. 2553. สถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 3. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Vivekananthan, R., M. Ravi, A. Ramanathan and R. Samiyappan. 2003. Lytic enzymes induced by *Pseudomonas fluorescens* and other biocontrol organisms mediate defence against the anthracnose pathogen in mango. **Microbiology & Biotechnology**. 20: 235–244.

Aswini, D., K. Prabakar, L. Rajendran. 2009. Efficacy of new EC formulation derived from garlic creeper (*Adenocalymma alliaceum* Miers.) against anthracnose and stem end rot diseases of mango. **World J Microbiol Biotechnol**. 26: 1107–1116.

Montgomery, D., C. 2009. **Design and Analysis of Experiment**. 7th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Seagate Technology. 1996. **Introduction to Failure Mode and Effects Analysis**. Revision C., Oklahoma City.

Box, G. E. P., W. G. Hunter and J. S. Hunter. 1978. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building**. 1st ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Bingham, D. and R. R. Sitter. 2001. Design issues for fractional factorial experiments. **Journal of Quality Technology**. 33: 2–15.

Fisher R. A. 1953. **The Design of Experiments**. Hafner Publishing Company, New York.



ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลการออกแบบการทดลองโดยใช้แผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ
การทดลองกลุ่มที่ 1

ลำดับการทดลอง	ปัจจัย			สัดส่วนมะม่วงเสียบเนื่องจากโรคแอนแทรกโนส (ลูก)
	A (องศาเซลเซียส)	B (พีพีเอ็ม)	C	
1	53	500	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	3
2	25	500	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	1
3	25	250	น้ำดอกไม้สีทอง	4
4	53	500	น้ำดอกไม้สีทอง	1
5	25	500	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	3
6	25	250	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	4
7	53	250	น้ำดอกไม้สีทอง	1
8	53	250	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	1
9	25	250	น้ำดอกไม้สีทอง	5
10	53	250	น้ำดอกไม้สีทอง	0
11	53	500	น้ำดอกไม้สีทอง	0
12	25	250	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	4
13	25	500	น้ำดอกไม้สีทอง	0
14	25	500	น้ำดอกไม้สีทอง	3
15	53	500	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	2
16	53	250	น้ำดอกไม้เบอร์รี่	3

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลการออกแบบการทดลองโดยใช้แผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ
การทดลองกลุ่มที่ 2

ลำดับการ ทดลอง	ปัจจัย			สัดส่วนมะม่วงเสียเนื่องจาก โรคแอนแทรกโนส (ลูก)
	D (องศาเซลเซียส)	E (ชั่วโมง)	F (ชั่วโมง)	
1	10	16	1	4
2	10	40	20	3
3	53	40	1	3
4	10	16	20	3
5	53	16	1	0
6	53	40	20	4
7	53	40	1	2
8	53	16	20	1
9	53	16	1	1
10	10	16	20	3
11	10	40	1	4
12	10	40	1	1
13	53	40	20	3
14	10	40	20	4
15	10	16	1	5
16	53	16	20	2

ภาคผนวก ข

แสดงค่า λ กรณี $\alpha = 0.05$ $U = df_r$ และ $V = df_e = n - k - 1 (K = U)$

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงค่า λ กรณิ $\alpha = 0.05$ $U = df_r$ และ $V = df_e = n - k - 1 (K = U)$

U	V	Power			U	V	Power			U	V	Power		
		.80	.85	.90			.80	.85	.90			.80	.85	.90
1	20	8.5	9.7	11.4	7	20	19.9	22.3	25.5	13	20	28.7	32.0	36.3
	60	7.9	9.1	10.6		60	16.0	17.9	20.5		60	21.2	23.6	26.8
	120	7.8	9.0	10.5		120	15.1	16.9	19.4		120	19.5	21.7	24.6
	∞	7.8	9.0	10.5		∞	14.4	16.0	18.3		∞	17.8	19.8	22.4
2	20	11.1	12.6	14.6	8	20	21.5	24.0	27.4	14	20	30.2	33.6	38.0
	60	10.0	11.3	13.2		60	17.0	19.0	21.6		60	22.0	24.5	27.7
	120	9.7	11.1	12.8		120	15.9	17.8	20.3		120	20.1	22.4	25.3
	∞	9.6	10.9	12.7		∞	15.0	16.8	19.1		∞	18.3	20.4	23.0
3	20	13.2	14.9	17.2	9	20	23.0	25.7	29.2	15	20	31.6	35.1	39.8
	60	11.5	13.0	15.0		60	17.9	20.0	22.7		60	22.8	25.3	28.7
	120	11.1	12.6	14.5		120	16.7	18.7	21.3		120	20.7	23.1	26.1
	∞	10.9	12.3	14.2		∞	15.6	17.4	19.8		∞	18.8	20.9	23.6
4	20	15.0	16.9	19.5	10	20	24.4	27.3	31.0	18	20	35.7	39.7	44.9
	60	12.8	14.4	16.6		60	18.7	20.9	23.8		60	25.0	27.8	31.4
	120	12.3	13.9	16.0		120	17.4	19.5	22.1		120	22.5	25.0	28.2
	∞	11.9	13.4	15.4		∞	16.8	18.1	20.5		∞	20.1	22.3	25.2
5	20	16.7	18.8	21.6	11	20	25.9	28.9	32.8	20	20	38.5	42.7	48.3
	60	14.0	15.7	18.0		60	19.6	21.8	24.8		60	26.5	29.4	33.2
	120	13.3	15.0	17.2		120	18.13	20.2	23.0		120	23.7	26.3	29.6
	∞	12.8	14.4	16.5		∞	17.3	18.7	21.2		∞	21.0	23.2	26.1
6	20	18.4	20.6	23.6	12	20	27.3	30.5	34.6	24	20	43.9	48.7	54.9
	60	15.0	16.9	19.3		60	20.4	22.7	25.8		60	29.3	32.5	36.6
	120	14.3	16.0	18.3		120	18.8	21.0	23.8		120	25.9	28.6	32.3
	∞	13.6	15.3	17.4		∞	17.8	19.3	21.8		∞	22.5	24.8	27.9

ที่มา: ระพินทร์ (2553)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวมาลิณี หลวงคลัง
เกิดวันที่	17 กรกฎาคม พ.ศ. 2532
สถานที่เกิด	อำเภอรัษฎา จังหวัดตรัง
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเรศวร
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-