เอกสารอ้างอิง

1. บักทึกราคาสินค้าขายส่งมะนาวสวน พ.ศ.2525-2529, กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, กระทรวงพาณิชย์.

2. ทรงพร พจน์ชนะชัย และ เจิม แสงเทียน, "การเก็บรักษามะนาววิธีต่าง ๆ," ชาวเกษตร, อันดับที่ 47, 32-33, เมษายน 2528.

3. วารุณี อนุสรณ์พาณิช, "การเก็บถนอมมะนาวสดโดยวิธีควบคุมบรรยากาศในการเก็บและการทำน้ำมะนาวเข้มข้น," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2522.

4. กรมวิชาการเกษตร, "การปลูกมะนาว," นิตยสารชาวเกษตร อันดับที่ 61, 31-34, 2529.

5. Nagy, S., P.E. Shaw and M.K. Veldhuis, Citrus Science and Technology. V. 1, pp. 1-110, AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, 1977.

6. สมศักดิ์ วรรณศิริ, ปฐพีชล วายุอัคคี, ทวีศักดิ์ นวลพลับ, อนุชา ทองไพยุทธ และ ประพาส สุดทองคง, "มะนาว," ฐานเกษตรกรรมฉบับพิเศษ (เฉพาะกิจ) ที่ 12 หน้า 8, สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2529.

7. วัลลี สุวจิตตานนท์, "วิตามินซีในผลไม้" วารสารอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร, 2 (1), 13-21, 2528.

8. Ting, S.V., and J. A. Attaway, "Citrus Fruit," The Biochemistry of Fruits and Their Products (Hulme, A.C. ed.), vol. 2, pp. 107-161, Academic Press Inc., London and New York, 1970.

9. สายชล เกตุษา, สรีระวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้, โรงพิมพ์ศูนย์ส่งและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2528.

10. Passam, H.C. and G. Blunden, "Experiments on the Storage of Limes at Tropical Ambient Temperature," Trop. Agric. (Trinidad) 59 (1), 20-24, 1982.

11. Ryall, A.L. and W.T. Pentzer, Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. V. 2, AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, 2 nd ed., 1982.

12. Shewfelt, R.L., "Postharvest Treatment for Extending the Shelf Life of Fruits and Vegetables," Food Technology, 40 (5), 70-80, 1986.

13. Kaewubon, N. "Effect of Modified Atmospheres on Irradiated Lemon Fruits (Citrus limon)," Thesis, Master of Science, Graduate Division of the University of California, Davis, 1959.

14. ดุษฎี หิตะศักดิ์, "การเก็บรักษามะนาวสดโดยใช้ขี้ผึ้งเคลือบผลและสารกำจัดเชื้อราบางชนิด," ปัญหาพิเศษเพื่อประกอบการทำปริญญาตรี ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2517.

15. Irving, A.R., "Transport of Fresh Horticultural Product Under Modified Atmospheres," CSIRO Food Reserch Quartery, 44 (2), 25-33, 1984.

16. ปราณี ทิพยางค์ และ ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล, "การเก็บถนอมมะนาวสดโดยวิธีทางฟิสิกส์และทางเคมี," วารสารเคมีวิศวกรรม เทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง, 1 (2), 1-12, 2522.

17. Hardenburg, R.E., "Effect of In-Package Environment on Keeping Quality of Fruits and Vegetables," Hort Science, 6 (3), 198-201, 1971.

18. Modern Plastic Encyclopedia, Mc Graw-Hill Inc., 1979-1980.

19. Geeson, J.D., K.M. Browne, K. Maddison, J. Shepherd and F. Guaraldi, "Modified Atmosphere Packaging to Extend the Shelf Life of Tomatoes," Journal of Food Technology, 20, 339-349, 1985.

20. สมชาย ภู่ชัย, "ผลกระทบของอุณหภูมิและคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาของบรอกโคลี," วิทยาศาสตร์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

21. สมชาย ภู่ชัย, สายชล เกตุษา และ สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, "อิทธิพลของอุณหภูมิและภาชนะที่ใช้ในการเก็บรักษาผักคะน้า," วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย.), 18, 1-6, 2527.

22. อนุกูล แต้มประเสริฐ, "การเก็บมะนาวในถุงพลาสติก," ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2525.

23. ถนอมนวล พรหมบุญ และ พูนศุข ศรีโยธา, "เอทธิลีนจากผักและผลไม้ต่าง ๆ ระหว่างเก็บ," วารสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เล่ม 1, ปีที่ 6, 28-35, มค.-มิย., 2522.

24. Hale, P.W., W.R. Miller, P.L. Davis and T. T. Hatton, "Progress On Wrapping Florida Grapefruit For Long-Term Storage," Citrus & Vegetable Magazine, 49-59, December, 1983.

25. Hale, P.W., W.R. Miller and P.L. Davis, "Wrapping of Florida Bearss Lemons In A Heat-Shrinkable Polymer Film," Citrus & Vegetable Magazine, 49-57, August, 1983.

26. Ben-Ychoshua, S., I. Kobiler, B. Shapiro, "Some Physiological Effects of Delaying Deterioration of Citrus Fruits by Individual Seal Packaging in High Density Polyethylene Film," J. Amer. Soc. Hort. Sci., 104 (6), 868-872, 1979.

27. Barmore, C.R., A.C. Purvis, and P.J. Fellers, "Polyethylene Film Packaging of Citrus Fruit : Containment of Decaying Fruit," Journal of Food Science, 48, 1558-1559, 1983.

28. Jurin, V. and M. Karel, "Studies on Control of Respiration of Mc Intosh Apples by Packaging Methods," Food Technology, 17 (6), 104-108, 1963.

29. Hayakawa, Kan-ichi, Y.S. Henig and S.G. Gilbert, "Formulae for Predicting gas Exchange of Fresh Produce in Polymeric Film Package," Journal of Food Science, Vol. 40, 186-191, 1975.

30. Deily, K.R. and S.S.H. Rizvi, "Optimization of Parameters for Packaging of fresh Peaches in Polymeric Films," Journal of Food Process Engineering, 5, 23-41, 1981.

31. International Organization for Standardization, "Sheet Materials-Determination of Water Vapour Transmission Rate-Dish Method," International Organization for Standardization, Switzerland, 1974.

32. Lyssy, G.H., "Analytical Gas Permeability Tester GPM-200 Operation Manual," Zollikon ZH, 1979.

33. จรัญ จันทลักขณา, สถิติวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย, ไทยวัฒนาพานิช, พิมพ์ครั้งที่ 4, 2523.

34. Pearson, D., The Chemical Analysis of Food., pp. 160-161, Churchill Livingstone, Edinburgh London and New York, Seventh Edition, 1976.

35. Nursten, H.E., "Volatile Compounds: The Aroma of Fruits," The Biochemistry of Fruits and their Products (Hulme, A.C. ed.), Vol. 1, pp. 255-256, Academic Press Inc., London and New York, 1970.

36. Ulrich, R., "Organic Acids," The Biochemistry of Fruits and Their Products (Hulme, A.C. ed.), Vol. 1, pp. 90-115, Academic Press Inc., London and New York, 1970.

37. Mapson, L.W., "Vitamin in Fruits," The Biochemistry of Fruits and their Products (Hulme, A.C. ed.), Vol. 1, pp. 370-383, Academic Press Inc., London and New York, 1970.

38. Kader, A.A., "Prevention of Ripening in Fruit by Use of Controlled Atmospheres," Food Technology, 51-54, March 1980.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. การคำนวณหาอัตราการหายใจของมะนาว

การหาอัตราการหายใจที่ 10±2 °C ของมะนาวนั้น ใช้วิธีการติดตามการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซนต์ของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในขวดที่ปิดสนิท ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1 จากการติดตามเปอร์เซนต์ของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในขวดที่เปลี่ยนแปลงไป สามารถสร้างกราฟด้วยการทำ Linear regression ได้เป็นเส้นตรง 2 เส้นตัดกัน โดยเป็นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ได้ผลการทดลองในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ การคำนวณอัตราการใช้ออกซิเจนและอัตราการคายกาซ-คาร์บอนไดออกไซด์ใช้วิธีการเดียวกัน แต่ในที่นี้จะยกตัวอย่างอัตราการใช้กาซออกซิเจนในขวดที่ 1 จากรูปที่ 4.1 ขั้นตอนดังแสดงในตาราง ก-1 ดังนี้

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดของการคำนวณหาอัตราการหายใจ

ลำดับ	รายละเอียด	การคำนวณและค่าที่ได้	หน่วย
0	น้ำหนักของมะนาวที่ใช้	0.6680	กิโลกรัม
0	ปริมาตรของอากาศในขวด (หาโดยแทนที่อากาศด้วยน้ำ)	3200	มิลลิลิตร
1	หาความชันของออกซิเจน (คือ (เปอร์เซนต์ออกซิเจนที่เปลี่ยน-แปลงต่อวัน)	1.0140	% O_2/วัน
2	หาเปอร์เซนต์ออกซิเจนที่เปลี่ยน-แปลงต่อชั่วโมง	$\frac{1.014}{24} = 0.0423$	% O_2/ชั่วโมง
3	หาอัตราการใช้ออกซิเจนของมะนาวต่อ 1 กิโลกรัม จากน้ำหนักของมะนาวและปริมาตรของอากาศในขวด	$\frac{0.0423 \times 3200}{100 \times 0.6680} = 2.0263$	มิลลิลิตร/ชั่วโมง/กิโลกรัม

หมายเหตุ ในการทดลองทำ 2 ซ้ำ คือ ขวดที่ 1 และขวดที่ 2 ซึ่งอัตราการหายใจในรูปของการใช้ออกซิเจนได้มาจากค่าเฉลี่ย

2. การหาปริมาณเอทธานอลโดยใช้ Gas Chromatography

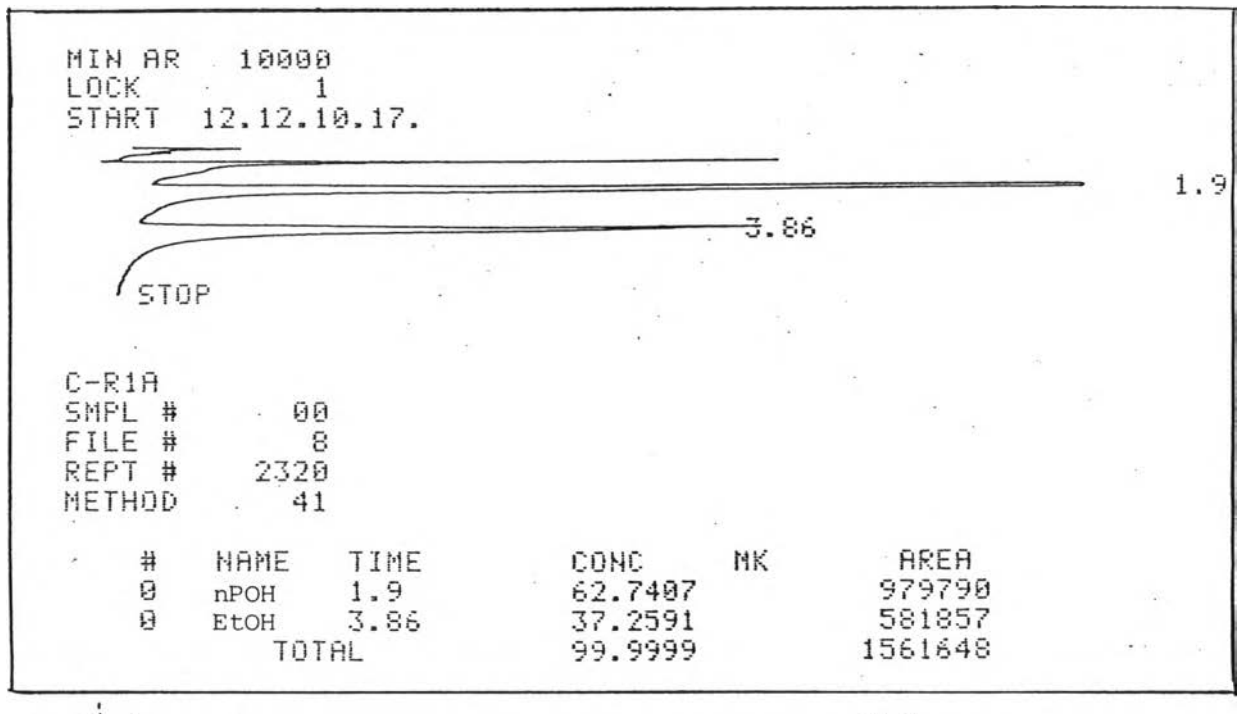
การหาปริมาณเอทธานอลโดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Gas Chromatography ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ Shimadzu Gas Chromatography รุ่น 7AG ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 สภาวะของเครื่องมือ

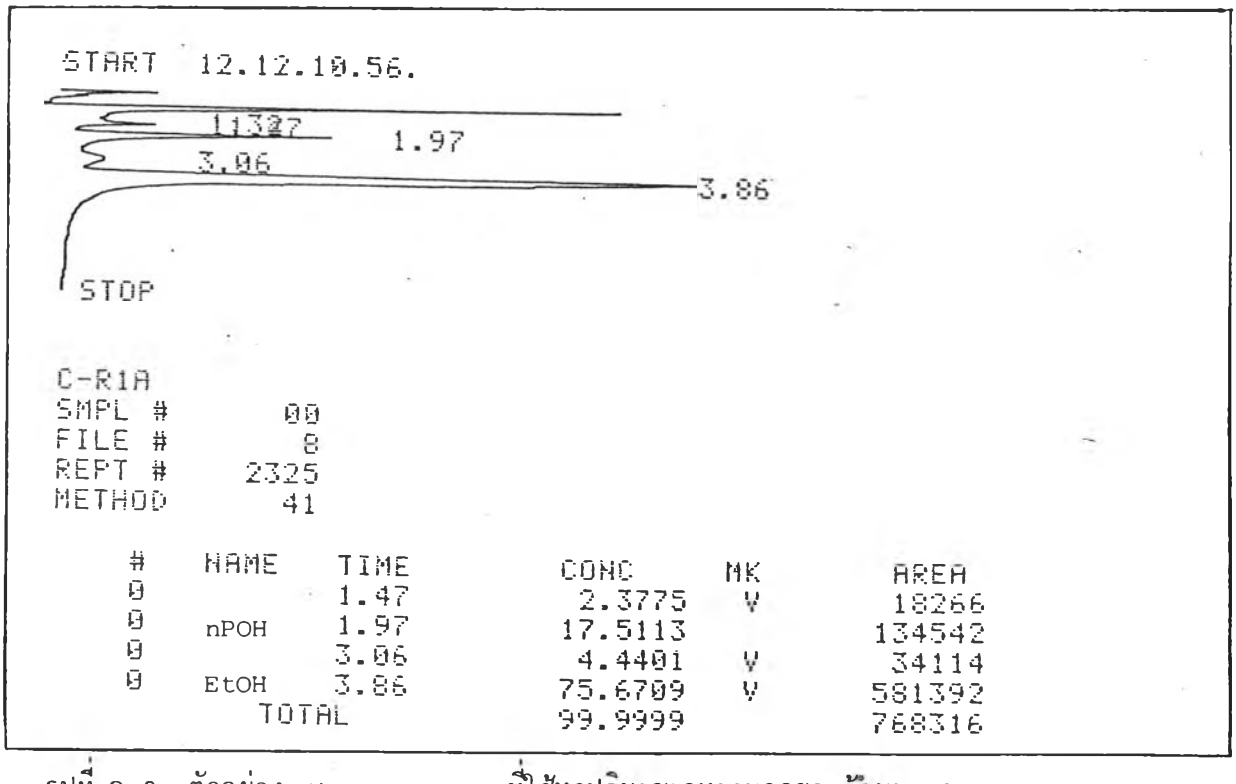
ใช้คอลัมน์ (Column) ซึ่งมีความยาวขนาด 7 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{1}{8}$ นิ้ว โดยมี Porapack Q บรรจุอยู่ กาซที่เป็นตัวนำพา (Carrier gas) คือไนโตรเจนซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 40 มิลลิลิตร/นาที บรรยากาศ โดยมี Detector แบบ FID (Flame Ionization Detector) อุณหภูมิของคอลัมน์ (Column temperature) เท่ากับ 190°C และอุณหภูมิของการฉีด (Injection temperature) เท่ากับ 220°C

2.2 การเตรียมสารละลายเอทธานอลมาตรฐานและตัวอย่างน้ำมะนาว

ดูด Absolute alcohol 0.2 มิลลิลิตร มาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเอทธานอลมาตรฐาน 2000 ppm และเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 1000, 500, 250 และ 125 ppm ตามลำดับ จากนั้นดูดมาความเข้มข้นละ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดฉีดยาขนาดเล็ก เติม n Propanol 5 ไมโครลิตร เพื่อเป็น Internol standard แล้วปิดด้วยจุกยางนำไปเข้าเครื่องเขย่า เมื่อจะฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography ดูดสารละลายจากขวดนี้ 1 ไมโครลิตร ส่วนตัวอย่างน้ำมะนาวเตรียมได้โดยดูดน้ำมะนาวที่กรองผ่านผ้าขาวบางมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดยาฉีด เติม n Propanol ลงไป 5 ไมโครลิตร แล้วปิดด้วยจุกยาง และเขย่าเช่นกัน จากนั้นดูดมา 1 ไมโครลิตร เพื่อฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography โดยมีสภาวะของการทดลองดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งลักษณะ Chromatograme ของสารละลายมาตรฐานเอทธานอลที่มีความเข้มข้น 2000 ppm และของตัวอย่างน้ำมะนาวได้แสดงในรูปที่ ก-1 และ ก-2 ส่วนสารละลายมาตรฐานเอทธานอลที่ความเข้มข้นอื่นมีลักษณะเดียวกับสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 2000 ppm แต่ต่างกันที่ระดับความสูงของ Peak ซึ่ง Peak ของ n Propanol จะเคลื่อนที่ออกมาในเวลาประมาณ 1.90 นาที และ Peak ของ Ethanol จะออกมาในเวลาประมาณ 3.86 นาที



รูปที่ ก-1 Chromatograme ของสารละลายมาตรฐานเอทธานอล เข้มข้น 2000 ppm ซึ่งมี n Propanol เป็น Internal standard



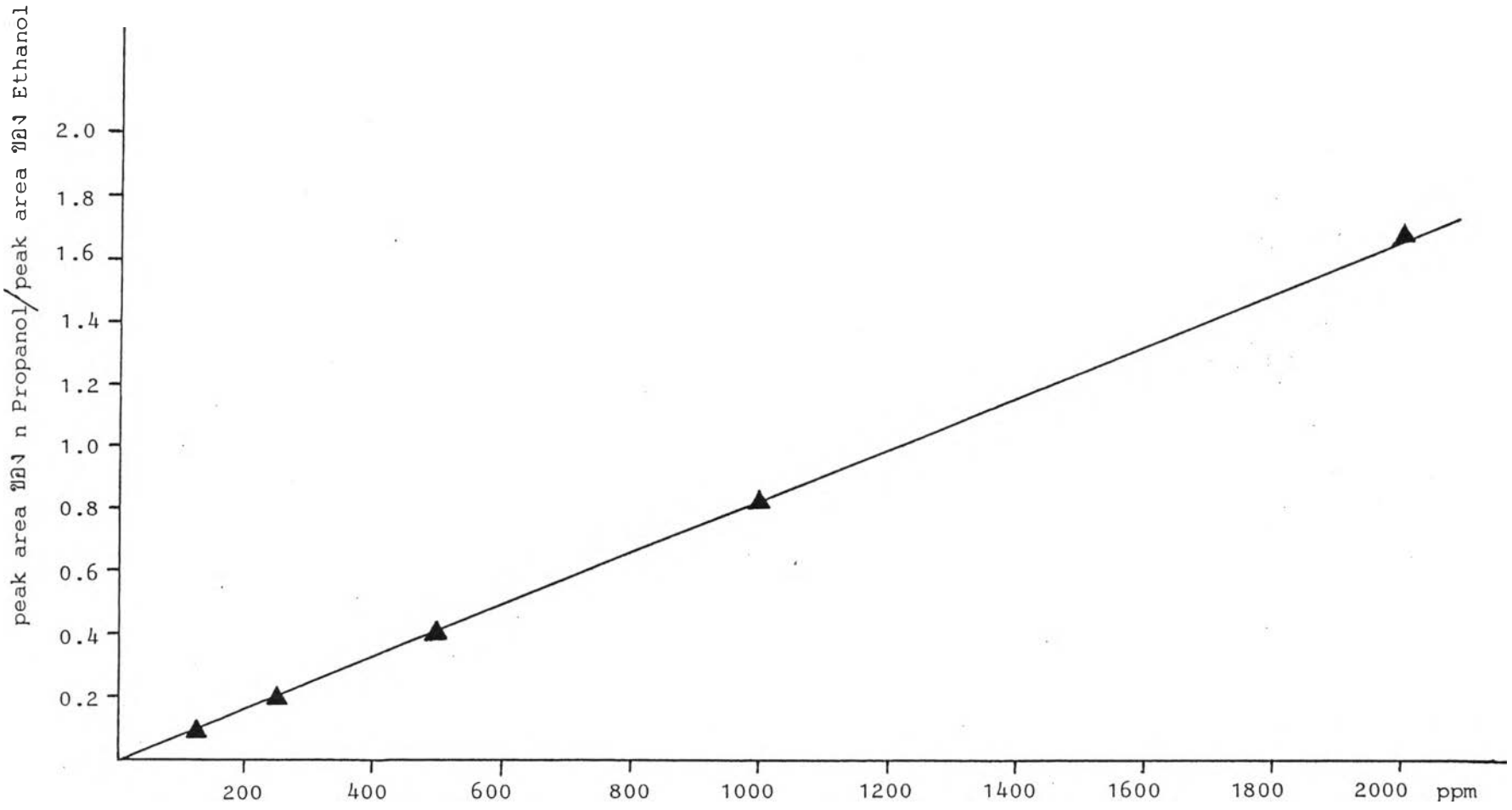
รูปที่ ก-2 ตัวอย่าง Chromatogram ที่ใช้หาปริมาณเอทธานอลของน้ำมะนาว

2.3 การสร้างกราฟมาตรฐานและการหาปริมาณเอทธานอล

สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเอทธานอลกับอัตราส่วนระหว่าง Peak area ของ n Propanol กับ Ethanol โดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ ก-2 และได้กราฟออกมา ดังแสดงในรูปที่ ก-3 สำหรับปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวหาโดยการนำอัตราส่วนของ Peak area ของ n Propanol ต่อ Ethanol มาอ่านจากกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ก-2 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของเอทธานอลกับอัตราส่วนของ Peak area ของ n Propanol กับ Ethanol

ความเข้มข้นของเอทธานอล (ppm)	Peak area ของ n Propanol / Peak area ของ Ethanol	ผลหาร
125	49317/564793	0.0873
250	110306/557970	0.1977
500	243333/608496	0.3999
1000	431744/532724	0.8104
2000	979790/581857	1.6839



รูปที่ ก-3 กราฟมาตรฐานของสารละลายเอทธานอลมาตรฐาน

3. การเตรียมสารดูดกาซเอทธิลีน

ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำ ในอัตราส่วน 100:70 แล้วเทใส่ถาดอลูมิเนียมซึ่งมีแผ่นพลาสติกรองอยู่ให้ความหนาประมาณ 0.50-0.75 เซนติเมตร ก่อนที่จะแห้ง ใช้มีดตัดให้เป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 0.50-0.75 เซนติเมตร แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง นำออกจากถาดและแกะออกให้เป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าตามรอยมีดที่ตัดไว้ นำไปชุบให้สารละลายอิ่มตัวของโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassiumpermanganate) ซึ่งใช้โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตประมาณ 50 กรัม ต่อน้ำ 600 มิลลิลิตร จะเตรียมสารดูดเอทธิลีนด้วยวิธีการนี้ได้ประมาณ 2 กิโลกรัม สำหรับประสิทธิภาพในการดูดกาซเอทธิลีนของสารดูดกาซเอทธิลีนที่เตรียมได้นี้สามารถหาโดยการนำสารดูดเอทธิลีนที่รู้น้ำหนักโดยแน่นอน ไปใส่ในขวดปิดสนิท แล้วฉีดกาซเอทธิลีนบริสุทธิ์ที่รู้ปริมาตรแน่นอนลงไป ฉีดซ้ำอีกจนกระทั่งสีม่วงเข้มหรือสีน้ำเงินเข้มของสารดูดกาซเอทธิลีนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล โดยวิธีนี้พบว่าสารดูดกาซเอทธิลีนที่เตรียมได้ 0.1 กรัม สามารถดูดกาซเอทธิลีนได้ 1 มล. โดยกาซเอทธิลีนที่ใช้มีความบริสุทธิ์ 99% สำหรับการบรรจุสารดูดกาซเอทธิลีนในภาชนะบรรจุทำได้โดยการใส่สารดูดกาซเอทธิลีน 5 กรัม ในถ้วยพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และสูง 3.5 เซนติเมตร จากนั้นจึงนำไปใส่ในถาดที่บรรจุมะนาวซึ่งอยู่ในถุงพลาสติกที่ปิดผนึกนั่นเอง

ภาคผนวก ข

แบบสอบถาม ข-1

แบบสอบถามเพื่อประเมินผลทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาว

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ.....สกุล.....

โปรดพิจารณาคุณภาพของน้ำมะนาว และให้คะแนนตามรายละเอียดดังนี้

1. กลิ่น

คะแนน	ความหมาย
4	กลิ่นมะนาวสดปกติ
3	กลิ่นมะนาวสดลดลง
2	มีกลิ่นแปลกปลอมเล็กน้อย (กลิ่นหมักดอง)
1	มีกลิ่นแปลกปลอมมาก (กลิ่นหมักดอง)

หมายเลขตัวอย่าง	คะแนน
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

2. รส

คะแนน	ความหมาย
4	รสมะนาวปกติ
3	รสมะนาวน้อยลง
2	รสมะนาวมีรสแปลกปลอมเล็กน้อย
1	รสมะนาวมีรสแปลกปลอมมากขึ้น

หมายเลขตัวอย่าง	คะแนน
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

3. ความเห็นรวม

คะแนน	ความหมาย
5	ชอบมาก
4	ชอบ
3	เฉย ๆ
2	ไม่ชอบ
1	ไม่ชอบมาก

หมายเลขตัวอย่าง	คะแนน	ไม่ชอบเพราะ
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

แบบสอบถาม ข-2

แบบสอบถามเพื่อประเมินผลทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาว

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-สกุล.....

โปรดพิจารณาคุณภาพของน้ำมะนาวและให้คะแนนตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความเปรี้ยวของมะนาว

คะแนน	ความหมาย
4	เปรี้ยวมาก
3	เปรี้ยวปานกลาง
2	เปรี้ยวพอใช้
1	เปรี้ยวเล็กน้อย
0	ไม่เปรี้ยว

หมายเลขตัวอย่าง	คะแนน
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

2. กลิ่นรสของมะนาว

คะแนน	ความหมาย
4	กลิ่นรสมะนาวสดปกติ
3	กลิ่นรสมะนาวน้อยลง
2	มีกลิ่นรสแปลกปลอมเล็กน้อย เช่น กลิ่นรสหมักดอง
1	มีกลิ่นรสแปลกปลอมมาก

หมายเลขตัวอย่าง	คะแนน
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

3. ความเห็นรวม

คะแนน	ความหมาย
5	ชอบมาก
4	ชอบ
3	เฉย ๆ
2	ไม่ชอบ
1	ไม่ชอบมาก

หมายเลขตัวอย่าง	คะแนน	ไม่ชอบเพราะ
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

ขอขอบคุณในความร่วมมือ

แบบสอบถาม ข-3

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลคุณภาพของมะนาวสด

เนื่องด้วยนางสาวสุวรรณ หล่อวิวัฒนพงศ์ เป็นนิสิตปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กำลังทำวิจัยวิทยานิพนธ์เรื่อง การเก็บรักษามะนาวในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติกในบรรยากาศดัดแปลง เพื่อเก็บมะนาวไว้ใช้ในหน้าแล้ง ซึ่งมะนาวขาดแคลน

จาก สี กลิ่น รส ของมะนาวสดที่ท่านเห็น และได้นำเอาไปประกอบเป็นอาหารต่าง ๆ เช่น ยำ ทำน้ำพริก แกง เป็นต้น โปรดแสดงความคิดเห็นของท่าน โดยขีดเครื่องหมายถูก (✓) ลงในช่องที่ท่านคิดว่าจะแสดงความคิดเห็นของท่านได้ดีที่สุด

ระดับความชอบ	สีเปลือกมะนาว ที่ท่านเห็น	กลิ่นรสของมะนาว ก่อนประกอบอาหาร	กลิ่นรสของมะนาว เมื่อประกอบเป็นอาหาร
ชอบมากที่สุด	.....	.....	.....
ชอบมาก	.....	.....	.....
ชอบปานกลาง	.....	.....	.....
ชอบเล็กน้อย	.....	.....	.....
เฉย ๆ	.....	.....	.....
ไม่ชอบเล็กน้อย	.....	.....	.....
ไม่ชอบปานกลาง	.....	.....	.....
ไม่ชอบมาก	.....	.....	.....
ไม่ชอบมากที่สุด	.....	.....	.....

อาหารที่ท่านประกอบ คือ .....

ความคิดเห็นอื่น ๆ .....

ถ้าท่านอยู่ในฐานะเป็นพ่อบ้าน แม่บ้าน ท่านจะยอมรับมะนาวสดนี้สำหรับใช้ประกอบอาหารของท่านในหน้าแล้งที่มะนาวขาดแคลน และราคาแพง หรือไม่

☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ

ขอขอบพระคุณค่ะ

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค-1 แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design)

ในการทดลองนี้ได้ใช้ Asymmetric two factor experiment และ Asymmetric three factor experiment

ค-1.1 Asymmetric two factor experiment

- แบบ 4×5 ใช้ศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ LDPE, HDPE, PP, OPP และ Cellophane ต่อความเข้มข้นของกาซภายในภาชนะบรรจุและคุณภาพของมะนาวในระหว่างการเก็บรักษา 6 สัปดาห์

- แบบ 8×2 ใช้ศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกเพียง 2 ชนิด คือ LDPE และ HDPE ต่อความเข้มข้นของกาซในภาชนะบรรจุ และคุณภาพของมะนาวตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา

ค-1.2 Asymmetric three factor experiment ซึ่งใช้แบบ 5×2×2 โดยใช้ศึกษาผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนต่อความเข้มข้นของกาซภายในภาชนะบรรจุและคุณภาพของมะนาว

ตัวอย่างของการคำนวณที่นำเสนอนี้เป็นของ Asymmetric two factor experiment แบบ 4×5 สำหรับแบบ 8×2 มีลักษณะการคำนวณที่เหมือนกัน ส่วน Asymmetric three factor experiment แบบ 5×2×2 นั้น มีลักษณะการคำนวณที่คล้ายคลึงกัน แต่คำนวณซับซ้อนมากขึ้น โดยรายละเอียดของการคำนวณมีดังนี้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

แหล่งความแปรปรวน (Source of variation)	ผลบวกกำลังสอง (Sum of square = SS)	ชั้นแห่งความเป็นอิสระ (Degree fo freedom)
Treatment A	$SS_A = \sum_{i=1}^{a} Y^2_{i../br} - CT$	(a-1)
Treatment B	$SS_B = \sum_{j=1}^{b} Y^2_{.j./ar} - CT$	(b-1)
AB	$SS_{AB} = \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} Y^2_{ij./r} - CT$	(a-1)(b-1)
Error	$SS_E = SS_Y - SS_A - SS_B - SS_{AB}$	ab(r-1)
Total	$SS_Y = \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{r} Y^2_{ijk} - CT$	abr-1

$$CT = \text{Correction Term} = \frac{\left(\sum_{ijk}^{abr} Y_{ijk}\right)^2}{n}$$

MS = Mean Square = SS/df

n = abr

a = จำนวนทรีทเมนต์ A

b = จำนวนทรีทเมนต์ B

r = จำนวนซ้ำ

Testing hypothesis :

$H : \alpha_i = 0$ ใช้ F-test โดยค่า $f = MS_{A/MS_E}$

เทียบกับ critical value $f\alpha, (a-1), ab(r-1)$

$H : \beta_j = 0$ ใช้ F-test โดยค่า $f = MS_{B/MS_E}$

เทียบกับ critical value $f\alpha, (b-1), ab(r-1)$

$H : (\alpha\beta)_{ij} = 0$ ใช้ F-test โดยค่า $f = MS_{AB/MS_E}$

เทียบกับ critical value $f\alpha, (a-1)(b-1), ab(r-1)$

ตัวอย่างผลการทดลอง เพื่อศึกษาผลของอายุการเก็บรักษา และชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อความเข้มข้นของกาซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ (Asymmetric factorial experiment แบบ 4×5)

(B) ชนิดฟิล์ม	(A) อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)	การทดลองซ้ำที่		ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
		1	2		
LDPE	0	20.80	20.20	41.00	20.50
	2	19.75	18.03	37.78	18.89
	4	17.95	16.25	34.20	17.10
	6	15.43	15.35	30.78	15.39
HDPE	0	20.80	20.20	41.00	20.50
	2	18.60	16.37	34.97	17.49
	4	15.65	16.95	32.60	16.30
	6	18.75	12.18	30.93	15.47
PP	0	20.80	20.20	41.00	20.50
	2	3.93	3.93	7.86	3.93
	4	0.28	0.35	0.63	0.32
	6	4.00	4.00	8.00	4.00
OPP	0	20.80	20.20	41.00	20.50
	2	1.70	1.70	3.40	1.70
	4	2.65	1.35	4.00	2.00
	6	7.15	7.65	14.80	7.40
Cellophane	0	20.80	20.20	41.00	20.50
	2	1.85	2.30	4.15	2.08
	4	3.25	1.98	5.23	2.62
	6	6.90	3.63	10.53	2.27
รวม				464.86	

วิธีการคำนวณ

1. Correction term (CT) $= \frac{(464.86)^2}{40}$

$= 5402.3705$

2. Total SS $= (20.80^2 + 19.75^2 + \ldots + 3.63^2) - CT$

$= 2493.5270$

3. Treatment SS $= \frac{(41.00^2 + 37.78^2 + \ldots + 10.53^2)}{2} - CT$

$= 2457.5600$

4. Error $= 2493.5270 - 2457.5600$

$= 35.9670$

นำผลรวมของข้อมูลมาจัดรูปตารางใหม่

อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) (A)	ชนิดของฟิล์ม (B)					รวม
	LDPE	HDPE	PP	OPP	Cellophane	
0	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	205.00
2	37.78	34.97	7.86	3.40	4.15	88.16
4	34.20	32.60	0.63	4.00	5.23	76.66
6	30.78	30.93	8.00	14.80	10.53	95.04
รวม	143.76	139.50	57.49	63.20	60.91	464.86

5. $SS_A = \frac{205.00^2 + 88.16^2 + 76.66^2 + 95.04^2}{10} - CT$

$= 1068.3050$

6. $SS_B = \frac{(143.76^2 + 139.50^2 + 57.49^2 + \ldots + 60.91^2)}{8} - CT$

$= 989.6355$

7. $SS_{AB} = 2457.5600 - 1068.3050 - 989.6360$

$= 399.6191$

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นของกาซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ เมื่อตัวแปรคือ อายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกทั้ง 5 ชนิด

SOV	d.f.	SS	MS	Calculated F	Table F
A	3	1068.3050	350.1017	194.6740*	3.10
B	4	989.6355	247.4089	137.5717*	2.87
AB	12	399.6191	33.3059	18.5197*	2.28
Error	20	35.9670	1.7984		

A = อายุการเก็บรักษา คือ 0, 2, 4 และ 6 สัปดาห์

B = ชนิดของฟิล์ม LDPE, HDPE, PP, OPP และ Cellophane

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค-2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new mutiple range test ใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ สำหรับตัวอย่างที่นำเสนอนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสีผิวของมะนาวเมื่อศึกษาผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีน ต่อคะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาว ตัวอย่างผลการทดลองและรายละเอียดของการคำนวณมีดังนี้

(A) อายุการเก็บรักษา (เดือน)	(B) อายุเก็บเกี่ยว	(C) สารดูดกาซเอทธิลีน	คะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาวจากการทดลอง					คะแนนเฉลี่ย
			1	2	3	4	5	
0	M	O	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
		K	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	G	O	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
		K	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
1	M	O	1.80	1.94	1.50	2.56	3.19	2.20
		K	2.63	4.44	2.75	4.88	2.44	3.43
	G	O	2.25	3.44	3.31	4.63	4.13	3.55
		K	4.50	4.75	4.25	4.13	5.00	4.53
2	M	O	1.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05
		K	1.85	2.14	1.13	1.00	1.19	1.46
	G	O	1.25	1.31	1.13	1.00	1.56	1.25
		K	2.31	1.88	2.00	3.31	4.50	2.80
3	M	O	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		K	1.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.17
	G	O	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		K	4.07	1.00	1.69	3.36	1.13	2.25
4	M	O	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		K	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	G	O	1.19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04
		K	2.00	1.13	1.81	1.13	1.00	1.41

วิธีการคำนวณ

1. คำนวณค่าเฉลี่ยของคะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาวของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยที่ 0 เดือน = (5.00+5.00+5.00+5.00)/4 = 5.00

ค่าเฉลี่ยที่ 1 เดือน = (2.20+3.43+3.55+4.53)/4 = 3.43

ค่าเฉลี่ยที่ 2 เดือน = (1.05+1.46+1.25+2.80)/4 = 1.64

ค่าเฉลี่ยที่ 3 เดือน = (1.00+1.17+1.00+2.25)/4 = 1.36

ค่าเฉลี่ยที่ 4 เดือน = (1.00+1.00+1.04+1.41)/4 = 1.11

ค่าเฉลี่ยของ M = (5.00+5.00+2.20+3.43+...+1.00+1.00)/10 = 2.23

ค่าเฉลี่ยของ G = (5.00+5.00+3.55+4.53+...+1.04+1.41)/10 = 2.78

ค่าเฉลี่ยของ O = (5.00+5.00+2.20+3.55+1.05+...+1.04)/10 = 2.21

ค่าเฉลี่ยของ K = (5.00+5.00+3.43+4.53+1.46+...+1.41)/10 = 2.81

ตัวแปร A	ค่าเฉลี่ย	ตัวแปร B	ค่าเฉลี่ย[ข]	ตัวแปร C	ค่าเฉลี่ย[ค]
0	5.00				
1	3.43	M	2.23	O	2.21
2	1.64				
3	1.36	G	2.78	K	2.81
4	1.11				

2. เรียงลำดับค่าเฉลี่ย จากค่าสูงสุดไปหาต่ำสุด ดังนี้

ลำดับที่	1	2	3	4	5
อายุการเก็บ	0	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ค่าเฉลี่ย	5.00	3.43	1.64	1.36	1.11

3. คำนวณค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard error, $S_{\bar{y}}$)

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

n = จำนวนข้อมูลที่ใช้หาค่าเฉลี่ย = 20

MS_E = Mean square error (ได้จากตารางที่ 4.50)

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{0.3257}{20}} = 0.13$$

4. คำนวณ Least significant ranges (LSR) สำหรับช่วงการเปรียบเทียบต่าง ๆ โดยอาศัยตาราง Significant student ranges (SSR) ซึ่งอยู่ในหนังสือสถิติทั่วไป ดังนี้

$$LSR_{\alpha, p} = (SSR_{\alpha, p}) S_{\bar{y}}$$

p = ผลต่างของอันดับ +1

p	2	3	4	5
$SSR_{0.05}$	2.82	2.96	3.07	3.13
$LSR_{0.05}$	0.37	0.38	0.40	0.41

5. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดกับค่า LSR ที่ p = ผลต่างของอันดับ +1 และเปรียบเทียบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตัวสูงสุดกับค่าเฉลี่ยรองต่ำสุดต่อไป จะหยุดเปรียบเทียบก็ต่อเมื่อผลต่างนั้นน้อยกว่าค่า LSR ที่เกี่ยวข้อง และสรุปออกไปได้ว่า ค่าเฉลี่ยทั้งหมดที่อยู่ในช่วงนั้นไม่แตกต่างกัน รายละเอียดได้แสดงในตารางดังนี้

อันดับที่เปรียบเทียบ	p	ผลต่างของค่าเฉลี่ย	LSR
1, 5	5	3.89^{*}	0.41
1, 4	4	3.64^{*}	0.40
1, 3	3	3.36^{*}	0.38
1, 2	2	1.57^{*}	0.37
2, 5	4	2.32^{*}	0.40
2, 4	3	2.07^{*}	0.38
2, 3	2	1.79^{*}	0.37
3, 5	3	0.53^{*}	0.38
3, 4	2	0.28^{ns}	0.37

6. กำหนดอักษร

ลำดับที่	1	2	3	4	5
อายุการเก็บ	0	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน
ค่าเฉลี่ย	5.00^{a}	3.43^{d}	1.64^{c}	1.36^{bc}	1.11^{b}

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง-1 ระดับสีผิวของมะนาวเมื่อเปรียบเทียบกับสีผิวจากแผ่นเทียบสี RHS (The Royal Horticultural Society London)

ระดับสีที่	ความหมาย (คะแนนสี)	สีผิวจากแผ่นเทียบสี RHS
0	ผลมีสีเขียวเข้มสม่ำเสมอหรือมีสีเหลืองปนอยู่น้อยกว่า 5% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (5 คะแนน)	Green group 137A, 137B, 137C, 141A, 143A Yellow green group 144A
1	ผลส่วนใหญ่เป็นสีเขียว มีสีเหลืองปนอยู่ประมาณ 5-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (4 คะแนน)	Yellow green group 144B
2	ผลมีสีเหลืองมากขึ้น คือมีสีเหลืองประมาณ 25-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (3 คะแนน)	Yellow green group 144C, 150A, 150B, 154 A
3	ผลมีสีส่วนใหญ่เป็นสีเหลือง คือมีสีเหลืองประมาณ 50-75% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (2 คะแนน)	Yellow green group 151C, 151D
4	ผลมีสีเหลืองมากกว่า 75% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด (1 คะแนน)	Yellow green group 151A, 151B, 153C Yellow group 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 7A, 9A

ตารางที่ ง-2 จำนวนผลมะนาวเป็นเปอร์เซนต์ที่อยู่ในระดับสีต่าง ๆ ที่อายุการเก็บรักษา 1 เดือน

ชุดของมะนาว และ การทดลองซ้ำที่	จำนวนผลเป็น % ที่อยู่ในระดับสีต่าง ๆ				
	ระดับ 0 (5 คะแนน)	ระดับ 1 (4 คะแนน)	ระดับ 2 (3 คะแนน)	ระดับ 3 (2 คะแนน)	ระดับ 4 (1 คะแนน)
$M(O)_1$	0.00	12.50	0.00	50.00	37.50
$M(O)_2$	0.00	0.00	31.25	31.25	37.50
$M(O)_3$	0.00	0.00	0.00	50.00	50.00
$M(O)_4$	6.25	18.75	18.75	37.50	18.75
$M(O)_5$	18.75	18.75	25.00	37.50	0.00
$M(K)_1$	0.00	25.00	18.75	50.00	6.25
$M(K)_2$	56.25	37.50	0.00	6.25	0.00
$M(K)_3$	0.00	25.00	43.75	12.50	18.75
$M(K)_4$	87.50	12.50	0.00	0.00	0.00
$M(K)_5$	25.00	0.00	6.25	31.25	37.50
$G(O)_1$	12.50	12.50	12.50	50.00	12.50
$G(O)_2$	31.25	25.00	18.75	6.25	18.75
$G(O)_3$	31.25	0.00	50.00	6.25	12.50
$G(O)_4$	68.75	25.00	6.25	0.00	0.00
$G(O)_5$	43.75	25.00	31.25	0.00	0.00
$G(K)_1$	56.25	37.50	6.25	0.00	0.00
$G(K)_2$	75.00	25.00	0.00	0.00	0.00
$G(K)_3$	56.25	25.00	12.50	0.00	6.25
$G(K)_4$	43.75	31.25	18.75	6.25	0.00
$G(K)_5$	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ง-3 จำนวนผลมะนาวเป็นเปอร์เซนต์ที่อยู่ในระดับสีต่าง ๆ ที่อายุการเก็บรักษา 2 เดือน

ชุดของมะนาว และ การทดลองซ้ำที่	จำนวนผลเป็น % ที่อยู่ในระดับสีต่าง ๆ				
	ระดับ 0 (5 คะแนน)	ระดับ 1 (4 คะแนน)	ระดับ 2 (3 คะแนน)	ระดับ 3 (2 คะแนน)	ระดับ 4 (1 คะแนน)
$M(O)_1$	0.00	0.00	0.00	25.00	75.00
$M(O)_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_5$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_1$	0.00	15.38	7.69	23.08	53.86
$M(K)_2$	0.00	14.29	14.29	42.86	28.56
$M(K)_3$	0.00	0.00	6.67	0.00	93.33
$M(K)_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_5$	0.00	0.00	0.00	18.75	81.25
$G(O)_1$	0.00	0.00	0.00	25.00	75.00
$G(O)_2$	0.00	0.00	0.00	31.25	68.75
$G(O)_3$	0.00	0.00	0.00	12.50	87.50
$G(O)_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_5$	0.00	0.00	18.75	18.75	62.50
$G(K)_1$	0.00	12.50	37.50	18.75	31.25
$G(K)_2$	0.00	6.25	18.75	31.25	43.75
$G(K)_3$	0.00	31.25	25.00	18.75	25.00
$G(K)_4$	25.00	18.75	31.25	12.50	12.50
$G(K)_5$	62.50	25.00	12.50	0.00	0.00

ตารางที่ ง-4 จำนวนผลมะนาวเป็นเปอร์เซนต์ที่อยู่ในระดับสีต่าง ๆ ที่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน

ชุดของมะนาว และ การทดลองซ้ำที่	จำนวนผลเป็น % ที่อยู่ในระดับสีต่าง ๆ				
	ระดับ 0 (5 คะแนน)	ระดับ 1 (4 คะแนน)	ระดับ 2 (3 คะแนน)	ระดับ 3 (2 คะแนน)	ระดับ 4 (1 คะแนน)
$M(O)_1$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_5$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_1$	0.00	0.00	13.33	60.00	26.67
$M(K)_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_5$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_1$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_5$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(K)_1$	66.67	0.00	13.33	13.33	6.67
$G(K)_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(K)_3$	0.00	12.50	6.25	37.50	43.75
$G(K)_4$	35.71	21.43	14.29	0.00	28.57
$G(K)_5$	0.00	0.00	0.00	12.50	87.50

ตารางที่ ง-5 จำนวนผลมะนาวเป็นเปอร์เซนต์ที่อยู่ในระดับสีต่าง ๆ ที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน

ชุดของมะนาว และ การทดลองซ้ำที่	จำนวนผลเป็น % ที่อยู่ในระดับสีต่าง ๆ				
	ระดับ 0 (5 คะแนน)	ระดับ 1 (4 คะแนน)	ระดับ 2 (3 คะแนน)	ระดับ 3 (2 คะแนน)	ระดับ 4 (1 คะแนน)
$M(O)_1$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(O)_5$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_1$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$M(K)_4$	0.00	0.00	0.00	20.00	80.00
$M(K)_5$	0.00	0.00	0.00	7.14	92.86
$G(O)_1$	0.00	6.67	0.00	6.67	86.67
$G(O)_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_3$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(O)_5$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
$G(K)_1$	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
$G(K)_2$	0.00	0.00	0.00	13.33	86.67
$G(K)_3$	0.00	12.50	12.50	18.75	56.25
$G(K)_4$	0.00	0.00	0.00	12.50	87.50
$G(K)_5$	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

ประวัติผู้เขียน

นางสาว สุวรรณ หล่อวิวัฒนพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2502 ที่จังหวัดสุรินทร์ ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2526 ได้รับทุนจากบัณฑิตวิทยาลัยในการทำวิจัยวิทยานิพนธ์นี้