

โครงการที่ 30/2562 (วศบ.อุตสาหกรรม)



การประยุกต์ใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่

นางสาวจันทรัตน์	ยานะสิทธิ์	รหัสนักศึกษา	590610260
นางสาวเมลานี	ตันอ้าย	รหัสนักศึกษา	590610327

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2562

หัวข้อโครงการ	การประยุกต์ใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่		
โดย	นางสาวจันทร์รัตน์	ยานะสิทธิ์	รหัสนักศึกษา 590610260
	นางสาวเมลานี	ตันอ้าย	รหัสนักศึกษา 590610327
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. วิสสนัย วรรณจรรย์ยา		
ปีการศึกษา	2562		

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้นับ
โครงการนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

กรรมการสอบโครงการ

..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.วิสสนัย วรรณจรรย์ยา)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.ชนนาถ กฤตวรกาญจน์)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.อลงกต แก้วโชติช่วงกุล)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง การใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาสตอเบอร์รี่ โดยได้รับการสนับสนุนโครงการวิจัยจาก รศ.ดร. วัสนัย วรธนนัจฉริยา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ช่วยในการเสนอการทำหัวข้อโครงการวิจัย ให้ข้อมูล แนะนำ เกี่ยวกับการทำโครงการวิจัยนี้ ตั้งแต่เริ่มทำโครงการวิจัยจนถึงกระทั่งแนะนำ และช่วยติดต่อไปทาง คณะเกษตรศาสตร์เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลเกี่ยวกับสตอเบอร์รี่ ทางผู้จัดทำวิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. พิมพีใจ สีหะนาม อาจารย์ของภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ข้อมูล และคำแนะนำเกี่ยวกับสตอเบอร์รี่ พีอีดี ห้องปฏิบัติการอาคารวิจัยนิเวตรอนพลังงานสูง ภาควิชาฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่คอยช่วยเหลือให้การทำทดลองเกี่ยวกับน้ำกระตุ้นพลาสมา พี่ฝ่าย นักศึกษาปริญญาโท พี่เอย์ พี่เนท พี่การ์ตูน นักศึกษาปริญญาเอก ที่คอยให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการทำน้ำกระตุ้นพลาสมา การใช้สารเคมีในการทดสอบ รวมไปถึงรายละเอียดต่าง ๆ ในโครงการวิจัย พี่อ้อย และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้คำปรึกษา และให้สถานที่ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบในเตรท ครูเจ๋ง ที่คอยแนะนำการใช้ห้องปฏิบัติการทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทั้งหมดที่คอยให้การช่วยเหลือตลอดการทำโครงการวิจัย

จันทร์รัตน์ ยานะสิทธิ์

เมลานี ต้นอ้าย

หัวข้อโครงการ	การประยุกต์ใช้น้ำกระดุนพลาสติกในการยืดอายุการเก็บรักษาสตอเบอร์รี่		
โดย	นางสาวจันทร์รัตน์	ยานะสิทธิ์	รหัสนักศึกษา 590610260
	นางสาวเมลานี	ตันอ้าย	รหัสนักศึกษา 590610327
ภาควิชา	วิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. วัสสนัย วรรณัจฉริยา		
ปีการศึกษา	2562		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาหาพารามิเตอร์ของการผลิตน้ำพลาสติกที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อราบนผลสตอเบอร์รี่ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของสตอเบอร์รี่ โดยศึกษาวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 3 ปัจจัย โดยปัจจัยมี 2 ระดับ คือ 2^3 ปัจจัยการทดลอง ได้แก่ เวลาในการดิสซาร์จน้ำพลาสติก ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต และระยะเวลาในการแช่ผลสตอเบอร์รี่ ซึ่งจะแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ คือ ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของเวลาในการดิสซาร์จน้ำพลาสติกและปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อน้ำหนึ่งลิตร โดยผลตอบคือ ค่าไนเตรทหลังจากที่ได้ผลตอบที่เหมาะสมจะนำผลตอบที่ได้ไปทดสอบกับระยะเวลาในการแช่ เพื่อหาระยะเวลาในการแช่ที่เหมาะสม โดยผลตอบของขั้นตอนนี้คือ ค่า pH ลักษณะภายนอกโดยรวมของสตอเบอร์รี่ และเปอร์เซ็นต์พื้นที่การเน่าเสียของสตอเบอร์รี่

จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ คือ เวลาในการดิสซาร์จน้ำพลาสติก และปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ที่ เวลาในการผลิตน้ำพลาสติก 30 นาที จะสามารถเก็บรักษาสตอเบอร์รี่เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งจากการทดลองนั้นเมื่อเราใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 6 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนึ่งลิตรจะช่วยลดเวลาในการผลิตน้ำพลาสติกเหลือเพียงแค่ 15 นาที ซึ่งสีของผลสตอเบอร์รี่มีสีที่เข้มข้น และมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

Project Title	Application of Plasma-Activated Water to Extend Shelf Life of Strawberry		
Name	Jantharat	Yanasid	code 590610260
	Maylane	Tanai	code 590610327
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University		
Project Advisor	Associate Professor Wassanai Wattanutchariya, D.Eng.		

ABSTRACT

This aims to study the parameters of suitable plasma water production parameters for killing fungi on strawberries for extend the shelf life of strawberries. This study uses full factorial design of 3 factors. There are 2 levels including Time of discharge, Sodium bicarbonate content and Strawberry Infusion Time. The study was divided into two phases, is conducted to determine the appropriate time to discharge water plasma. And sodium bicarbonate per liter of water. Phase 1 tests have 2 factors and 2 levels. Repeat the test 3 times and the results of the phase 1 test are nitrate values. After receiving the appropriate results, the results are tested with the duration of the infusion. The answer of Phase 2 is the pH, the appearance of the strawberry and the percentage of spoilage areas of strawberries including the two steps,

The results revealed that factors that significantly affect the experiment are the time of discharging and the amount of sodium bicarbonate in which the most appropriate value will be The plasma water discharging time is 30 minutes, with an average nitrate of 2.0 milligrams per liter Will be able to preserve strawberries for 4 days. In the experiment, when using 6 percent sodium bicarbonate per liter, the plasma water production time is reduced to just 15 minutes. In which the color of the strawberry is darker And has increased acidity.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บท 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายของพลาสมา	4
2.2 สตรอเบอร์รี่	9
2.3 การออกแบบการทดลอง	21
2.4 ความสำคัญของไนเตรท และไนไตรท์	26
2.5 ผลงานวิจัยในอดีต	28
บท 3 ระเบียบวิธีในการทำวิจัย	
3.1 ศึกษาการเน่าเสียของสตรอเบอร์รี่	31
3.2 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำพลาสมาจากเครื่องกระตุ้นน้ำพลาสมา	32
3.3 ออกแบบการทดลอง	34
3.4 ดำเนินการทดลองตามปัจจัยที่กำหนดไว้	35
3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อตอบผลตอบที่ได้ตั้งไว้	41
3.6 สรุปผลและจัดทำรายงาน	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บท 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลค่าวิเคราะห์ทดสอบไนเตรท	43
4.2 การวิเคราะห์ต้นทุน	51
4.3 พื้นที่การเกิดเชื้อราของสตรอเบอร์รี่ที่เน่าเสียด้วยเชื้อรา	52
4.4 การทดสอบระดับความเข้มข้นโดยใช้ Sensory test	53
4.5 การวัดค่า pH จากผลสตรอเบอร์รี่	55
บท 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 อภิปรายผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย	57
5.3 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	57
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	62
ภาคผนวก ข	66
ประวัติผู้เขียน	68

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบของอากาศ	8
2.2 การกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำ	27
3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำพลาสมา	33
3.2 รายละเอียดของปัจจัย ระดับขอบเขตของปัจจัย	34
3.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคที่เรียล phase 1	35
3.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคที่เรียล phase 2	36
3.5 การทดลองพลาสมา	37
3.6 การหาค่าไนเตรท	40
4.1 ปริมาณไนเตรทที่ได้จากการทดสอบ	44
4.2 แสดงต้นทุนในการผลิตน้ำพลาสมาปริมาณ 1 ลิตร ในเวลาที่ 15 นาที และ 30 นาที	51
4.3 เพอร์เซ็นต์พื้นที่การเกิดเชื้อราของสโตรเบอร์รี่ที่เน่าเสียด้วยเชื้อรา	52
4.4 แบบสอบถามระดับความชื้นสี	53
4.5 ค่า pH ที่ได้จากการทดลอง	54
5.1 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	58

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 ความแตกต่างของสถานะก๊าซ และพลาสมา	5
2.2 รูปร่างของสตรอเบอร์รี่แบบต่าง ๆ	10
2.3 ระบบรากของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80	18
2.4 ลำต้นของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80	18
2.5 ดอกของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80	19
2.6 ผลของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80	20
2.7 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ	21
2.8 ตัวอย่างภาพการทดลอง 2^2 แฟคทอเรียล	23
2.9 แสดงพื้นผิวผลตอบแบบสามมิติ	24
2.10 ความแน่นของการควบคุม และสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการบำบัด ACP	28
2.11 พารามิเตอร์สีของการควบคุมที่ไม่ผ่านการบำบัด และสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการบำบัด ACP	29
3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	30
3.2 สตรอเบอร์รี่ที่มีขนาด และความสดที่ 75 เปอร์เซ็นต์	36
3.3 การเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่ผ่านการแช่ในระยะเวลาต่าง ๆ ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ ที่ 25 องศาเซลเซียส	37
3.4 การเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่ผ่านการทดลองระยะที่ 2	41
3.5 การเปรียบเทียบเพื่อหาค่า pH	42
4.1 ชุดทดสอบไนเตรท	43
4.2 การแสดงค่าของไนเตรทที่ได้ทดสอบ	45
4.3 การแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าไนเตรท	45
4.4 ความเข้มข้น และการดูดกลืนแสงของไนเตรทครั้งที่ 1	46
4.5 ความเข้มข้น และการดูดกลืนแสงของไนเตรทครั้งที่ 2	46
4.6 ความเข้มข้น และการดูดกลืนแสงของไนเตรทครั้งที่ 3	47
4.7 ผลทดสอบ T-test ครั้งที่ 1	47
4.8 ผลทดสอบ T-test ครั้งที่ 2	48

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.9 ผลจากการทดสอบ ANOVA ใน SPSS	48
4.10 การทดสอบทางสถิติเพื่อหาความแตกต่าง	49
4.11 การทดสอบแบบ Duncan	50
4.12 การทดสอบแบบ Fisher Pairwise	50
4.13 ตัวอย่างสตรอเบอร์รี่ที่เกิดการเน่าเสียแบบรอยดำ และเมล็ดมีสีดำ	53
4.14 กราฟระดับความเข้มของสีสตรอเบอร์รี่	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

สตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่มีความนิยมสูงในประเทศไทยมีการปลูกอย่างแพร่หลายในหลายจังหวัดของประเทศไทย ซึ่งพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และในพื้นที่สูง โดยมีความสำคัญในภาคเศรษฐกิจอย่างมากในเชิงท่องเที่ยว และการเกษตร จึงมีโครงการวิจัยสตรอเบอร์รี่ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการหลวงเนื่องจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ได้เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2517 โดยได้รับทุนจากฝ่ายงานวิจัยกระทรวงเกษตรประเทศสหรัฐอเมริกา ให้นำสตรอเบอร์รี่หลากหลายสายพันธุ์เข้ามาในประเทศไทย เพื่อนำมาปลูกทดลองเพื่อหาสายพันธุ์ที่สามารถนำไปปลูกได้ในพื้นที่ที่มีอากาศหนาวเย็นของทางภาคเหนือได้ ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 13 พระราชทาน 16 และพระราชทาน 20 ได้พระราชทานสตรอเบอร์รี่สายพันธุ์ใหม่จำนวน 3 สายพันธุ์ เพื่อให้เกษตรกรชาวเขานำสตรอเบอร์รี่ไปปลูกเป็นพืชทดแทนการปลูกฝิ่นของเกษตรกรชาวเขาในภาคเหนือ และส่งเสริมรายได้ให้เกษตรกรชาวเขา โดยยังมีการพัฒนาสายพันธุ์มาโดยตลอด โดยในปัจจุบันสายพันธุ์สตรอเบอร์รี่มีความหลากหลายซึ่งสายพันธุ์ที่ปลูกเพื่อเป็นการค้าส่วนใหญ่ภายในประเทศนั้น ได้แก่สายพันธุ์พระราชทาน 16 พระราชทาน 50 พระราชทาน 70 พระราชทาน 72 พระราชทาน 80 และพระราชทาน 88 จากแต่ละสายพันธุ์จะมีรสชาติ รูปร่าง และความหนาแน่นของเนื้อสตรอเบอร์รี่ที่ต่างกันไปแต่ละสายพันธุ์ โดยสตรอเบอร์รี่จะมีผลผลิตในปริมาณมากในช่วงฤดูหนาว ซึ่งทั่วไปมีการนำเอาสตรอเบอร์รี่ไปบริโภคแบบหลากหลาย เช่น การนำเอาไปทำแยมสตรอเบอร์รี่ น้ำผลไม้ที่สกัดจากผลสตรอเบอร์รี่ หรือเป็นส่วนวัตถุดิบผสมในจำพวกผลิตภัณฑ์ประเภทเบเกอรี่ เป็นต้น รวมถึงการรับประทานผลสตรอเบอร์รี่แบบสด โดยสตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้เมืองหนาว อยู่สกุลเดียวกับกุหลาบ เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก ซึ่งมีลักษณะผิวเปลือกที่บาง และมีเมล็ดเล็ก ๆ เกาะอยู่บนผล ผลอ่อนสีขาว ผลสุกจะมีสีแดง หรือสีแดงอมส้มมีเนื้อสีแดง เนื้อนุ่มฉ่ำน้ำ มีรสชาติเปรี้ยวหรือหวาน ตามสายพันธุ์ โดยสตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่มีสรรพคุณ

หลายอย่างไม่ว่าจะเป็น วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินเค วิตามินอี วิตามินซี และมีสารต่อต้านอนุมูลอิสระสูง ช่วยรักษาโรคเหน็บชา โรคเหน็บชา โรคเหน็บชา ป้องกันโรคเกาต์ และช่วยป้องกันโรคกระดูก และช่วยบำรุงผิวพรรณ

ประเทศไทยมีการส่งออกผลสตรอเบอร์รี่ในเชิงอุตสาหกรรมไปยังต่างประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531 และสามารถทำรายได้หลายร้อยล้านบาทต่อปี โดยปัจจุบันยังมีความต้องการของตลาดทั้งภายใน และต่างประเทศเพื่อใช้ผลิตของสตรอเบอร์รี่ในเชิงอุตสาหกรรมเป็นปริมาณมากมายต่อปี และกำลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามจำนวนประชากร ประเทศญี่ปุ่นเป็นแหล่งใหญ่ของไทยในการนำเข้าผลสตรอเบอร์รี่ เพื่อใช้ในการแปรรูปมากที่สุด (ที่ผ่านมามีประมาณ 1,000-3,000 ตันต่อปี) นอกจากนี้ยังเคยมีการขนส่งผลสตรอเบอร์รี่ไปจำหน่ายยังประเทศฮ่องกง สิงคโปร์ และบางประเทศในแถบยุโรปบ้างเล็กน้อยโดยมูลนิธิโครงการหลวงอีกด้วย

จากการที่สตรอเบอร์รี่นั้นเป็นผลไม้ที่มีเปลือกบาง ลักษณะบอบบาง และยังอ่อนไหวกับสภาพแวดล้อมภายนอกเป็นอย่างมาก โดยสตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้เน่าเสียได้ง่าย ผลจะเน่าเสียภายใน 2-3 วันหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิห้อง การเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 จะเก็บรักษาได้ประมาณ 5-7 วัน สำหรับการนำเข้าผลสตรอเบอร์รี่ไปแปรรูปนั้น ถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1.7 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลา 7 วัน โดยสาเหตุหนึ่งในการเน่าเสียของสตรอเบอร์รี่นั้นคือเกิดจากการเข้าทำลายจากเชื้อรา ซึ่งมีการเข้าทำลายแบบแฝงโดยไม่แสดงอาการอยู่ที่ผิวของผลไม้ที่ยังอ่อน และเมื่อผลสุกจึงแสดงอาการของโรคระหว่างการเกิดโรคเชื้อราบางชนิดอาจมีการสร้างสารพิษจากเชื้อรา หรือสารทุติยภูมิ (Secondary Metabolites) แตกต่างกัน ซึ่งมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ และสัตว์เมื่อบริโภคเข้าไป เชื้อราส่วนใหญ่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตซึ่งพบอยู่ทั่วไป โดยอาศัยอินทรีย์วัตถุในที่มีมีความชื้น และอุณหภูมิเหมาะสม เชื้อราหนึ่งชนิดสามารถสร้างสารพิษได้หลายชนิด โดยเชื้อราที่สามารถพบในสตรอเบอร์รี่ เชื้อรา *Penicillium Expansum* ซึ่งเป็นเชื้อราสาเหตุโรคเน่า (Blue mold rot) ของแอปเปิล สาลี่ องุ่น เมล่อน สตรอเบอร์รี่ นอกจากนี้ *Penicillium spp.* อื่น ๆ ที่เป็นสาเหตุการเน่าเสียของผักผลไม้ โดยเชื้อราพวกนี้เมื่อนำมาปลูกจากทั้งหมดของผลผลิตเกิดติดเชื้อราก็สามารถทำให้ผลอื่น ๆ เกิดติดเชื้อราตามไปด้วยส่งผลให้ผลผลิตหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วเสียหาย และเสียมูลค่า ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทต่อเกษตรกรรมของโลกอย่างมาก ประเทศชั้นนำของโลก ทั้งแถบเอเชีย ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ หรือแม้กระทั่งประเทศแถบยุโรป อังกฤษ และเยอรมัน ได้มีการนำเทคโนโลยีพลาสติกมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนากระบวนการเกษตรกรรมมากขึ้น ทั้งยังมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสติกทั้งแบบสารละลาย และก๊าซ ในการล้างสารพิษตกค้างในผัก และผลไม้ ตลอดจนสามารถใช้เทคโนโลยีพลาสติกสำหรับการยืดอายุ ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ด้วย พลาสติก

(Plasma) เป็นสถานะที่ 4 ของสสาร ซึ่งก็คือ แก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน หรือแก๊สที่มีประจุ โดยพลาสมานั้นจะเกิดขึ้นได้จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความเข้มสูงกับแก๊สที่เป็นกลางทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงซึ่งอิเล็กตรอนอิสระที่ได้รับพลังงานสูงจะวิ่งเข้าชนกับอะตอมของแก๊ส ทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมแก๊สหลุดออกมา ซึ่งเป็นกระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization)

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการประยุกต์ใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่เพื่อทราบภาวะที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาในการยืดอายุของสตรอเบอร์รี่ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิค (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการผลิตน้ำพลาสมาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อราบนผลสตรอเบอร์รี่ โดยกำหนดให้มีการศึกษาปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยการทดลอง ได้แก่ เวลาในการผลิตน้ำพลาสมา ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต และเวลาในการแช่สตรอเบอร์รี่

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการผลิตน้ำพลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 การประเมินความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษาจะการวิเคราะห์จากคุณลักษณะพื้นที่การเกิดเชื้อรา และการเปลี่ยนไปของค่า pH โดยจะทำการตรวจสอบเชิงห้องปฏิบัติการ

1.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการยืดอายุการเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่จะนับจากการับผลสตรอเบอร์รี่หลังจากการเก็บเกี่ยวที่มีความสุกเฉลี่ยที่ร้อยละ 75 ต่อบรรจุภัณฑ์

1.3.3 การออกแบบการทดลอง Design of Experiment (DOE) จะกำหนดปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการผลิตน้ำพลาสมา ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต และเวลาในการแช่สตรอเบอร์รี่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการผลิตน้ำพลาสมาสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

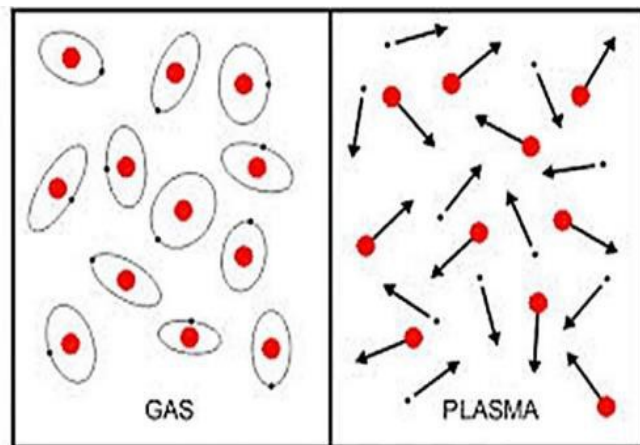
2.1 ความหมายของพลาสมา

2.1.1 พลาสมา

พลาสมา คือ ก๊าซที่แตกตัวอย่างสมบูรณ์อยู่ในสภาพที่เป็นกลุ่มของไอออน และอิเล็กตรอนดังแสดงในภาพ 2.1 พลาสมาจึงจัดเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งประจุบวก และประจุลบในสัดส่วนที่เท่ากันทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์การอยู่รวมกันของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบประหนึ่งเป็นกลาง ซึ่งหมายความว่า อิเล็กตรอน และไอออนในบริเวณนั้น โดยรวมแล้วมีจำนวนเท่า ๆ กัน และแสดงพฤติกรรมร่วม (Collective Behavior) ซึ่งหมายถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคต่าง ๆ ในพลาสมา ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในบริเวณนั้น ๆ เท่านั้น ยังรวมไปถึงผลโดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่ และผลเหล่านี้มีอิทธิพลมากกว่าการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุลจะมีการสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่า ความถี่ในการชนกันของอนุภาค 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า พฤติกรรมร่วมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงออกมาร่วมกัน พลาสมา สามารถเกิดได้โดยการให้พลังงานที่มากเพียงพอแก่สสารในสถานะก๊าซจนทำให้ก๊าซเกิดการแตกตัวเป็นไอออนตัวอย่างเช่น การสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงให้ก๊าซซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า และเคลื่อนที่ชนกับอะตอม หากพลังงานที่อิเล็กตรอนอิสระมีมากเพียงพอจะทำให้อิเล็กตรอนใน อะตอมของก๊าซหลุดออกมากลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ และอะตอมของก๊าซจะกลายเป็นไอออนโดยกระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมาก และกระบวนการนี้ก็จะเกิดต่อไปเรื่อย ๆ จนในที่สุดก๊าซก็จะกลายเป็นพลาสมาทั้งหมด

พลาสมามีสมบัติเฉพาะที่แตกต่างจากสถานะอื่น ๆ (ของแข็งของเหลว และก๊าซ) โดยมี คุณสมบัติ 3 ประการ คือ ประการแรกคือความยาวเดอบายด์ (Debye Length: λ_D) ซึ่งเป็นระยะที่ สนามจากประจุนั้นโดนกำบัง (Shielding) และโดยหลักพื้นฐานของพลาสมาระยะนี้จะต้องมีค่าน้อยกว่าระยะระหว่างพลาสมา มาก ๆ ($\lambda_D \ll L$, L คือระยะระหว่างพลาสมา) ประการ

ที่สองจำนวน อนุภาคภายในทรงกลมเดอบายด์ (Number of Particle: ND) ซึ่งเป็นทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับความยาวเดอบายด์จะต้องมีอนุภาคอยู่จำนวนมาก และประการสุดท้ายความถี่พลาสมา (Plasma Frequency: ω_p) คือความถี่ของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเพื่อให้พลาสมากลับคืนสู่สภาพความเป็นกลางทางไฟฟ้าหลังจากที่พลาสมาถูกรบกวนกล่าวคือเมื่อพลาสมาถูกรบกวนโดยศักย์ภายนอกมากระทำ ทำให้อิเล็กตรอนซึ่งมีมวลน้อยกว่าไอออนมากเคลื่อนที่เปลี่ยนไปจากตำแหน่งสมดุลพลาสมาจึงเสียความเป็นกลางทางไฟฟ้า ณ ขณะนั้น เพื่อให้พลาสมากลับเข้าสู่สภาพความเป็นกลางทางไฟฟ้าตามเดิมก็จะเกิดแรงดึงดูดกลับกระทำต่ออิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่กลับไปยังจุดสมดุลแต่เนื่องจากแรงเฉื่อยอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่เลยจุดสมดุล และเกิดการสั่นรอบจุดสมดุลนี้ด้วยความถี่ที่เรียกว่า ความถี่ของพลาสมา และการสั่นนี้ก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนไอออนไม่มีเวลาที่จะตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้จนสามารถพิจารณาได้ว่า ไอออนมีตำแหน่งคงที่



ภาพ 2.1 ความแตกต่างของสถานะก๊าซ (Gas) และพลาสมา (Plasma)

ที่มา : ธวัชชัย อ่อนจันทร์, 2551

2.1.2 กระบวนการเกิดพลาสมา

กระบวนการเกิดพลาสมาโดยเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นกับอนุภาคของก๊าซในที่นี้ได้ทำการยกตัวอย่าง ก๊าซอะเซทิลีนประกอบเพื่อให้เข้าใจถึงสภาวะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นตอน ชัดเจนดังต่อไปนี้

1) กระบวนการการแตกตัวของไอออน (Ionization)

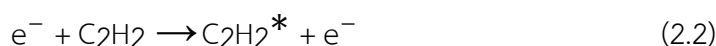
ในการเกิดปฏิกิริยาของพลาสมาในห้องสุญญากาศซึ่งมีก๊าซไหลผ่านในระดับคงที่ และความดันต่ำมาก ๆ โมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซในสุญญากาศอาศัยการชนของอิเล็กตรอนกับโมเลกุลหรืออะตอมเป็นสำคัญโดยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency) หรือคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานจนไปชนกับโมเลกุลหรืออะตอม ดังสมการ 2.1 เป็นตัวอย่างสมการ

ของอะตอมของอะเซทิลีนซึ่งในกรณีนี้แสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนนั้นมีค่ามากกว่า Ionization Energy



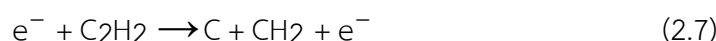
2) กระบวนการการกระตุ้น (Excitation)

พลังงานที่ส่งผ่านเมื่ออิเล็กตรอนกระโดดไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าทำให้อะตอมนั้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้นซึ่งแสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่าพลังงานการแตกตัวของไอออน (Ionization Energy) ดังแสดงในสมการที่ 2.2 โดย $C_2H_2^*$ คืออะตอมของอะเซทิลีนที่อยู่ในสถานะกระตุ้น

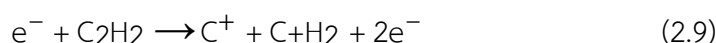
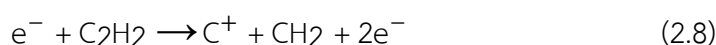


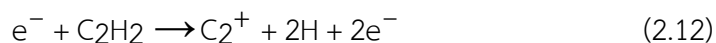
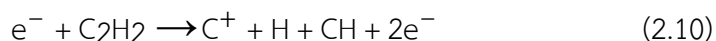
3) กระบวนการการแตกตัวของอะตอม (Dissociation)

กระบวนการสุดท้ายที่สามารถเกิดขึ้นได้โดยโมเลกุลเกิดการแตกตัว ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการแตกตัวดังแสดงในสมการ 2.3-2.7



ผลของการแตกตัวจะเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีคือผลผลิตที่ได้จะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าตอนที่อะตอมยังไม่แตกตัวการแตกตัว (Dissociation) อาจเกิดควบคู่กับ Ionization หรือไม่ก็ได้ถ้าเกิดคู่กันจะเรียกว่า (Dissociative Ionization) ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการ Dissociative Ionization ได้ดังสมการ 2.8-2.13





เมื่อก๊าซได้รับพลังงานจากคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency: RF) หรือคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ที่ความดันต่ำ เราจะมองเห็นพลาสมาที่เปล่งแสงออกมาเนื่องจากพลังงานภายนอกทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นโดยธรรมชาติอิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นได้เพียงประมาณ 10-18 วินาทีหลังจากนั้น เวเลนซ์อิเล็กตรอนจะกลับคืนสู่สถานะพื้นพร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถเห็นได้ (Visible Light) การเปล่งแสงของพลาสมาสามารถบ่งถึงลักษณะของก๊าซที่แตกตัวได้ เช่น ก๊าซอาร์กอน (Argon: Ar) จะเปล่งแสงสีม่วง และก๊าซไนโตรเจน (N₂) จะเปล่งแสงเป็นสีชมพู ซึ่งบ่งบอกถึงสถานะกระตุ้นโมเลกุลของไนโตรเจน

2.1.3 องค์ประกอบของอากาศภายในโลก

อากาศจัดเป็นของผสม โดยประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ เช่น ไอน้ำ เขม่า คาร์บอน และอนุภาคต่าง ๆ ปะปนกันอยู่ สำหรับอากาศที่ไม่มีไอน้ำอยู่เลย เรียกว่า อากาศแห้ง ส่วนอากาศที่มีไอน้ำเป็นส่วนผสมอยู่ด้วยเรียกว่า อากาศชื้น ส่วนผสมของอากาศในที่ต่าง ๆ จะแตกต่างกันไปตามสถานที่และเวลา อีกทั้งส่วนประกอบของอากาศในดินไม่มีสัดส่วนที่คงที่เหมือนของบรรยากาศเพราะในดินจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผิวดินแปรตลอดเวลาตามกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในดิน เช่น การสลายตัวของสารอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ด้วยเหตุนี้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในดินจึงไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ และความชื้นของดิน โดยดินที่มีอุณหภูมิ และความชื้นสูงจะช่วยให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในดินมีอัตราสูงขึ้นทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยออกมามากขึ้นด้วย นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดที่มีอยู่ในดินจะทำให้เกิดกระบวนการตรึงก๊าซไนโตรเจน และออกซิเจน ทำให้ก๊าซที่เป็นองค์ประกอบของอากาศในดินมีความผันแปรสูง

องค์ประกอบหลักกว่าร้อยละ 78.08 ของอากาศเป็นก๊าซไนโตรเจน (N₂) มีคุณสมบัติที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นแต่เมื่อมีอะตอมเดี่ยวของมันแยกออกมาจะรวมเข้าเป็นองค์ประกอบของสารอื่น เช่น สารไนเตรท จะมีบทบาทสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต และอีกกว่าร้อยละ 20.95 เป็นก๊าซออกซิเจน (O₂) ซึ่งเป็นผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของพืช สาหร่าย แพลงตอน และสิ่งมีชีวิตอีกทั้งยังมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอื่น และช่วยให้ไฟติด ถ้าปริมาณของออกซิเจนในอากาศมีมากกว่าร้อยละ 35 โลกทั้งดวงจะลุกไหม้ติดไฟ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตบนโลกจึงวิวัฒนาการให้มีสัตว์ซึ่งใช้ออกซิเจนใน

การเผาผลาญธาตุอาหาร และคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 0.93 ก๊าซอาร์กอน (Ar) เป็นก๊าซเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นเกิดขึ้นจากการสลายตัว (ซากกัมมันตภาพรังสี) ของธาตุโปแตสเซียมภายในโลก และอีกร้อยละ 0.036 เป็นในส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) แม้มีอยู่ในบรรยากาศเพียงร้อยละ 0.036 แต่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดซึ่งแผ่ออกจากโลก ทำให้โลกอบอุ่น อุณหภูมิของกลางวัน และกลางคืนไม่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นแหล่งอาหารของพืช ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 0.01 เป็นในส่วนของก๊าซอื่น ๆ โดยทั้งนี้สิ่งที่แสดงให้เห็นว่าในอากาศนั้นมีฝุ่นละอองอยู่ คือลำแสงที่ส่องไปในอากาศ โดยเราจะสังเกตพบว่ามีฝุ่นละอองลอยปะปนอยู่ในลำแสงนั้น โดยสามารถสรุปได้ดังตาราง 2.1

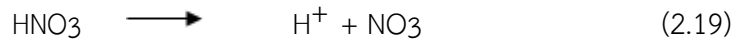
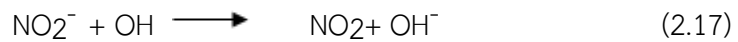
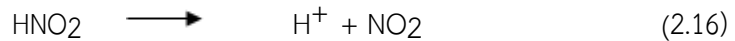
ตาราง 2.1 แสดงส่วนประกอบของอากาศ

ส่วนประกอบของอากาศ	ปริมาณ (ร้อยละโดยปริมาตร)
ก๊าซไนโตรเจน (N ₂)	78.08
ก๊าซออกซิเจน (O ₂)	20.95
ก๊าซอาร์กอน (Ar)	0.93
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	0.03
ก๊าซอื่น ๆ	0.01

2.1.4 การแตกตัวของไอออนในอากาศ

พลาสมามีความแตกต่างจากสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยมีเงื่อนไข 3 คือ ความยาวคลื่นเดอบาย จำนวนอนุภาค และความถี่พลาสมา ซึ่งทำให้พลาสมามีความจำเพาะเจาะจงที่แตกต่างจากสถานะอื่น พลาสมาสามารถเกิดได้โดยการให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่ก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมาก จะทำให้ก๊าซแตกตัว และกลายเป็นพลาสมาในที่สุด โดยกระบวนการแตกตัวของไอออนในอากาศจะเกิดไนเตรท และไนไตรท์ ดังสมการ 2.14-2.19





2.2 สตรอเบอร์รี่

สตรอเบอร์รี่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Fragaria x ananassa* Duch. อยู่ในวงศ์ Rosaceae เป็นไม้ผลเมืองหนาวและเป็นพุ่มขนาดเล็ก ต้นสตรอเบอร์รี่ประกอบด้วย ราก ยอด ใบ ช่อดอก และผล ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิด และพันธุ์ด้วยเหตุนี้ต้นสตรอเบอร์รี่จึงสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้อย่างกว้างขวาง ทำให้พบว่าการปลูกสตรอเบอร์รี่กันอย่างมากมายในหลายประเทศทั่วโลก ตั้งแต่แถบขั้วโลกถึงเขตร้อน สตรอเบอร์รี่ เป็นผลไม้ที่ต้องการอากาศหนาวเย็น ในช่วงการเจริญและการออกดอกออกผลจึงมีพื้นที่ปลูกมากทาง ภาคเหนือตอนบน โดยเฉพาะเชียงใหม่ และเชียงราย และปลูกอีกเล็กน้อยในบางส่วนของภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ การแบ่งประเภทของสตรอเบอร์รี่ตามจำนวนโครโมโซมแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ Diploid $2n = 4$, Tetraploid $2n = 28$, Hexaploid $2n = 42$ และ Octaploid $2n = 56$ สำหรับสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกเป็นการค้า มีจำนวนโครโมโซม Octaploid ($2n = 8x = 56$) และเป็นกลุ่ม *Fragaria X ananassa* Duch. ซึ่งเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างสตรอเบอร์รี่พื้นเมืองของสหรัฐอเมริกา คือ *F. chiloensis* กับ *F. virginiana*

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของผลสตรอเบอร์รี่

1) รูปร่างผลสตรอเบอร์รี่

ผลสตรอเบอร์รี่มีรูปร่างหลายแบบแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ และตำแหน่งของผล ในข้อ รูปร่างผลทั่วไปดูได้จากรูปร่างของฐานรองดอกภายในข้อผล ผลแรกซึ่งมีขนาดใหญ่ มีรูปร่างไม่แน่นอนมักกว้าง และแบนเป็นรูปรีหรือเป็นแฉกรูปหงอนไก่ผลลำดับถัดมามักมีรูปร่างปกติ และคงที่สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง มีผลกระทบทำให้ผลสตรอเบอร์รี่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน เช่น สตรอเบอร์รี่ที่ปลูกบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนมากผลมีลักษณะเป็น รูปทรงกลม แต่ที่ปลูกในตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย ผลมีรูปร่างแบบกรวยยาวกับทรงยาวมีคอ รวมถึงสตรอเบอร์รี่สายพันธุ์ Marshall มักมีรูปร่างผลหลายรูปแบบเมื่ออุณหภูมิต่ำ สำหรับผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 16 มักมี รูปร่างไม่แน่นอน มีทั้งทรงกลมแบน ทรงกรวย และทรงกลม ในขณะที่ผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 มีรูปร่าง 6 แบบ คือ ทรงกลมปลายแหลม ทรงกรวย ทรงกรวยยาว ทรงกรวย ยาวมีคอ ทรงกลมยาวและทรงกลมสั้น รวมถึงผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 72

มีรูปร่าง 5 แบบ คือ ทรงกลมปลายแหลม ทรงแหลม ทรงแหลมยาว ทรงลิ่มยาว และทรงลิ่มสั้น โดยส่วนใหญ่ มีรูปร่างผลแบบทรงแหลม นอกจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น แล้วแมลง และโรค การผสมเกสรที่ไม่สมบูรณ์การขาดน้ำหรือมีความชื้นสูงเกินไป ก็ส่งผลทำให้เกิดความผันแปรของรูปร่างผลสตรอเบอร์รี่ได้ สำหรับรูปร่างของผลสตรอเบอร์รี่ทั้ง 8 ลักษณะ คือ ทรงกลมแป้น (Oblate) ทรงกลม (Globose) ทรงกลมปลายแหลม (Globose Conic) ทรงแหลม (Conic) ทรงแหลมยาว (Long Conic) ทรงยาวมีคอ (Necked) ทรงลิ่มยาว (Long Wedge) และทรงลิ่มสั้น (Short Wedge) มีแสดงดังภาพ 2.2



ภาพ 2.2 รูปร่างของสตรอเบอร์รี่แบบต่าง ๆ

ที่มา : <http://strawberry.ifas.ufl.edu/breeding/varieties.htm>

2) ความแน่นเนื้อ

เมื่อผลสตรอเบอร์รี่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีผนังเซลล์ที่แข็งแรง ผลสตรอเบอร์รี่ที่มีขนาดใหญ่จะมีเนื้อนุ่มกว่าผลที่มีขนาดเล็กเนื่องจากมีน้ำในผลมาก และเมื่อผลสตรอเบอร์รี่มีอายุหรือการสุกมากขึ้นจะมีความแน่นเนื้อลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของภักดี (2545) ที่รายงานว่า ผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 50 และ 70 มีความแน่นเนื้อลดลงหลังจากที่ผลมีอายุ 25 วัน หลังดอกบานเต็มที่จนถึงผลสุกงอม การที่สตรอเบอร์รี่มีผลนุ่ม ทำให้มีความต้านทานต่อการเสียหายทางกลลดลง ช้ำง่าย ดังนั้นผลสตรอเบอร์รี่ที่มีคุณภาพดีต้องมีขนาดใหญ่และเนื้อแน่น ตามปกติความแน่นเนื้อจะผันแปรไปตามพันธุ์อุณหภูมิความชื้น และระยะความแก่ ขนาดของผลรวมทั้งปริมาณน้ำในผลต้นสตรอเบอร์รี่ที่เจริญเติบโตทางใบมากจะทำให้ผลนุ่มละ และผลจะนุ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การนุ่มของผลไม่เกิดจากการที่เซลล์เสียความสามารถในการเกาะติดกัน และการที่เพกทินเปลี่ยนรูปไป ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทิน นอกจากนั้น S-adenosylmethionine (SAM) ทำให้กลุ่มคาร์บอกซิลในเพกทินถูก Methylation ส่งผลให้เกิดการแตกหักของ Calcium Cross-Link ระหว่างเพกทิน นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของ

ผนังเซลล์ในแง่ของสารประกอบเพกทินแล้ว การเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลสยังมีความสัมพันธ์กับการอ่อนตัวลงของผลไม้ระหว่างการสุกในระหว่างการสุกของผลไม้บางชนิดปริมาณโมโนเมอร์ของเฮมิ-เซลลูโลสจะไม่เปลี่ยนแปลงแต่จะเกิดการละลายของส่วนประกอบในเฮมิเซลลูโลสจากรายงานของ Spayd และ Morris (1981) พบว่าผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Cardinal และ A-5344 ที่เก็บเกี่ยวในระยะผลสีเขียว มีปริมาณเซลลูโลสและโพรโทเพกทินสูง และปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้ต่ำ และในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอร์รี่ปริมาณเพกทินที่ไม่ละลายน้ำหรือโพรโทเพกทินจะลดลง ทำให้ผลนิ่ม ช้ำ และเชื้อราเข้าทำลายได้ง่ายจึงเน่าเสียได้อย่างรวดเร็ว

3) กรดอินทรีย์

ผัก และผลไม้มีกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ มากมาย โดยส่วนใหญ่เป็นกรดที่อยู่ในวิถีเครปส์ (Krebs' cycle) ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นระหว่างกระบวนการหายใจภายในเซลล์โดยการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ที่ปรากฏอยู่ในผัก และผลไม้มีสมบัติเป็นกรด เพราะมีหมู่คาร์บอกซิล หรือ COOH กรดอินทรีย์เหล่านี้อาจจะละลายในน้ำอยู่ในรูปที่เป็นอิสระหรือรวมกับสารโมเลกุลอื่นเกิดเป็นเกลือเอสเทอร์หรือไกลโคไซด์ก็ได้ผลไม้บางชนิดมีปริมาณกรดอินทรีย์สูงมากจนเกิดเป็นผลึก เช่น แคลเซียมออกซาเลตในกรณีของรูบาร์บ หรือองุ่นมีผลึกของโพแทสเซียมไบทาร์เทรต กรดอินทรีย์ที่อยู่ในผัก และผลไม้มีผลต่อรสชาติของผัก และผลไม้โดยตรง และยังเป็นแหล่งที่สำคัญของสารเริ่มต้นในกระบวนการหายใจด้วย กรดอินทรีย์สะสมอยู่ในแวคิวโอลของเซลล์ผัก และผลไม้เป็นส่วนใหญ่และมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ซึ่งเป็นที่ใช้บังคับขึ้นความแก่โดยวัดจากปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้หรืออัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรด โดยทั่วไปในขณะที่ผลไม้อยู่ในวัยอ่อนจะมีปริมาณกรดสูงทำให้รสชาติไม่อร่อย ไม่เหมาะสมกับการบริโภคขณะเดียวกันก็ไม่เหมาะต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคด้วย และเมื่อผลไม้สุกรวมถึงภายหลังการเก็บเกี่ยว ปริมาณกรดภายในผลไม้จะลดลง เพราะถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจหรือถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ศึกษาปริมาณกรด 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดซัคซินิก (Shikimic) ในผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Chandler พบว่า ปริมาณกรดซิตริกเพิ่มขึ้นตลอด แต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนปริมาณกรดมาลิก และซัคซินิกมีการ เพิ่มขึ้นเช่นกันซึ่งลักษณะการเพิ่มของปริมาณกรดทั้งสองชนิดมีลักษณะคล้ายกัน คือ มีการเพิ่มอย่าง รวดเร็วหลังจากวันที่ 21 นับจากเริ่มติดผลจนกระทั่งมีปริมาณกรดทั้งสองสูงที่สุดในวันที่ 35 นับจาก เริ่มติดผล และหลังจากนั้น ปริมาณกรดทั้งสองจะลดลงกรดที่พบมากในสตรอเบอร์รี่คือ กรดซิตริก และมาลิก จากรายงานของ Ulrich (1970) พบว่าผลสตรอเบอร์รี่สุกมี ปริมาณกรดซิตริก กรดมาลิก กรดซัคซินิก และกรดควินิกประมาณ 10-18, 1-3, 0.1 และ 0.1 มิลลิกรัมสมมูลต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ

4) วิตามินซี

วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกในผัก และผลไม้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ Reduced Ascorbic Acid จะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไปเป็นรูปที่ 2 คือ Monohydroascorbic Acid ซึ่งไม่เสถียร และถูกเปลี่ยนไปเป็น รูปที่ 3 คือ Dehydroascorbic Acid (DHA) และอาจถูกออกซิไดซ์ไปเป็น 2,3-Deketoglulonic Acid ซึ่งไม่มีสมบัติของวิตามินซีวิตามินซีในผัก และผลไม้ส่วนใหญ่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์อยู่ในรูป Reduced Ascorbic Acid ปริมาณวิตามินซีในรูปต่าง ๆ นี้ยังขึ้นอยู่กับอายุของ ผักและผลไม้เมื่อเก็บเกี่ยวด้วยผลที่ยังอ่อนจะมีปริมาณกรดสูงทำให้ปริมาณวิตามินซีสูงตามไปด้วย และเมื่อผลเริ่มแก่ปริมาณกรดจะลดลง ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงด้วย วิตามินซีเกิดการสูญเสียง่าย ที่สุดเมื่อผัก และผลไม้ที่เก็บเกี่ยวแล้วอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ เหนือจุดเยือกแข็งเกิดการเกิดบาดแผล รอยขีด และการเหี่ยว เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารชนิด Strong Reducing ที่มีควมคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อถูกแสงก๊าซ และอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิ ต่ำ เหนือจุดเยือกแข็ง ในช่วงแรกผลสตรอเบอร์รี่ที่ตัดแล้วจะสูญเสียวิตามินซีประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์และสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็น 85-95 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 2 วัน ส่วนผลสตรอเบอร์รี่ที่ไม่ผ่าจะไม่ สูญเสียวิตามินซีในระยะเวลา 3 วันแรก

5) สารประกอบอะโรมาติก (Aromatic Compound)

ผัก และผลไม้แต่ละชนิดมีกลิ่นแตกต่างกันโดยเฉพาะผลไม้จะมีกลิ่นเฉพาะ สารที่ให้กลิ่นเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย ที่พบในผลไม้ส่วนใหญ่เป็น Oxygenated Compounds เช่น เอสเทอร์ แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ แอลดีไฮด์ คีโตน ฟีนอล และแอลกอฮอล์ เอสเทอร์ หรือสารประกอบ ระเหยที่อยู่ในผลสตรอเบอร์รี่สามารถถูกแยกออกได้ประมาณ 35 สารแต่ยังไม่สามารถที่จะสังเคราะห์ กลิ่นของสตรอเบอร์รี่ขึ้นมาได้มีแต่เพียงบางส่วนที่มีความคงทนจะสามารถถูกแยกออกมาได้ สารที่ทำให้ เกิดกลิ่นตามธรรมชาติของผลไม้หรือพวกสารประกอบอะโรมาติกจะผลิตออกมามากขึ้นเมื่อผลสุก ปริมาณสารให้กลิ่นนี้ยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ และระยะความแก่ของผลอีกด้วย โดยผลสตรอเบอร์รี่ที่เก็บ เกี่ยวระยะสีแดงจะผลิตสารให้กลิ่นได้มากกว่าสีชมพูขาว และชมพู

6) สารสี

การเปลี่ยนสีของผลไม้เป็นการเปลี่ยนแปลงของผลไม้ที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกที่ เห็นได้อย่างชัดเจน การเปลี่ยนสีของผลไม้ส่วนใหญ่จะเริ่มจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สี เขียวหายไป ตามปกติจะเกิดรวมไปกับการเกิดสารสีชนิดอื่น ๆ เช่น แครโทีนอยด์ หรือแอนโทไซยา นิน สำหรับสีผิวของผลสตรอเบอร์รี่เมื่อสุกเต็มที่จะมีสารสีแอนโทไซยานินสังเคราะห์ขึ้นมากปรากฏเด่น กว่าสีของแครโทีนอยด์ดังนั้นจึงสังเกตเห็นเฉพาะสีของแอนโทไซยานินเท่านั้น แอนโทไซยานินจัดอยู่ ในกลุ่มของสารสีกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกไกลโคไซด์ และละลาย

ได้ดีในน้ำให้สีแดง ชมพูนํ้าเงิน และม่วง เมื่อผลสตรอเบอร์รี่เริ่มแก่สีผิวจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีขาว ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชัน และเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) และเมื่อผลเริ่มสุกจะเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือชมพู และสีแดงตามลำดับ นั่นคือมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์ และมีการสังเคราะห์แอนโทไซนิน ซึ่งเป็นสารสีม่วงหรือแดง และมักอยู่ตามเซลล์ชั้นนอกของผล เมื่อผลสตรอเบอร์รี่มีอายุมากขึ้นจะสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น ทำให้ผลสตรอเบอร์รี่สุกมีสีแดง ปริมาณแอนโทไซยานินในผลสตรอเบอร์รี่จะผันแปรไปตามชนิดพันธุ์และระยะการสุก ตัวอย่างเช่น ปริมาณแอนโทไซยานินของผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Dover, Nyoho, Sequoia และ Tioga เพิ่มขึ้นเมื่อระยะที่ผลมีสีชมพูขาว ชมพู และแดง และในแต่ละพันธุ์มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่เท่ากัน

7) คาร์โบไฮเดรตและน้ำตาล

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากน้ำมีทั้งที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น น้ำตาลชนิดต่าง ๆ และพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ต่าง ๆ ผัก และผลไม้มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบประมาณ 2-40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด ผลไม้ส่วนใหญ่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 23 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด และเพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้สุกซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำตาลคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปของพอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ แป้ง ซึ่งเป็นส่วนที่พืชสะสมไว้ และมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์นอกจากนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำตาลซึ่งมีทั้งที่เป็นไดแซ็กคาไรด์ คือ น้ำตาลซูโครส และโมโนแซ็กคาไรด์ คือ น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโทส ซึ่งจะอยู่ในส่วนของเหลวในเซลล์สตรอเบอร์รี่มีปริมาณกลูโคส 2.6 เปอร์เซ็นต์ ฟรุกโทส 2.3 เปอร์เซ็นต์ ซูโครส 1.3 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญให้ทั้งรสชาติ และคุณค่าทางอาหาร และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะคาร์โบไฮเดรตอยู่ทั้งในรูปของอาหารสะสม เช่น แป้ง และน้ำตาลที่ให้รสชาติและยังอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงอีกด้วย ความหวานหรือน้ำตาลของผลไม้ประเภท non-climacteric เช่น สตรอเบอร์รี่ได้มาจากการเคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมในผลขณะที่ผลมีการเจริญเติบโต ไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลเหมือนกับผลไม้ประเภท climacteric ผลไม้ประเภทนี้จึงไม่สามารถเก็บมาบ่มให้หวาน ได้ฉะนั้นเวลาเก็บเกี่ยวผลไม้ประเภทนี้จะต้องเก็บเกี่ยวผลที่แก่มากที่สุดหรือผลสุก คุณภาพการบริโภคจึงจะดี ผลสตรอเบอร์รี่ที่มีคุณภาพดีต้องมีปริมาณน้ำตาลสูงความหวานของผลสตรอเบอร์รี่มีความสัมพันธ์กับค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง Refractometer ซึ่งปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลสตรอเบอร์รี่มีอายุมากขึ้น

8) สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลให้หมดไปหรือหยุดปฏิกิริยาไม่ให้ดำเนินต่อควรมีคุณสมบัติสำคัญ คือ มีความเฉพาะเจาะจงสูงในการเข้าจับอนุมูลอิสระ และกำจัดให้หมดไป สามารถเกิดปฏิกิริยาคีเลทกับโลหะได้รวมถึงเป็นสารต้านออกซิเดชัน และไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของยีนส์

ผลไม้ ผัก และธัญพืช มีองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระหลากหลาย รวมถึง Phytochemicals เช่น สารประกอบฟีนอล ซึ่งถือได้ว่าเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์โดยช่วยลดความเสี่ยงของโรค สารเหล่านี้ได้รับรายงานว่ามีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสารต้านอนุมูล สารประกอบฟีนอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ Secondary Metabolism ในพืช มีบทบาทในการจัดเตรียมสารที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการสืบพันธุ์ และการเจริญเติบโตของพืช เป็นกลไกในการป้องกันเชื้อโรครวมทั้งการให้สีของพืชด้วย ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระใน ผลไม้ช่วยป้องกันเนื้อเยื่อจากภาวะเครียด และต้านทานโรคหลังการเก็บเกี่ยว รวมถึงสามารถชักนำโมเลกุลที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อราหรือจุลินทรีย์ที่เฉพาะเจาะจงได้

สตอเบอร์รี่นอกจากจะมีสารอาหารตามปกติ เช่น วิตามินและแร่ธาตุ สตอเบอร์รี่ยังอุดมไปด้วย แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ สตอเบอร์รี่มีการแสดงกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูง เอื้อประโยชน์ต่อการสร้างองค์ประกอบทางเคมี ทำให้มีประสิทธิภาพในการออกซิเดชัน ซึ่งในสตอเบอร์รี่แต่ละพันธุ์จะมีกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยจะสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอล หรือแอนโทไซยานินทั้งหมด

2.2.2 การเก็บเกี่ยว

สตอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่ไม่มีเปลือกจึงซ้ำ เสียหายได้ง่าย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลสตอเบอร์รี่จึงต้องทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้เกิดการช้ำกับผลเพราะเชื้อราจะเข้าทำลายได้ง่าย การเก็บเกี่ยวผลสตอเบอร์รี่ในประเทศไทย เป็นการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคน ซึ่งสามารถพิจารณาเลือกเก็บเฉพาะผลที่มีความแก่ที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวผลสตอเบอร์รี่ควรเก็บในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำคือตอนเช้ามืดในสภาพอากาศแห้งแสงแดดยังไม่แรงอุณหภูมิไม่สูงมากนัก เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วไม่ควรปล่อยให้ผลถูกแสงแดดนาน เกินกว่า 10-15 นาที ต้องรีบนำเข้าที่ร่มภายในโรงเรือนหรือโรงคัดบรรจุชั่วคราวบริเวณแปลงปลูกทันที เนื่องจากผลสตอเบอร์รี่มีอัตราการหายใจสูงเมื่อถูกแสงแดดทำให้ผลเน่าเร็วโดยใส่ภาชนะที่ถือได้สะดวก และไม่ทับกันเกินไปในแต่ละครั้งควรเก็บเกี่ยวขณะที่ผลมีการพัฒนาของสีผิวประมาณ 3 ใน 4 หรือ 75 ร้อยละของทั้งผล และยังคงมีความแข็งก่อนถึงมือผู้บริโภค

ผลที่สุก และนิ่มเกินไป ไม่ควรใส่รวมกันในภาชนะที่นำมาจำหน่าย หากเป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงมากอาจทำให้ผลสุกเร็วขึ้นจึง ควรเก็บเกี่ยวทุกวัน

ข้อกำหนดเชิงคุณภาพของผลสตรอเบอร์รี่เพื่อตลาดบริโภคสด

1. มีรูปร่างของผลเป็นปกติไม่บิดเบี้ยว
2. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลตั้งแต่ 2.5 เซนติเมตร
3. ผลไม่มีอาการเน่า ซ้ำ หรือเสียหายเพราะถูกทำลายจากโรค และแมลง
4. สีของผลมีสีชมพูไม่ปล่อยให้สุกจนเป็นสีแดง

วิธีการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอร์รี่

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าสตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่ชอกช้ำ เสียหายได้ง่าย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวจึงต้องมีขั้นตอนหรือวิธีการที่กระทำด้วยความระมัดระวัง ดังนี้

1. เลือกเก็บผลสตรอเบอร์รี่ที่มีคุณภาพตามที่ตลาดต้องการ โดยเฉพาะเรื่องสีผล
2. เก็บโดยใช้มือเด็ดผลออกจากชั้ว หรือใช้กรรไกรขนาดเล็กตัดชั้วผล
3. ควรเลือกเก็บในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ แดดไม่ร้อนจัด ดังนั้นจึงควรเก็บในช่วงเช้า
4. ภาชนะที่ใช้บรรจุสตรอเบอร์รี่ขณะเก็บผลในแปลงควรใช้ตะกร้าที่มีความโปร่ง มี

ขนาดที่เหมาะสม และไม่ควรรวบรวมสตรอเบอร์รี่มากเกินไป เพราะจะเกิดการกดทับทำให้ผลสตรอเบอร์รี่ช้ำ

5. รวบรวมผลสตรอเบอร์รี่ที่เก็บได้คัดแยกคุณภาพ และส่งขายให้เร็วที่สุด

การบรรจุและการขนส่ง เนื่องจากผลของสตรอเบอร์รี่บอบช้ำง่ายโดยเฉพาะถ้าเส้นทางคมนาคมไกล และไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นการบรรจุผลสตรอเบอร์รี่จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ การบรรจุ หีบห่อ และส่งจำหน่ายควรทำให้รวดเร็วที่สุด ระบบการบรรจุของมูลนิธิโครงการหลวงจะบรรจุสตรอเบอร์รี่ลงในถาดพลาสติกใสเจาะรู และมีฝาปิดโดยเรียง 2 ชั้น แล้วคลุมด้วยแผ่นพลาสติก พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หนา 25 ไมครอน บรรจุลงในกล่องกระดาษซึ่งบรรจุได้ 4 หรือ 8 ถาด เพื่อลดการกระทบกระเทือนของผล แล้วขนส่งโดยใช้รถบรรทุกที่มีเครื่องทำความเย็น เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1-2 องศาเซลเซียส และความชื้นประมาณ 85-90 เปอร์เซ็นต์

2.2.3 คุณภาพของผลสตรอเบอร์รี่

ผลสตรอเบอร์รี่ที่มีคุณภาพดีควรจะสะอาด มีสีสด เนื้อแน่น และมีกลิ่นที่ติดมาด้วย กลิ่นกล้วยมีสีเขียวไม่แห้งผลควรมีสีแดงทั้งผล หรืออย่างน้อยผลมีสีแดง 75 เปอร์เซ็นต์ สตรอเบอร์รี่ ที่มีสีแดงคล้ำ แสดงว่า สุกจนเกินไป ผลสตรอเบอร์รี่ที่อยู่ในภาชนะบรรจุเดียวกัน ควรมีสี และขนาดสม่ำเสมอไม่มีรอยแผล ซ้ำ หรือเชื้อรา

มาตรฐานของผลสตรอเบอร์รี่ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา นั้น เกรด U.S. No.1 จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 3.81 เซนติเมตร และยอมให้มีผลเล็กกว่านี้ปะปนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในประเทศไทยนั้นยังไม่มีมาตรฐานของประเทศแต่โครงการหลวงได้จัด มาตรฐานโดยใช้ขนาดของผลเป็นหลัก ดังนี้

เกรดพรีเมียม	น้ำหนักผล มากกว่า	35.0	กรัมต่อผลขึ้นไป
เกรดพิเศษ	น้ำหนักผล	25.0-34.9	กรัมต่อผล
เกรด 1	น้ำหนักผล	16.0-24.9	กรัมต่อผล
เกรด 2	น้ำหนักผล	13.0-15.9	กรัมต่อผล
เกรด 3	น้ำหนักผล	10.0-12.9	กรัมต่อผล
เกรด 4	น้ำหนักผล	7.0-9.9	กรัมต่อผล

2.2.4 การเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่

การเก็บรักษาผัก และผลไม้มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรักษาลิขิตผลให้อยู่ในสภาพปกติได้นานที่สุดเนื่องจากผลสตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่เน่าเสียง่าย จึงสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้น ๆ ช่วงของอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่ควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.1 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 90-95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเก็บรักษาได้นานประมาณ 5-7 วัน โดยก่อนการเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่ควรผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิเสียก่อน การสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาคือการสูญเสียความสดของสีแดง ผลเหี่ยวเฉา และรสชาติ เปลี่ยนไป อัตราการหายใจของผลสตรอเบอร์รี่ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะสูงกว่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ประมาณ 9 เท่าแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่ออายุการวางจำหน่ายของผลสตรอเบอร์รี่มาก ถ้าหากไม่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เช่นวางจำหน่ายตามร้านทั่วไป จะทำให้เก็บผลสตรอเบอร์รี่ได้ไม่เกิน 3 วัน เนื่องจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงในตอนกลางวัน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้คุณภาพของผลสตรอเบอร์รี่ลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากวิธีการเก็บรักษาโดยวิธีการใช้อุณหภูมิต่ำ การควบคุมหรือดัดแปลงบรรยากาศ ซึ่งเป็นการใช้บรรยากาศที่ดัดแปลงส่วนผสม ช่วยให้ขนส่งสตรอเบอร์รี่ไปจำหน่ายยังที่ไกล ๆ ได้

2.2.5 สตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80

สถาบันค้นคว้าและพัฒนากระบวนการเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการปรับปรุงสตรอเบอร์รี่พันธุ์ใหม่ ชื่อว่า พันธุ์พระราชทาน 80 โดยนำเอาเมล็ดพันธุ์ลูกผสมจากประเทศญี่ปุ่นมาปลูกทดสอบ และคัดสายพันธุ์ครั้งแรกในปีพ.ศ. 2545 ที่แปลงทดลองของสถานีวิจัยดอยปุย สตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 ได้ถูกขยายต้นพันธุ์โดยวิธีผลิตต้นไหลแบบธรรมชาติ และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อปลอดโรคเพื่อใช้ปลูกทดสอบในพื้นที่แปลงทดลองของสถานีเกษตรหลวง อ่างาง ต่อมา มีการศึกษาเพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติม ทางด้านการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต คุณภาพของ ผลผลิต และ

รสชาติความทนทานต่อศัตรูพืช รวมทั้งการผลิตไหลและต้นไหลสำหรับการขยายพันธุ์ให้แก่เกษตรกร สตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 เป็นพันธุ์ที่รับประทานสด เป็นพันธุ์ที่ต้องการอากาศหนาวเย็น มากกว่าพันธุ์อื่น ๆ ต้องปลูกในพื้นที่สูงตั้งแต่ 800 เมตรขึ้นไป อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 16-20 องศาเซลเซียส เพื่อกระตุ้นการสร้างตาออกอย่างต่อเนื่อง และให้ได้ผลผลิตในปริมาณมาก และยาวนานขึ้น และยังเป็นพันธุ์ที่ต้านทานโรคแอนแทรคโนส และราแป้งได้ดีลักษณะเด่นของ สตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 ที่เด่นกว่าพันธุ์อื่น ๆ คือผลที่สุกมีกลิ่นหอม มีรสชาติหวานกว่า เนื้อแน่น สีแดงสด รูปร่างของผลสวยงามคือเป็นรูปร่างทรงกรวยถึงทรงกลมปลายแหลม ผิวไม่ ขรุขระน้ำหนักผลเฉลี่ย 12-15 กรัม

1) แหล่งที่มาและประวัติของพันธุ์

สตรอเบอร์รี่พันธุ์ พระราชทาน 80 หรือ รหัส 01-16 ได้ถูกคัดเลือกครั้งแรกใน ฤดูกาลผลิตปี พ.ศ. 2545 ที่แปลงทดลองของสถานีวิจัยดอยปุย (พิกัดที่ตั้ง 18 ° 48' 39'' N, 98° 53' 5'' E) สังกัดสถาบันค้นคว้าและพัฒนากระบวนการผลิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยเป็นการนำเมล็ดพันธุ์ลูกผสมจากประเทศญี่ปุ่นเข้ามาเพาะและปลูกทดสอบ ตาม โปรแกรมการผสมพันธุ์ของโครงการวิจัย การผสมพันธุ์และคัดเลือกสตรอเบอร์รี่ (รหัสโครงการที่ 3025 - 3038 ระหว่างปี พ.ศ. 2541 - 2545 งบประมาณวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวง)

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 เป็นต้นมา สตรอเบอร์รี่พันธุ์ พระราชทาน 80 ก็ได้ถูกขยายต้นพันธุ์โดยวิธีผลิตต้นไหลแบบธรรมชาติ และการเพาะเลี้ยงต้นเนื้อเยื่อปลอดโรค เพื่อใช้ปลูกทดสอบในพื้นที่แปลงทดลองของสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2547 เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเพิ่มเติมทางด้านการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต คุณภาพของผลผลิต และรสชาติที่พึงพอใจด้วยการใช้วิธีสุ่มจากตัวแทนผู้บริโภค ความทนทานต่อศัตรูพืช รวมทั้งการผลิตไหล และต้นไหล สำหรับการขยายต้นพันธุ์ให้แก่เกษตรกรในช่วงเวลานับจากนี้

2) ส่วนประกอบของสตรอเบอร์รี่ พันธุ์พระราชทาน 80

ระบบรากต้นที่สมบูรณ์ โดยปกติมีรากหลักประมาณ 20 - 30 ราก แต่อาจมีรากที่เรียกว่า Primary root ได้ถึง 100 ราก และมีรากแขนงเล็กๆ Rootlet นับเป็นจำนวนพันรากซึ่งถือว่าเป็นต้นที่มีระบบรากที่ดี ราก Primary root เริ่มเจริญจากส่วนลำต้น และเจริญอย่างรวดเร็วจนอาจมีความยาวหลายนิ้ว เนื้อเยื่อตรงกลางราก (Stele) เป็นสีขาว และชี้ถึงความสมบูรณ์ของต้น ดังภาพ 2.3 รากโดยทั่วไปมีอายุประมาณ 1 ปี



ภาพ 2.3 ระบบรากของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80

ที่มา : ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวังศ์, 2560

ก) ต้น

Crown หรือ ลำต้นเป็นส่วนที่สั้นโดยปกติมีขนาดยาวประมาณ 2 เซนติเมตร และส่วนนอกจะถูกปกคลุมโดยการซ้อนกันของส่วนที่เรียกว่าหุบใบ (Stipules) เนื้อเยื่อส่วนแกนกลางของลำต้นเป็นบริเวณที่เสียหายได้ง่ายและมีสีขาว ความสูงของทรงพุ่ม 20 - 30 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย 27 เซนติเมตร รวมทั้งมีการแตกของลำต้นสาขา (Branch crown) ในปริมาณระดับปานกลางด้วย ดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 ลำต้นของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80

ที่มา : ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวังศ์, 2560

ข) ใบ

การเกิดของใบจนกระทั่งแทงออกมาจะใช้เวลาประมาณ 8 - 12 วันขนาดของใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ใช้เวลาประมาณ 2 - 3 สัปดาห์ ส่วนใบแต่ละใบมีชีวิตรอยู่ได้นาน 1 - 3 เดือน ใบส่วนใหญ่เป็น 3 ใบย่อย (Trifoliate) รูปกลม ขอบใบหยักคล้ายฟันเลื่อย สีเขียวปานกลาง ใบย่อยกว้าง 6.5-8 เซนติเมตร ยาว 8.5-9 เซนติเมตร จำนวนใบมากกว่า 25 ใบต่อต้น มีก้านใบหนา และความยาวปานกลางเฉลี่ย 11-14.5 เซนติเมตร ทรงพุ่มตั้งตรง และกว้าง 25 - 35 เซนติเมตร

ค) ดอก

ช่อดอกสมบูรณ์ประกอบด้วย 1 ดอกของดอก Primary 2 ดอกของดอก Secondary 4 ดอกของดอก Tertiary และ 8 ดอกของดอก Quaternary แต่อาจพบช่อดอกหลาย ๆ รูปแบบ ดอกเกือบทั้งหมดเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (Perfect-flowered หรือ Hermaphrodite) จำนวนช่อดอกมากกว่า 7 ช่อต่อต้น เส้นผ่าศูนย์กลางดอก 2.2-3 เซนติเมตร เกสรตัวเมียถูกจัดเรียงแบบเวียนอย่างมีระเบียบบนส่วนของฐานรองดอก ซึ่งสังเกตจากลักษณะของเมล็ดที่อยู่บนผลถูกจัดเรียงอย่างมีระเบียบเช่นกัน ละอองเกสรตัวผู้ทนทานต่อสภาพเย็นปานกลาง เกสรตัวผู้ 25-29 อัน ดอกที่สอง และสามมีขนาดใกล้เคียงกัน สีของกลีบดอกเป็นสีขาว ความหนาของก้านดอกในช่อแรกมีขนาดปานกลาง และดอกที่หนึ่งมีตำแหน่งต่ำกว่าใบ จำนวนช่อดอกเฉลี่ย 8 ช่อต่อต้น กลีบเลี้ยง สีเขียวอ่อนถึงเขียว ขนาดใหญ่ จำนวน 10-13 กลีบ ดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 ดอกของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80

ที่มา : ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวศ์, 2560

ง) ผล

ส่วนฐานของดอกเรียกว่า Receptacle หรือฐานรองดอกซึ่งพัฒนาไปเป็น ส่วนที่สามารถรับประทานได้เป็นเนื้อของผล ส่วนเมล็ดอยู่ระดับเดียวเสมอกันกับผิวของผล ไม่จมหรือนูนเกินผิวของผล โดยมีขนสองสามเส้นติดที่ผิวด้านนอกผล น้ำหนักผลเฉลี่ย 12 - 15 กรัม ขนาดกว้างและยาวเฉลี่ยมากกว่า 3 เซนติเมตร รูปร่างของผลสวยงาม (Berry Shape) โดยทั่วไปเป็นรูปทรงกรวย (Conic) ถึงทรงกลมปลายแหลม (Globose Conic) ไม่พบผลที่เป็นลักษณะขรุขระและรูปทรงแบนเหมือนหงอนไก่ Fasciation ดังนั้นจึงมีพันธุ์กรรมที่ต้านทานต่อลักษณะอันไม่พึงประสงค์นี้ได้ เนื้อผลสีแดงสดใส ความแน่นของเนื้อผล (Firmness) มีระดับปานกลางคือเฉลี่ย ความแน่นเนื้อ 1.213 กิโลกรัม รสชาติดีมาก และมีกลิ่นหอมจัดเมื่อผลสุกเต็มที่ ดังภาพ 2.6



ภาพ 2.6 ผลของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80

ที่มา : ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวังศ์, 2560

จ) เมล็ด

เกสรตัวเมียถูกจัดเรียงแบบเวียนอย่างมีระเบียบบนส่วนของฐานรองดอก ซึ่งสังเกตจากลักษณะของเมล็ดที่อยู่บนผลถูกจัดเรียงอย่างมีระเบียบเช่นกัน Achene ซึ่งมักถูกเรียกว่าเมล็ด (Seed) ได้เจริญพัฒนาเต็มที่ก่อนผลแก่หลายวัน เนื่องจากผลค่อนข้างใหญ่และมีรูปร่างปกติจึงมีจำนวนเมล็ดต่อผลมาก ทำให้ช่องว่างของผิวระหว่างเมล็ดค่อนข้างแคบจึงทนทานต่อการขนส่ง

ฉ) ลักษณะอื่น ๆ

จัดเป็นสตรอเบอร์รี่ประเภทวันสั้น (Short day type) และต้องการความหนาวเย็นปานกลาง (ประมาณ 15 – 18 องศาเซลเซียส) เป็นช่วงเวลา 20-30 วันสำหรับกระตุ้นให้เกิดการสร้างตาของเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอดของลำต้น ระยะเวลาจากดอกบานถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตเท่ากับ 70 วัน ผลผลิตต่อต้นสูงสุด 400 กรัม หรือประมาณ 3 ต้นต่อไร่ (คำนวณจากการปลูก 10,000 ต้นต่อไร่) มีกลิ่นหอมชวนรับประทานคล้ายพันธุ์พระราชทาน 70 และ 72 แต่เนื้อผลมีสีส้มสวยงามและความแน่นเนื้อมากกว่า การให้ไหล และต้นไหลอยู่ในระดับมากเฉลี่ยราว 60 - 80 ต้นไหลต่อต้นแม่หนึ่งต้น นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถทนทานต่อโรคแอนแทรคโนส (Anthracnose) และราแป้ง (Powdery Mildew) สามารถปลูกเป็นการค้าได้ในพื้นที่ที่มีความสูงตั้งแต่ 800 เมตร

ช) ลักษณะประจำพันธุ์พระราชทาน 80

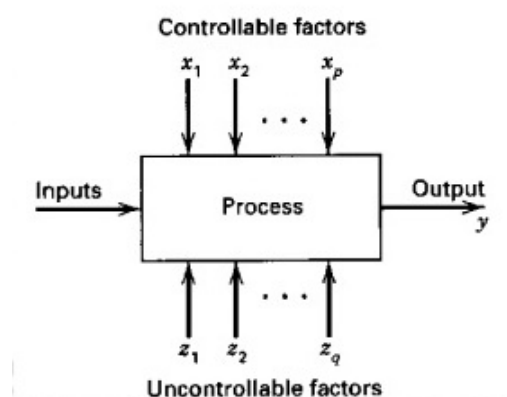
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้	12.85	บริกซ์
ความแน่นเนื้อ	1.213	กิโลกรัม
ผลผลิต	400	กรัมต่อต้น
น้ำหนักผลเฉลี่ย	12-15	กรัม/ผล

ณ) จำแนกตามระดับชั้นมาตรฐาน

เกรด Extra	มากกว่า 25 กรัมขึ้นไป	ร้อยละ 4.25
เกรด 1	12-20 กรัม	ร้อยละ 12.71
เกรด 2	11-14 กรัม	ร้อยละ 11.36
เกรด 3	10 กรัม	ร้อยละ 13.80
เกรด 4	9 กรัม	ร้อยละ 18.21
เกรด U	6-8 กรัม	ร้อยละ 39.69

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE)

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมโดย การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัยการออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) ที่เกิดขึ้นกระบวนการที่มีปัจจัยหรือผลตอบ (Response; X_1, X_2, X_3, X_4) ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) ของกระบวนการในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบดังภาพ 2.7 เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X อื่น ๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้เรามีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการเพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป



ภาพ 2.7 ปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ที่มา : จิตรเวช, 2552

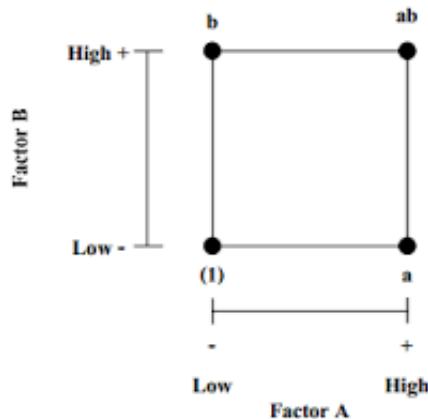
จากภาพ 2.7 สามารถอธิบายได้ว่ากระบวนการคือการรวมกันของวิธีการคนเครื่องจักร และทรัพยากรอื่น ๆ เข้าด้วยกันเพื่อเปลี่ยนอินพุต (Input) ไปสู่เอาต์พุต (Output) ที่มีผลออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่าโดยที่ตัวแปรของกระบวนการบางตัว $x_1, x_2, \dots, x_p$ เป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ในขณะที่ตัวแปรอื่น $z_1, z_2, \dots, z_p$ เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ตัวแปรในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ หมายถึง สามารถกำหนดค่าของตัวแปรในการผลิต และตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ หมายถึงไม่สามารถกำหนดค่าของตัวแปรในการผลิต เนื่องจากไม่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมในการผลิตได้ หรือต้นทุนที่ใช้ในการควบคุมสูง

2.3.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การออกแบบการทดลองในกรณีที่มีการศึกษามากกว่า 2 ปัจจัยได้ภายใต้ยังสามารถศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละปัจจัยภายในคราวเดียวกัน ได้นอกจากนี้ยังสามารถให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับอิทธิพลของการกระทำร่วมกัน (Interaction Effect) ระหว่างปัจจัยเหล่านี้ด้วย การทดลองแฟคทอเรียลนี้จะทำให้การออกแบบการทดลองมีประสิทธิภาพสูงกว่าลักษณะของการทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งทีละปัจจัย สามารถใช้ข้อมูลทั้งหมดในการประมาณอิทธิพลของปัจจัยทุกปัจจัย

1) การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล

เมื่อมีจำนวนปัจจัยที่พิจารณาจำนวน k ปัจจัย แต่ละปัจจัยสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 ระดับ เรียกว่า ระดับสูง (High level) แทนด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำ (Low level) แทนด้วยเครื่องหมาย “-” ดังนั้นจำนวนของการทดลองจึงเป็นแบบ $2 \times 2 \times \dots \times 2$ จำนวน k ครั้ง จึงเรียกได้ว่าเป็นการทดลองแฟคทอเรียลหรือแบบ 2^k แฟคทอเรียล ซึ่งตามปกติถือว่าระดับของปัจจัยทั้งหมดเป็นค่าคงที่ เช่น ถ้ามีปัจจัยที่ต้องการศึกษาจำนวน 2 ปัจจัยคือ A และ B ระดับสูง และระดับต่ำของปัจจัย A จะแทนได้ด้วย +A และ -A ตามลำดับ และระดับสูง และระดับต่ำของปัจจัย B จะแทนได้ด้วย +B และ -B ตามลำดับแบบการทดลองที่ง่ายที่สุดสำหรับกรณีนี้คือ $k = 2$ หรือ มี 2 ปัจจัย ซึ่งเรียกว่า 2^2 Factorial Design 4 Combinations หรือ Runs หมายถึง แฟคทอเรียลทรีตเมนต์ (Treatment combination) จะต้องนำไปทดลองตามแบบแผนที่กำหนด ซึ่งอาจเป็นแบบแผนใดแบบแผนหนึ่ง โดยอาจมีจำนวนการทดลอง n ซ้ำ รูปแบบของการทดลอง แฟคทอเรียลแสดงดังตัวอย่างดังภาพ 2.8



ภาพ 2.8 ตัวอย่างภาพการทดลอง 2^2 แฟคทอเรียล

ที่มา : ชูติมา , 2545

จากภาพ 2.8 การศึกษาผลของปัจจัยร่วมหรือผลร่วมนั้นอาจอธิบายได้คือ ผลจากปัจจัยเดี่ยว ๆ เรียกว่า Main effect เช่น A หรือ B ผลจากผลรวมของ 2 ปัจจัยเรียกว่า First Order Interactions เช่น AB หรือ BC และผลจากผลรวมของ 3 ปัจจัยเรียกว่า Second Order Interactions เช่น ABC ตามลำดับไป โดยความหมายของผลรวม คือ เป็นตัววัดผลการตอบสนองของแต่ละระดับของปัจจัยที่หนึ่ง ที่ระดับหนึ่งของปัจจัยที่สอง เปรียบเทียบกับการตอบสนองในระดับอื่นของปัจจัยที่สอง หากการตอบสนองดังกล่าวมีความแตกต่างกันก็กล่าวได้ว่า ทั้งสองปัจจัยนี้มีผลร่วมต่อกัน และในทางตรงกันข้าม หากการตอบสนองดังกล่าว ไม่มีความแตกต่างกันก็กล่าวได้ว่าทั้งสองปัจจัยนี้ไม่มีผลร่วมต่อกัน ในการทดลองโดยทั่วไปแล้วเมื่อพิจารณาจากค่าสังเกตที่ได้จากการทดลอง มักจะพบผลร่วมระหว่างปัจจัยเสมอแต่ผลนี้จะมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับว่าค่าความแตกต่างของการตอบสนองมีมากน้อยเพียงใดซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 กรณีคือ

ก) ค่าความแตกต่างของการตอบสนอง มีผลแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติก็สามารถสรุปได้ว่ามีผลร่วมระหว่างปัจจัยที่ศึกษา

ข) ค่าความแตกต่างของการตอบสนอง ไม่มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็สามารถสรุปได้ว่า ไม่มีผลร่วมระหว่างปัจจัยที่ศึกษาการแสดงผลร่วมระหว่างปัจจัยสามารถใช้ค่าสังเกตจากแต่ละทรีทเมนต์คอมบิเนชัน มาแสดงแนวทางการตอบสนองของแต่ละระดับของปัจจัยได้

2) การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM)

การออกแบบการทดลองของพื้นผิวผลตอบ คือ เครื่องมือที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองหนึ่งตัวแปรหรือมากกว่ากับตัวแปรปัจจัยของกระบวนการที่ทำการทดลอง

ขั้นตอนนี้อาจจะทำหลังจากที่ทำการหาได้แล้วว่าปัจจัยตัวใดมีความสำคัญ และต้องการที่จะทำการหาค่าของปัจจัยนั้นทำให้เกิดค่าตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด ตัวแบบที่มีการใช้ การตอบสนองของพื้นผิว เพราะว่าในสมการตัวแบบอาจจะมีเรื่องเส้นโค้ง (Curvature) เกี่ยวข้องด้วยวิธีดังกล่าวอาจใช้ในวิธีการ ดังต่อไปนี้

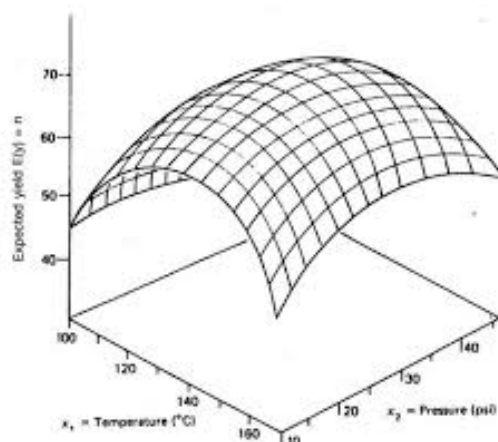
- ก) หาค่าระดับปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุด
- ข) หาค่าระดับปัจจัยที่ทำให้สามารถทำงานได้ตรงตามข้อกำหนดเฉพาะ
- ค) หาเงื่อนไขปัจจัยในกระบวนการเพื่อให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น
- ง) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงปริมาณกับตัวแปร

ตอบสนอง

ในปัญหาพื้นผิวผลตอบส่วนมากไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ และตัวแปรอิสระในขั้นตอนแรกต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และตั้งค่าของตัวแปรอิสระ ซึ่งปกติแล้วใช้พหุนามที่มีฟังก์ชันต่ำ ๆ ที่อยู่ภายใต้ขอบเขตของตัวแปรอิสระถ้าแบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์ในแบบจำลองกำลังหนึ่ง เขียนสมการทำนายผลได้ดังสมการ 2.20

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2.20)$$

หากเป็นพหุนามกำลังสูงขึ้นไปจะมีเส้นโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบดังภาพ 2.9 จะได้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้นไป เช่น พหุนามกำลังสอง และเขียนสมการทำนายผลได้ดังสมการ 2.21



ภาพ 2.9 แสดงพื้นผิวผลตอบแบบสามมิติ

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_{in} + \beta_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii}x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij}x_ix_j + \epsilon_i \quad (2.21)$$

จากสมการทำนายผลข้างต้นทั้งสองสมการจะไม่สามารถใช้ประมาณค่าความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระได้จากสมการผู้วิจัย สามารถสร้างแบบจำลองกำลังสองเพื่อนำไปสู่การเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดต่อไป ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบส่วนมากจะใช้แบบจำลองกำลังหนึ่งหรือแบบจำลองกำลังสองในการหาผลตอบ แต่แบบจำลองทั้งสองชนิดไม่สามารถใช้ประมาณความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระได้ถ้าพื้นผิวที่สนใจมีขนาดใหญ่ มีการออกแบบวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบอีกหลายชนิด แต่มีวิธีที่น่าสนใจอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือ การออกแบบส่วนประสมส่วนกลาง (Central Composite Design; CCD) เป็นวิธีการหนึ่งใน วิธีการหาพื้นผิวผลตอบที่นิยมใช้เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสม และการออกแบบการทดลองแบบ Box - Behnken Design เป็นการออกแบบสามระดับ สำหรับฟิตพื้นผิวผลตอบ การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้นจากการรวมการออกแบบแฟคทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพในด้านจำนวนการรันที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย ซึ่งการทดลองเหล่านี้ทำให้ลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการทดลองเพราะจำนวนการทดลองลดลง แต่ยังคงสามารถทำการวิเคราะห์ผล และสรุปผลได้ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบทางสถิติ

2.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองผู้วิเคราะห์ต้องการทราบว่าปัจจัยใดบ้างส่งผลต่อผลตอบ (Response) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งประเมินได้จากเมื่อเปลี่ยนระดับของปัจจัยหรือทรีตเมนต์แล้วทำให้ผลตอบของการทดลองเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการวิเคราะห์จึงเป็นการเปรียบเทียบระหว่างแต่ละระดับของแต่ปัจจัย หรือกล่าวได้ว่าเป็นการเปรียบเทียบผลตอบ เมื่อมีประชากรหรือข้อมูลศึกษามากกว่า 2 กลุ่ม ดังนั้นการวิเคราะห์ทำได้โดยการประยุกต์หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) โดยสามารถวิเคราะห์สมการในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะต้องประเมินผลรวมกำลังสอง (Sum of Square; SS) ของความผันแปรเป็น ดัชนีบ่งชี้ความผันแปร โดยความผันแปรรวม (Total Variation) ซึ่งประเมินจาก Sum of Square of Total (SS_T) จะประกอบด้วยความผันแปรจากปัจจัย ประเมินจาก Sum of Square of Treatment (SS_{tr} หรือ SS_{within}) และความผันแปร ความผิดพลาดของการทดลองหรือปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งไม่ได้ควบคุม ประเมินจาก Sum of Square of Error (SS_E หรือ $SS_{between}$) หรือแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ดังสมการ (2.22)

$$SS_T = SS_{tr} + SS_E \quad (2.22)$$

2.4 ความสำคัญของไนเตรท และไนไตรท์

สำหรับโซเดียมไนเตรท และโซเดียมไนไตรท์นั้น จัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย แทบทุกประเทศในโลก มีคุณสมบัติช่วยป้องกัน และยับยั้งการเน่าเสีย

2.4.1 ไนเตรทกับคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

ไนไตรท์มีผลยับยั้งแบคทีเรียโดนเฉพาะสภาวะที่เป็นกรด ผลการยับยั้งจะมีประสิทธิภาพแต่ต้องขึ้นกับปริมาณเกลือ ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ปริมาณไนเตรทหรือไนไตรท์ จำนวนแบคทีเรีย อุณหภูมิการเก็บ รวมทั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวผ่านกระบวนการความร้อนหรือไม่ โดยในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการความร้อนพบว่ามีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และป้องกันการออกของสปอร์แบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ ปริมาณการใช้สารดังกล่าวอาจใช้น้อยลงเมื่อร่วมกับ Sorbic Acid

2.4.2 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท และไนไตรท์ในสิ่งแวดล้อม และชีววัตถุทำได้หลายวิธี เช่น Spectrophotometry, Spectrofluorimetric, Nitrate-specific Electrode อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ผลจะแตกต่างกันขึ้นกับวิธีการวิเคราะห์ และการเปรียบเทียบวิธีทำได้ยากเนื่องจากขาดข้อมูลที่เพียงพอ แม้ว่าจะใช้วิธีการเดียวกันในการวิเคราะห์ก็ยังคงมีปัญหาในระหว่างการเก็บตัวอย่าง การสกัด และการ Clean-Up อย่างไรก็ตามมีการเปรียบเทียบตัวเลขการวิเคราะห์ในน้ำ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในการประเมินอันตรายต่อสุขภาพ

วิธีการที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไนเตรท และไนไตรท์ในน้ำผิวดิน และน้ำเสียที่เหมาะสมคือ Colorimetric Procedures โดยใช้ Sodium Salicylate สำหรับการวิเคราะห์ไนเตรท และใช้ 4-Aminobenzenesulfonic Acid (Sulfanilic Acid) และ 1-naphthalenamine (1-naphthylamine) สำหรับการวิเคราะห์ไนไตรท์

วิธีมาตรฐานในการตรวจหาไนเตรทในพืชใช้การลดลงของไนเตรทเป็นแอมโมเนีย และแยกแอมโมเนียออกมาโดยวิธีการกลั่นแล้วหาปริมาณด้วยวิธี Titrimetric ในสหราชอาณาจักร และเยอรมันมีการใช้ไนเตรทอิเล็กโทรดในการวิเคราะห์ไนเตรทในดิน และพืชผัก ผลที่ได้พบว่าไนเตรทอิเล็กโทรดให้ค่าสูงกว่าวิธีการแบบกลั่นมาตรฐาน

2.4.3 ข้อเสนอแนะ และมาตรการทางกฎหมาย

มีการกำหนดข้อเสนอแนะ และมาตรการทางกฎหมายของปริมาณไนเตรท และไนไตรท์ในน้ำ และอาหารในประเทศไทย

1) การกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำ

กระทรวงสาธารณสุขประกาศควบคุมปริมาณไนเตรท และไนไตรท์ในน้ำ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 พ.ศ. 2527 ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 การกำหนดปริมาณไนเตรท

ชนิด	มาตรฐาน (มก./ล.)	หน่วยงานควบคุม	ที่มา
น้ำดื่ม	ไนเตรท-ไนโตรเจน 4 มก./ล.	กระทรวงสาธารณสุข	ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 พ.ศ. 2524
น้ำบาดาล เพื่อการ บริโภค	ไนเตรท 45 มก./ล.	กระทรวง อุตสาหกรรม	ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2521
น้ำทิ้งจาก โรงงาน อุตสาหกรรม	(ไม่มีการกำหนด)	(กระทรวง อุตสาหกรรม)	(ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2525)
น้ำทิ้งชุมชน	ไนเตรท-ไนโตรเจนไม่ กำหนดสำหรับชุมชน น้อยกว่า 501 คน และจะกำหนดเมื่อน้ำ มีปัญหาสำหรับชุมชน มากกว่า 500 คน	สำนักงาน คณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	คณะกรรมการกำหนด มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชน
น้ำผิวดิน	ไนเตรท-ไนโตรเจน 5 มก./ล.	สำนักงาน คณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	ประกาศ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการพลังงาน พ.ศ. 2528

ส่วนไนไตรท์ไม่มีการกำหนดปริมาณในน้ำ

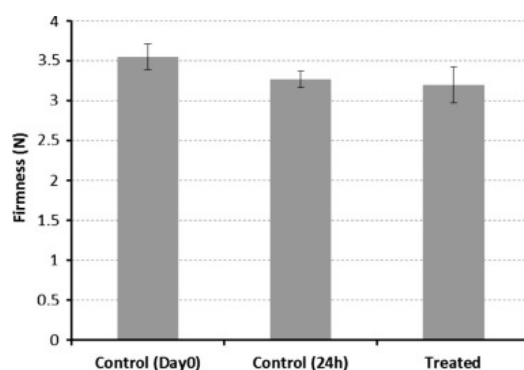
2) การกำหนดปริมาณไนเตรทในอาหาร

กระทรวงสาธารณสุขประกาศควบคุมปริมาณไนเตรท และไนไตรท์ในอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 พ.ศ. 2527 โดยกำหนดให้มีไนเตรทในอาหารได้ไม่เกิน 500 มก./กก. ไนไตรท์ไม่เกิน 200 มก./กก.

2.5 ผลงานวิจัยในอดีต

ในอดีตเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2556 ได้มีการเผยแพร่การสร้าง cold plasma จากอากาศในบรรยากาศที่ขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินศักยภาพการใช้ cold plasma ในชั้นบรรยากาศสำหรับการปนเปื้อนสตรอเบอร์รี่ภายในบรรจุภัณฑ์แบบปิด คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการประเมินนั้นประเมินจากอัตราการหายใจของสตรอเบอร์รี่ภายในระบบปิด และการเปลี่ยนสี และความแน่น

จากการทำการทดลองได้สรุปได้ว่า เนื้อผิวเป็นคุณสมบัติที่มีคุณภาพที่สำคัญในการยอมรับของผู้บริโภคผลไม้สด การควบคุมสตรอเบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการบำบัดจะถูกเก็บไว้ที่ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการบำบัดด้วย ACP ดังภาพ 2.10



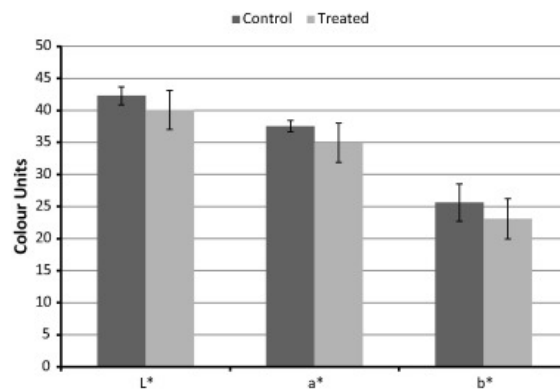
ภาพ 2.10 ความแน่น (N) ของการควบคุม และสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการบำบัด ACP

ที่มา : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026087741300538>

นอกจากนี้ความสามารถของโอโซนในการรักษาพื้นผิวของสตรอเบอร์รี่ได้ถูกรายงานไปแล้วในการวิจัยนอกจากสีที่เป็นประโยชน์และความแน่นของเนื้อสตรอเบอร์รี่แล้วนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในรสชาติหรือคุณภาพของสตรอเบอร์รี่ที่สัมพันธ์กับการควบคุม

สีของสตรอเบอร์รี่เป็นพารามิเตอร์ที่ชัดเจนที่สุดสำหรับผู้บริโภค และมีบทบาทสำคัญในการเลือกอาหาร การเลือกอาหารและการยอมรับอาจส่งผลต่อเกณฑ์การรับสารรับรู้รสหวาน และความพึงพอใจ

การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์สี L^* $-a^*$ $-b^*$ ของสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการบำบัด ACP ดังภาพ 2.11 พบว่า



ภาพ 2.11 L^* $-a^*$ $-b^*$ พารามิเตอร์สีของการควบคุมที่ไม่ผ่านการบำบัด และสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการบำบัด ACP

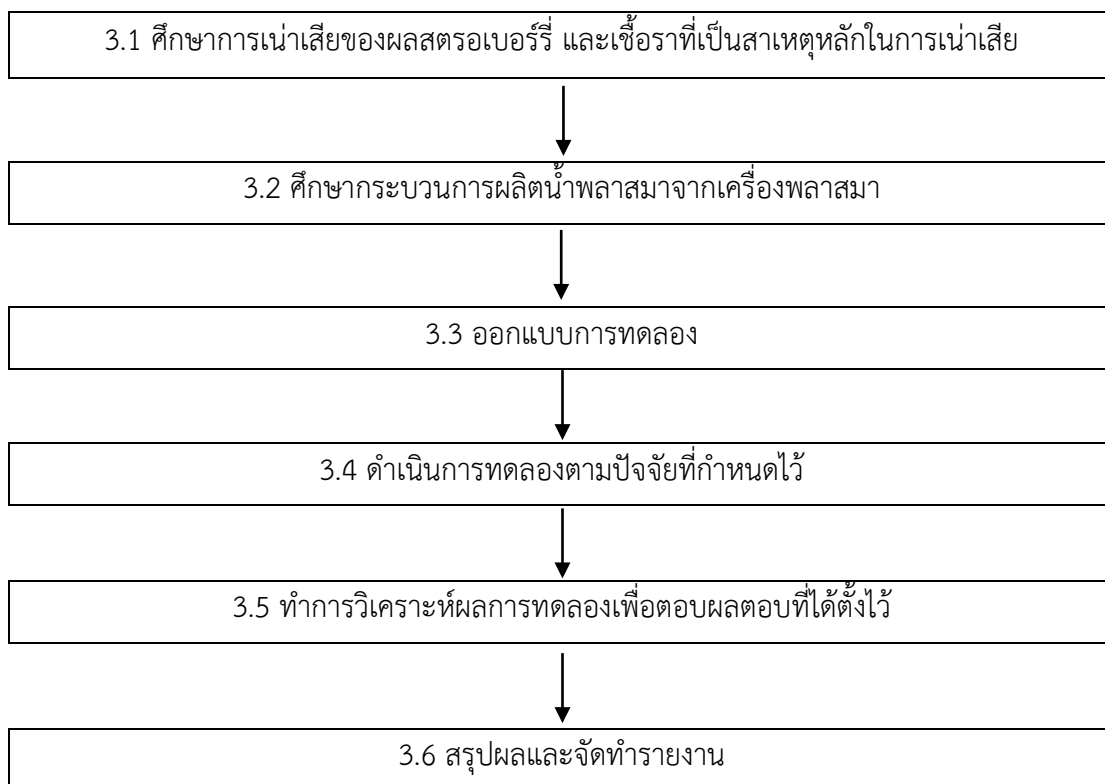
ที่มา : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877413005384>

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์แต่ละสี ได้แก่ ความสว่างสีแดงหรือสีเขียวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมที่ไม่ได้รับการรักษาที่เก็บไว้ภายใต้สภาวะเดียวกัน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการทำวิจัย

ในการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่ ซึ่งในดำเนินงานวิจัย การประยุกต์ใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่ มีขั้นตอนดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาการเน่าเสียของผลสตรอเบอร์รี่ และเชื้อราที่เป็นสาเหตุในการเน่าเสียของสตรอเบอร์รี่

เชื้อสาเหตุของโรค พืชอาศัย สภาพแวดล้อม และระยะเวลาในการเข้าทำลาย การเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคหลังการเก็บเกี่ยวหลายชนิด จะเริ่มจากอาศัยอยู่กับผลิตผลแบบแฝง (Quiescent) ในระยะที่ผลเจริญเติบโตโดยไม่แสดงอาการให้เห็น เมื่อผลเข้าสู่ระยะสุกแก่และเสื่อมสภาพ เชื้อราสาเหตุโรคก็จะเข้าทำลายทำให้เกิดอาการของโรค เนื่องจากในระยะผลยังอ่อน พืชจะสร้างกลไกการป้องกันตัวเพื่อจำกัดการเจริญของเชื้อรา ต่อมาเมื่อผลสุกแก่กลไกการป้องกันตัวมีการเปลี่ยนแปลงทำให้เชื้อราสามารถเจริญได้ เมื่อผลของสตรอเบอร์รี่มีการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความเป็นกรดต่าง ส่งผลต่อการกลไกการป้องกันตัวของพืช ทำให้เชื้อราสาเหตุโรคถูกกระตุ้นให้มีการปลดปล่อยเอนไซม์ย่อยเนื้อเยื่อพืชอาศัย จึงก่อให้เกิดโรคได้ ความเป็นต่างจะเกิดจากปฏิกิริยาการผลิตแอมโมเนีย (ammonification) ในเนื้อเยื่อพืชที่มีการเข้าทำลายของเชื้อรา *Alternaria* การเปลี่ยนแปลงค่า pH ทำให้เกิดการเพิ่มหรือลดปริมาณเชื้อราได้ซึ่งอธิบายได้จากการที่เชื้อรามีทั้งประเภทที่เป็นเชื้อราที่เจริญในสภาพด่าง (alkalizing fungi) และเชื้อราที่เจริญในสภาพกรด (Acidifying Fungi) ค่า pH ของพืชอาศัยที่เหมาะสมจะมีผลต่อการสร้างเอนไซม์ของเชื้อรา การเปลี่ยนแปลง pH ของพืชอาศัยมีความสำคัญในการกระตุ้นให้เชื้อราที่เข้าทำลายแบบแฝงสามารถเจริญและพัฒนาก่อโรคในพืชได้ การเข้าทำลายของเชื้อรา *A. Alternata* จะมีความเข้มข้นแอมโมเนียเพิ่มขึ้น 3-10 เท่า และส่งผลให้ pH เพิ่มขึ้นจาก 0.2 เป็น 2.4 การสร้างแอมโมเนียนั้น เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยโปรตีนและการย่อยกรดอะมิโน เมื่อผลไม้ที่มีความเป็นกรดถูกเชื้อราเข้าทำลาย เชื้อราจะสร้างแอมโมเนียออกมาเกิดสภาพด่างทำให้เชื้อรามีความรุนแรงในการก่อโรค นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการแสดงออกของ endoglucanase ยีน AaK1 ที่เกิดจากเชื้อรา *Alternaria Alternata* จะเกิดขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีค่า pH มากกว่า 6 ในเนื้อเยื่อพืชที่มีการเน่าเสีย ซึ่ง endoglucanase เป็นเอนไซม์สร้างจากเชื้อรา แบคทีเรีย และโพรโตซัว มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย cellulose ในผนังเซลล์ ยีน AaK1 จะไม่แสดงออกเมื่ออยู่ในสภาวะ pH ต่ำ ทำให้อยู่ในสภาวะการเข้าทำลายแบบแฝง ส่วนเชื้อราที่เจริญในสภาพกรด ได้แก่เชื้อรา *Penicillium Expansum* จะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดในเนื้อเยื่อ เชื้อรา *Penicillium spp.* สร้างกรดเมื่อเข้าทำลายสตรอเบอร์รี่ สิ่งที่มีผลให้การเข้าทำลายแบบแฝงพัฒนาให้เกิดการก่อโรค โดยการเปลี่ยนสถานะจากการอยู่ร่วมกัน (Bio trophism) เป็นการก่อโรคหรือการย่อยสลาย (Necrotrophic-Saprophytic Stage) มีปัจจัยที่ทำให้เกิดกลไกดังกล่าวภายในเซลล์ที่มีผลมาจากชนิดและปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ และค่า pH ที่เหมาะสม สารที่ถูกปลดปล่อยออกมา เช่น กรดอินทรีย์ เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการก่อโรคและทำให้เกิดความรุนแรงของโรคตามมาโดยมีการทำงานแบ่งเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

1) การเกิดสาร oxalate ซึ่งจะเป็นพิษโดยตรงต่อพืชอาศัยหรือทำให้พืชอ่อนแอ 2) อาจมีการชะล้าง แคลเซียมที่ผนังเซลล์เนื่องมาจากกรด Oxalic และ Gluconic ทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่ม และ 3) สาร oxalate ไปยับยั้งการสร้าง Reactive Oxygen Species (ROS) ของพืช และขัดขวางกลไกการป้องกันตัวเองของพืช การสร้างแอมโมเนียมีผลทั้งทางกายภาพและชีวเคมีต่อทั้งพืชและเชื้อสาเหตุโรค เนื้อเยื่อพืชปกติจะมีอิเล็กตรอนและโปรตรอนระหว่าง Plasma Membrane ซึ่งมีความสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนไอออน การเคลื่อนที่ของของเหลว และการเจริญของผนังเซลล์ ความเป็นพิษของแอมโมเนียจะทำให้พืชมีการสังเคราะห์เอทีเอ็นและมีการเปลี่ยนแปลงของการผ่านเข้าออกของสารในเซลล์เมมเบรน และส่งผลให้พืชมีการสะสมของ ROS เนื่องจากกลไกของ NADPH Oxidase ทำให้เกิดบริเวณเนื้อเยื่อตาย (Cell Death) บนผลสตรอเบอร์รี่ ซึ่งส่งผลดีทำให้เป็นบริเวณจำกัดไม่ให้เส้นใยเจริญต่อไปได้ ความซับซ้อนของการเข้าทำลายแบบแฝงเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของพืชอาศัยในระหว่างการสุกและการเสื่อมสภาพอันนำไปสู่การอ่อนแอต่อโรค ประกอบกับเชื้อที่เข้าทำลายแบบแฝงมีความสามารถต้านทานสารยับยั้งเชื้อราในพืชอาศัยที่มีลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะสุกแก่ได้ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ อาทิเช่น ค่า pH ในเนื้อเยื่อพืชอาศัย ปริมาณน้ำตาล องค์ประกอบของผนังเซลล์ หรือบาดแผล เหล่านี้ล้วนกระตุ้นให้เชื้อราเจริญได้ ความเป็นกรดในเนื้อเยื่อพืชจากกรดอินทรีย์ (Oxalic และ Gluconic) หรือความเป็นด่างจากการสร้างแอมโมเนีย อาจมีส่วนทำให้เนื้อเยื่อเน่าเสียอย่างรวดเร็วได้ รวมทั้งผลของการแสดงออกของยีนและการปลดปล่อยเอนไซม์พวกที่ย่อยผนังเซลล์ การหาคำตอบของการเปลี่ยนแปลงสิ่งที่ส่งสัญญาณต่าง ๆ เช่น pH ไนโตรเจน และน้ำตาล ที่มีผลต่อการก่อโรคหลังการเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลิตผลสุกแก่ แนวทางในการแก้ปัญหาโรคหลังการเก็บเกี่ยวด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่าง จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้กรดร่วมกับกรรมวิธีการอื่น ๆ ในการจัดการโรคหลังการเก็บเกี่ยว เช่นการใช้ น้ำส้ม (กรดอะซิติก) ความเข้มข้นร้อยละ 1-3 ในน้ำ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถลดการเจริญของสปอร์ของเชื้อรา *Penicillium Expansum* สาเหตุโรคผลเน่า

3.2 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำพลาสมาจากเครื่องกระตุ้นน้ำพลาสมา

3.2.1 จะทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาเพื่อนำน้ำกระตุ้นพลาสมาไปประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บสตรอเบอร์รี่ โดยสอบถามและศึกษาวิธีกระบวนการผลิตน้ำพลาสมาจากผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์การใช้เครื่องผลิตน้ำพลาสมา โดยเครื่องผลิตน้ำพลาสมาที่ใช้นั้นจะเป็นแบบ 1 หัว โดยกระบวนการผลิตน้ำพลาสมามีขั้นตอนทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา

ขั้นตอน	วิธีทำ
1. เตรียมเครื่องผลิตพลาสมาชนิด 1 หัว 	ติดตั้งเครื่องโดยการเสียบปลั๊ก ติดตั้งเครื่องปั๊มลม เพื่อปั๊มลมในการสปาร์คน้ำพลาสมา
2. เตรียมสารที่ใช้ทดลอง  น้ำประปา  โซเดียมไบคาร์บอเนต	เตรียมน้ำประปาขนาด 1 ลิตร และโซเดียมไบคาร์บอเนตตามที่กำหนดไว้
3. วางปีกเกอร์ที่ฐานยก	วางปีกเกอร์ไว้ที่ฐานยก
4. เปิด Gas generator	เพื่อปั๊มลมปรับไปที่อากาศ 6 ลิตรต่อนาที
5. เปิด Laboratory Power Supply 	เพื่อจ่ายไฟเข้าไปทางสายไฟทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกันให้เกิดพลาสมา

ตาราง 3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา (ต่อ)

ขั้นตอน	วิธีทำ
6. ยกฐานยกขึ้น 	ทำการยกฐานยกขึ้นเพื่อให้สามารถทำการดีสชาร์จ
7. จับเวลาในการสปาร์ค	ใช้เครื่องมือจับเวลาในการจับเวลาที่ 15 นาที และ 30 นาที

3.3 ออกแบบการทดลอง

3.3.1 กำหนดปัจจัยที่มีต่อผลการทดลอง

การกำหนดปัจจัยที่มีผลในการทดลอง ทางผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยที่จะศึกษามี 3 ปัจจัย คือ เวลาในการผลิตน้ำพลาสมา (นาที) ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (ร้อยละ) และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ผลสตรอเบอร์รี่ (นาที) ดังตาราง 3.2 ซึ่งปัจจัยเวลาในการผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาและระยะเวลาในการแช่ผลสตรอเบอร์รี่นั้นได้ทำการทดสอบมาเบื้องต้นจากวิจัยที่ศึกษา

ตาราง 3.2 รายละเอียดของปัจจัย ระดับของขอบเขตปัจจัย

ปัจจัย	หน่วย	ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
เวลาในการผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมา	นาที	15	30
ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต	ร้อยละ	0	6
ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ผลสตรอเบอร์รี่	นาที	5	10

3.3.2 ออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสำหรับ 3 ปัจจัย (2^k)

จากการที่ได้กำหนดว่าจะศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยจะประกอบด้วย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ แทนด้วย “(-1)” และระดับสูงแทนด้วย “(+1)” แบ่งการทดลองเป็น 2 ระยะ ระยะแรกจะมีการทดลองจำนวน 2^2+1 เป็น 5 ชุดการทดลอง และทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นเมื่อได้ค่าที่เหมาะสมของระยะแรก จะนำมาใช้กับระยะ 2 เพื่อหาระยะเวลาในการแช่ที่เหมาะสม นั่นคือเวลา 5 นาที และ 10 นาที

3.4 ดำเนินการทดลองตามปัจจัยที่กำหนดไว้และศึกษาผลกระทบในการใช้น้ำพลาสติก

3.4.1 ดำเนินการทดลองตามการออกแบบการทดลอง

ดำเนินการทดลองตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ในระยะที่ 1 ที่เกี่ยวกับการใช้น้ำกระดุนพลาสติก ดังตาราง 3.3 เพื่อหาว่าปัจจัยไหนส่งผลให้ค่าไนเตรทมากที่สุด

ตาราง 3.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล phase 1

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ปัจจัยในการทดลอง		สัญลักษณ์	ค่าไนเตรท (y_i)
	เวลาในการผลิต	ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต		
1	-1	-1	1	Y_1
2	-1	+1	2	Y_2
3	+1	-1	3	Y_3
4	+1	+1	4	Y_4
5	0	0	5	Y_5

จากตาราง 3.3 เมื่อเราได้ค่าไนเตรทที่มากที่สุด และรองลงมา จะทำการทดสอบค่าที่ได้ว่ามีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่โดยผ่านโปรแกรม Minitab และโปรแกรม SPSS หลังจากนั้นจะทำการคัดเลือกสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 โดยสตรอเบอร์รี่ที่คัดเลือกนั้นจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน และความสดที่ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นจำนวนทั้งหมด 36 ลูก ดังภาพ 3.1 ดำเนินการทดลองในระยะที่ 2 เป็นการทดลองเกี่ยวกับระยะเวลาในการแช่สตรอเบอร์รี่ที่ให้ประสิทธิผลที่ดีที่สุด

โดยทำการทดลองตามดังตาราง 3.4 เพื่อหาผลตอบคือ เปอร์เซ็นต์การเกิดเชื้อราต่อจำนวนทั้งหมด และแต่ละลูก Sensory Test และค่า pH

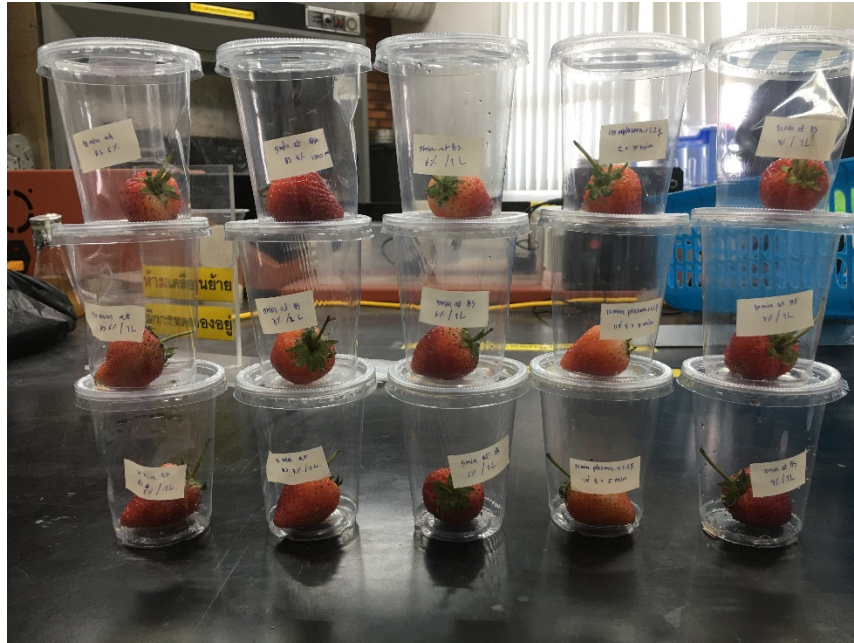


ภาพ 3.2 สตรอเบอร์รี่ที่มีขนาด และความสดที่ 75 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 3.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคที่เรียลระยะที่ 2

ลำดับค่าที่ เหมาะสมที่ได้ จาก phase 1	ปัจจัยในการทดลอง	สัญลักษณ์	ค่าpH (y_1)	ลักษณะ โดยรวม (y_2)	เปอร์เซ็นต์ การเกิดเชื้อ รา หรือการ เน่าเสีย
	เวลาในการแช่				
1.1	5 นาที	1	Y_1	Y_2	Y_3
1.2	10 นาที	2	Y_1	Y_2	Y_3
2.1	5 นาที	3	Y_1	Y_2	Y_3
2.2	10 นาที	4	Y_1	Y_2	Y_3

โดยจะทำการแช่ลูกสตรอเบอร์รี่ในจำนวน 1 ลูกต่อ 1 กล่อง ดังภาพ 3.2 เพื่อลดการซ้ำและการแพร่กระจายของสปอร์เชื้อราที่เกิดจากการที่มีพื้นผิวของสตรอเบอร์รี่แตกต่างกัน



ภาพ 3.3 การจัดเก็บสตรอเบอรี่ที่ผ่านการทดลองระยะที่ 2

3.4.3 ขั้นตอนการทดลองด้วยเครื่องเครื่องพลาสมา

ดำเนินการทดลองโดยใช้เครื่องกระตุ้นพลาสมาตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ตาม phase 1 ดังตาราง 3.4

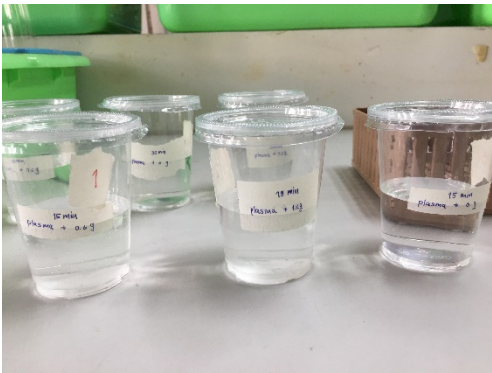
ตาราง 3.5 การทดลองพลาสมา

ขั้นตอน	วิธีทำ
1. เตรียมเครื่องผลิตพลาสมาชนิด 1 หัว 	ติดตั้งเครื่องโดยการเสียบปลั๊ก ติดตั้งเครื่อง ป้อนลมเพื่อป้อนลมในการสปาร์คน้ำพลาสมา

ตาราง 3.5 การทดลองพลาสมา (ต่อ)

ขั้นตอน	วิธีทำ
2. เตรียมสารที่ใช้ทดลอง  น้ำประปา  โซเดียมไบคาร์บอเนต	เตรียมน้ำประปาขนาด 1 ลิตร และเบกกิ้งโซดาตามที่กำหนดไว้
3. วางปิกเกอร์ที่ฐานยก	วางปิกเกอร์ไว้ที่ฐานยก
4. เปิด Gas Generator	เพื่อป้อนลมปรับไปที่อากาศ 6 ลิตรต่อนาที
5. เปิด Laboratory Power Supply 	เพื่อจ่ายไฟเข้าไปทางสายไฟทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกันให้เกิดพลาสมา

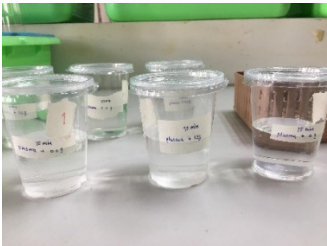
ตาราง 3.5 การทดลองพลาสมา (ต่อ)

ขั้นตอน	วิธีทำ
6. ผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต 	ผสมสารที่ใช้กับน้ำประปาเพื่อที่จะทำการสปาร์คน้ำพลาสมา
7. ยกฐานขึ้น 	ยกฐานที่วางปีกเกอร์ขึ้นด้วยการหมุน
8. จับเวลาในการสปาร์ค	จับเวลาในการสปาร์คตามเวลาที่ได้กำหนด
9. จัดเก็บน้ำพลาสมา 	จัดเก็บน้ำพลาสมาในภาชนะที่เตรียมไว้

3.4.4 ทดลองเพื่อหาค่าไนเตรท

การดำเนินการทดลองเพื่อหาค่าไนเตรทในน้ำกระตุ้นพลาสมา และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำกระตุ้นพลาสมา ดังตาราง 3.6

ตาราง 3.6 การหาค่าไนเตรท

ขั้นตอน	วิธีทำ
1. เตรียมสารที่จะใช้ทดสอบ 	นำชุดทดสอบที่จะทำการทดสอบไนเตรท
2. เตรียมตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ 	นำตัวอย่างน้ำพลาสมาที่จะทดสอบเตรียมไว้
3. ทำการผสมส่วนผสมทั้งหมดเพื่อทำการทดสอบ 	ผสมส่วนผสมทั้งหมดในหลอดทดลองเพื่อเตรียมหาค่าไนเตรท
4. ใช้เครื่อง Spectrophotometer	นำสารเข้าเครื่อง Spectrophotometer เพื่อหาค่าไนเตรท จากนั้นบันทึกผล

3.4.5 ทดลองเพื่อหาเวลาในการแช่ที่เหมาะสม

ทำการแช่สตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการคัด นำไปแช่ในน้ำกระตุ้นพลาสมาในเวลาที่กำหนดคือ 5 นาที และ 10 ในแต่ละปัจจัยที่เลือก และนำไปแช่ในตู้เย็นในอุณหภูมิควบคุมที่ 25 องศาเซลเซียส ดังภาพ 3.3



ภาพ 3.4 การเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการแช่ในระยะเวลาต่าง ๆ ในตู้เย็นที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อตอบผลตอบที่ได้ตั้งไว้

หลังจากเกิดการเน่าเสียของสตรอเบอร์รี่ที่ได้ทดลองแล้วนั้นจะการทดสอบเพื่อหาค่า Y ที่ได้ตั้งเป็นผลตอบจากการออกแบบการทดลอง คือ เปอร์เซ็นต์การเกิดเชื้อราต่อจำนวนทั้งหมดและแต่ละลูก การประเมินสีโดยทำ Sensory Test และค่า pH

3.5.1 การวัดค่า pH

จะนำเอาสตรอเบอร์รี่ที่เกิดการเน่าเสียแล้วด้วยกรณีใดก็ตาม นำมาทำให้เป็นของเหลว หลังจากนั้นใช้กระดาษลิตมัสในการหาค่า pH โดยจะนำสตรอเบอร์รี่ที่จำนวน 33.33 เปอร์เซ็นต์ของ

จำนวนลูกทั้งหมดที่ทดลอง 36 ลูก และเปรียบเทียบสีโดยตาเปล่า ดังภาพ 3.4 ในการเปรียบเทียบสี ซึ่งการเปรียบเทียบสีนี้ต้องการเปรียบเทียบในที่ตำแหน่งเดิม และแสงที่เท่ากัน โดยจะทำการวัดเมื่อสตรอบอร์รี่อยู่ในสถานะเสีย



ภาพ 3.5 การเปรียบเทียบเพื่อหาค่า pH

3.5.2 การวัดสี

ทำการประเมิน Sensory Test จากผู้ประเมินทั้งหมด 20 คน แบ่งเป็นชาย 10 คน และหญิง 10 คน เพื่อประเมินสีความเข้มของสตรอบอร์รี่

3.5.3 ร้อยละของพื้นที่การเกิดโรค และเชื้อรา

จะคิดจากจำนวนผลของสตรอบอร์รี่ที่เกิดเชื้อราจากจำนวนผลสตรอบอร์รี่ทั้งหมด และคิดเปอร์เซ็นต์การเกิดเชื้อราของแต่ละผลสตรอบอร์รี่เกิดการเน่าเสียด้วยเชื้อรา โดยใช้โปรแกรม Measure ในการวัดพื้นที่ที่เกิดโรคหรือเชื้อราเทียบกับส่วนที่ไม่เกิดโรคหรือเชื้อรา

3.6 สรุปผลและจัดทำรายงาน

สรุปผลจากการวิเคราะห์ผลจากการวัดค่า pH การวัดสี และร้อยละของพื้นที่การเกิดโรคและเชื้อรา

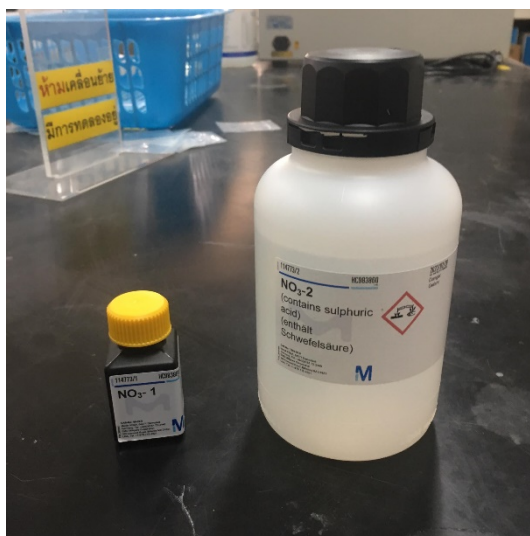
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานของโครงการวิจัย

บทนี้จะแสดงผลการดำเนินงานที่ได้จากการทดลอง โดยจะแสดงผลการตรวจสอบปริมาณไนเตรทช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่จากน้ำพลาสมา และน้ำพลาสมาผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต และการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม Minitab โดยผลตอบที่กำหนดไว้คือ ค่า pH ของผลสตรอเบอร์รี่ ลักษณะโดยรวมภายนอกของผลสตรอเบอร์รี่ และพื้นที่ร้อยละการเกิดเชื้อราบนผลสตรอเบอร์รี่ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการผลิตน้ำพลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาผลสตรอเบอร์รี่

4.1 ผลวิเคราะห์การทดสอบไนเตรท

การหาค่าการทดสอบไนเตรทจากน้ำกระตุ้นพลาสมาที่ได้จากการทดลองจะทำการทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบไนเตรทดังภาพ 4.1



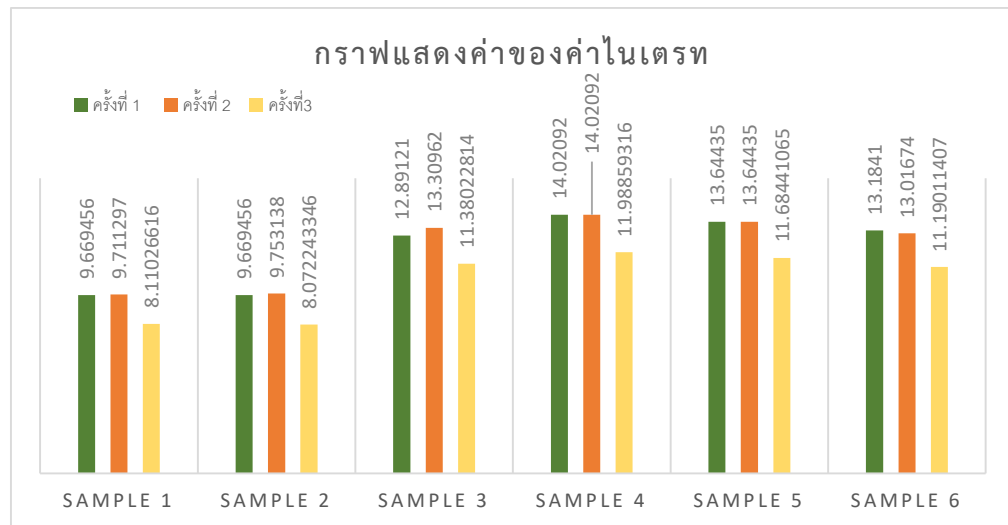
ภาพ 4.1 ชุดทดสอบไนเตรท

จากน้ำกระตุ้นพลาสมาโดยวิธีการ Water activated plasma ในเงื่อนไขการทดลอง โดยทำทั้งหมด 2 ค่า แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น Pharo 300 ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เพื่อทดสอบการดูดกลืนแสงหาปริมาณไนเตรทในน้ำกระตุ้นพลาสมาทั้ง 6 เงื่อนไข แล้วนำมาบันทึกผลแสดงดังตาราง 4.1

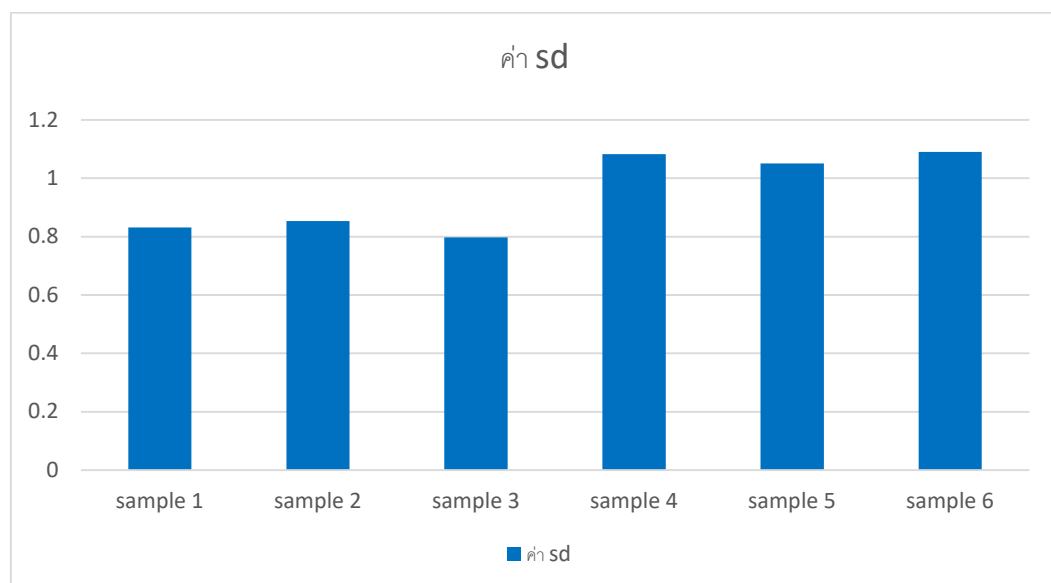
ตาราง 4.1 ปริมาณไนเตรทที่ได้จากการทดสอบ

Sample	NO ₃ ⁻				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่า SD
1. น้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 0 เปอร์เซ็นต์	9.669456	9.711297	8.110266	8.722942	0.831477
2. น้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 3 เปอร์เซ็นต์	9.669456	9.753138	8.072243	8.697298	0.853307
3. น้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์	12.89121	13.30962	11.38023	11.98931	0.796916
4. น้ำกระตุ้นพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 0 เปอร์เซ็นต์	14.02092	14.02092	11.98859	12.78916	1.082603
5. น้ำกระตุ้นพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 3 เปอร์เซ็นต์	13.64435	13.64435	11.68441	12.44551	1.050738
6. น้ำกระตุ้นพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์	13.1841	13.01674	11.19011	11.93278	1.089974
Average				11.09617	0.950836

จากนั้นทำการทำการพล็อตกราฟเพื่อแสดงค่าไนเตรท ดังภาพ 4.2 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากการทดสอบ ดังภาพ 4.3

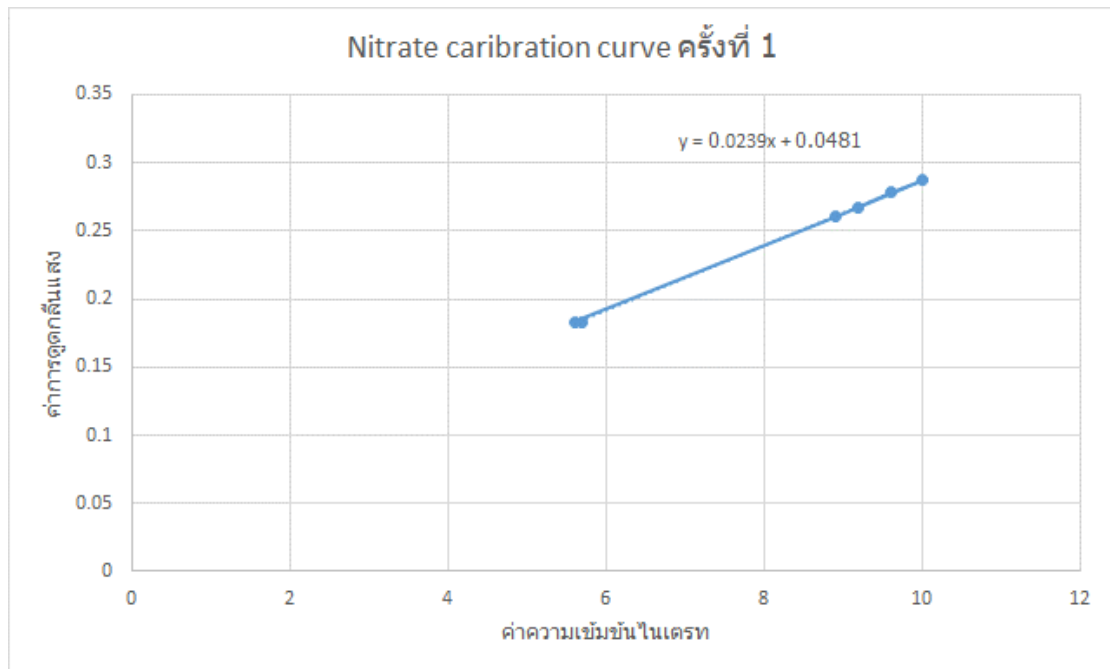


ภาพ 4.2 การแสดงค่าของไนเตรทที่ได้ทดสอบ

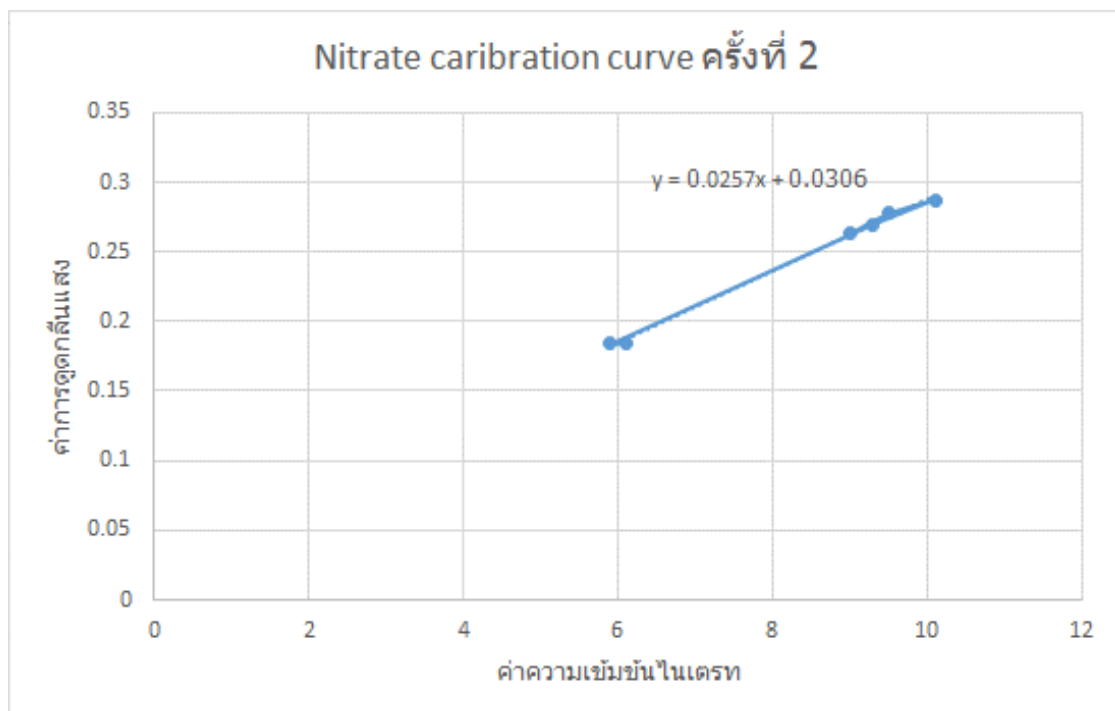


ภาพ 4.3 การแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าไนเตรท

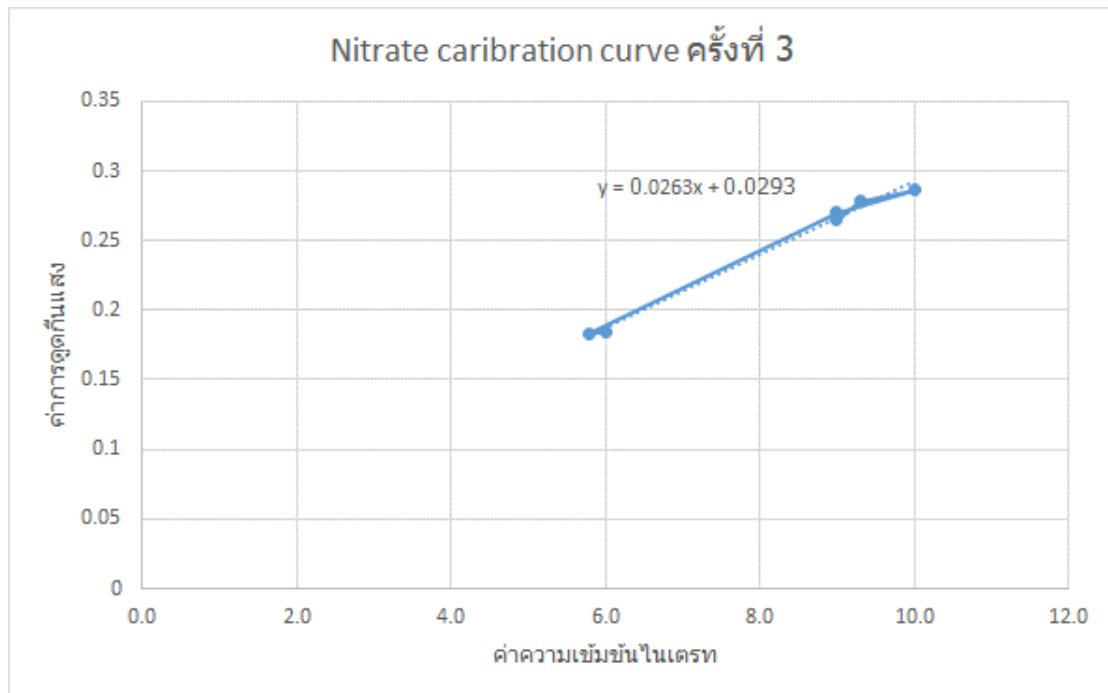
ซึ่งค่าจากตาราง 4.1 ได้ค่ามาจากการพล็อตกราฟของความเข้มข้นและการดูดกลืนแสงของไนเตรทเมื่อทำการพล็อตกราฟแล้วจะแสดงให้เห็นดังภาพ 4.4 ภาพ 4.5 และภาพ 4.6



ภาพ 4.4 ความเข้มข้น และการดูดกลืนแสงของไนเตรทของครั้งที่ 1



ภาพ 4.5 ความเข้มข้น และการดูดกลืนแสงของไนเตรทของครั้งที่ 2



ภาพ 4.6 ความเข้มข้น และการดูดกลืนแสงของไนเตรทของครั้งที่ 3

เนื่องจากค่าที่ได้มาจากการทำการทดสอบหาค่าไนเตรตนั้นผู้วิจัยคาดคะเนว่าตัวอย่างแต่ละตัวอย่างนั้นมีปัจจัยที่มีนัยยะต่างกันมากน้อยเพียงใด จึงทำการทดสอบ T-test เพื่อหาว่าปัจจัยที่ใช้ในมีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยนำเข้าโปรแกรม Minitab โดยทดสอบครั้งที่ 1 ระหว่างตัวอย่างที่ 3 น้ำกระดุนพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างที่ 4 น้ำกระดุนพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 0 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้ดังภาพ 4.7

Method

μ_1 : mean of sample3
 μ_2 : mean of sample4
 Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Estimation for Difference

95% CI for
 Difference Difference
 -0.800 (-3.270, 1.670)

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
sample3	3	11.989	0.797	0.46
sample4	3	12.79	1.08	0.63

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
 T-Value DF P-Value
 -1.03 3 0.379

ภาพ 4.7 ผลทดสอบ T-test ครั้งที่ 1

โดยจากภาพ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต และเวลาในการดิสซาร์จน้ำ พลาสมานั้นไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นทำการทดสอบครั้งที่สองระหว่าง ตัวอย่างที่ 4 น้ำกระดุนพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 0 เปอร์เซนต์ และตัวอย่าง ที่ 5 น้ำกระดุนพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 3 เปอร์เซนต์ เพื่อหาว่าปริมาณ โซเดียมไบคาร์บอเนตมีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ซึ่งจากการทำ T-test ได้ผลดังภาพ 4.8

Method

μ_1 : mean of sample4

μ_2 : mean of sample5

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
sample4	3	12.79	1.08	0.63
sample5	3	12.45	1.05	0.61

Estimation for Difference

95% CI for Difference	Difference
0.344	(-2.428, 3.116)

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
T-Value	DF
0.39	3
P-Value	0.720

ภาพ 4.8 ผลทดสอบ T-test ครั้งที่ 2

โดยจากภาพ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตนั้นไม่มีความแตกต่างทาง นัยสำคัญทางสถิติ

ได้ทำการทดสอบ ANOVA ในโปรแกรมมินิแทป และ SPSS เพื่อดูความแตกต่างทางสถิติใน ข้อมูลของตัวอย่างทั้ง 6 ตัวอย่าง ซึ่งได้ผลดังภาพ 4.9

ANOVA

ค่าในแถว	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	52.714	5	10.543	11.462	.000
Within Groups	11.038	12	.920		
Total	63.751	17			

ภาพ 4.9 ผลจากการทำการทดสอบ ANOVA ใน SPSS

จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยสถิติ ANOVA แสดงว่า ปริมาณของโซเดียมไบคาร์บอเนต และเวลาในการผลิตน้ำพลาสมามีแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นต้องทำการตรวจสอบแบบรายคู่ว่าตัวอย่างไหนที่มีความแตกต่างกัน จึงได้ดังภาพ 4.10

Multiple Comparisons							
Dependent Variable: ค่าในเตา							
	(I) sample	(J) sample	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	1	2	.0256667	.7830722	.974	-1.680501	1.731834
		3	-3.2663333*	.7830722	.001	-4.972501	-1.560166
		4	-4.0662000*	.7830722	.000	-5.772368	-2.360032
		5	-3.7225667*	.7830722	.000	-5.428734	-2.016399
		6	-3.2098000*	.7830722	.001	-4.915968	-1.503632
	2	1	-.0256667	.7830722	.974	-1.731834	1.680501
		3	-3.2920000*	.7830722	.001	-4.998168	-1.585832
		4	-4.0918667*	.7830722	.000	-5.798034	-2.385699
		5	-3.7482333*	.7830722	.000	-5.454401	-2.042066
		6	-3.2354667*	.7830722	.001	-4.941634	-1.529299
	3	1	3.2663333*	.7830722	.001	1.560166	4.972501
		2	3.2920000*	.7830722	.001	1.585832	4.998168
		4	-.7998667	.7830722	.327	-2.506034	.906301
		5	-.4562333	.7830722	.571	-2.162401	1.249934
		6	.0565333	.7830722	.944	-1.649634	1.762701
	4	1	4.0662000*	.7830722	.000	2.360032	5.772368
		2	4.0918667*	.7830722	.000	2.385699	5.798034
		3	.7998667	.7830722	.327	-.906301	2.506034
		5	.3436333	.7830722	.669	-1.362534	2.049801
		6	.8564000	.7830722	.296	-.849768	2.562568
	5	1	3.7225667*	.7830722	.000	2.016399	5.428734
		2	3.7482333*	.7830722	.000	2.042066	5.454401
		3	.4562333	.7830722	.571	-1.249934	2.162401
		4	-.3436333	.7830722	.669	-2.049801	1.362534
		6	.5127667	.7830722	.525	-1.193401	2.218934
	6	1	3.2098000*	.7830722	.001	1.503632	4.915968
		2	3.2354667*	.7830722	.001	1.529299	4.941634
		3	-.0565333	.7830722	.944	-1.762701	1.649634
		4	-.8564000	.7830722	.296	-2.562568	.849768
		5	-.5127667	.7830722	.525	-2.218934	1.193401

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ภาพ 4.10 การทดสอบทางสถิติเพื่อหาความแตกต่าง

ทำการทดสอบแบบ Duncan แบบ Fisher Pairwise และจากภาพ 4.10 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 เป็นตัวอย่างที่ให้ค่าไนเตรทน้อยที่สุด ซึ่งตัวอย่างที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นกลุ่ม B จากวิธี Fisher Pairwise ซึ่งมีค่า sig. = 0.974 แสดงว่าตัวอย่างที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญกัน และตัวอย่างที่ 3 4 5 และ 6 ซึ่งจัดเป็นกลุ่ม A จากวิธี Fisher Pairwise ซึ่งมีค่า sig. = 0.330 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างที่ 3 4 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ โดยทั้งหมดทั้งมวลค่าที่ได้มากที่สุดคือ ตัวอย่างที่ 4 และรองลงมาคือ ตัวอย่างที่ 5 ดังภาพ 4.11 และภาพ 4.12

ค่าไนเตรท				
			Subset for alpha = 0.05	
	sample	N	1	2
Duncan ^a	2	3	8.697300	
	1	3	8.722967	
	6	3		11.932767
	3	3		11.989300
	5	3		12.445533
	4	3		12.789167
	Sig.		.974	.330

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ภาพ 4.11 การทดสอบแบบ Duncan

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

sample	N	Mean	Grouping
4	3	12.789	A
5	3	12.446	A
3	3	11.989	A
6	3	11.933	A
1	3	8.723	B
2	3	8.697	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาพ 4.12 การทดสอบแบบ Fisher Pairwise

เนื่องด้วยค่าตัวอย่างที่ 4 5 และตัวอย่างที่ 3 มีความใกล้เคียงกัน แต่เนื่องด้วยจากการทดลองนั้นผู้วิจัยได้สังเกตถึงเวลาในการดิสชาร์จ เมื่อทำการใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำ 1 ลิตร จะสามารถลดเวลาในการผลิตน้ำพลาสมาจาก 30 นาที เป็น 15 นาที

4.2 การวิเคราะห์ต้นทุน

การผลิตน้ำพลาสมาในเวลา 30 นาที ต้นทุนจะอยู่ที่ 1.75 บาทต่อน้ำปริมาณ 1 ลิตร และการผลิตน้ำพลาสมาในเวลา 15 นาทีที่ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต้นทุนจะอยู่ที่ 0.934 บาทต่อน้ำปริมาณ 1 ลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทำให้ต้นทุนลดลง ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 แสดงต้นทุนในการผลิตน้ำพลาสมาปริมาณ 1 ลิตร ในเวลาที่ 15 นาที และ 30 นาที

เวลาในการผลิตน้ำพลาสมา 15 นาที				เวลาในการผลิตน้ำพลาสมา 30 นาที			
รายการ	หน่วย	ปริมาณ (ลิตร)	รวม (บาท)	รายการ	หน่วย	ปริมาณ (ลิตร)	รวม (บาท)
Gas generator	0.32	1	0.32	Gas generator	0.61	1	0.61
Power Supply	0.61	1	0.61	Power Supply	1.14	1	1.14
น้ำประปา	0.34	0.001	0.00	น้ำประปา	0.34	0.001	0.00
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	0.06	1	0.004	-	-	-	-
รวม (บาท)			0.934	รวม (บาท)			1.75

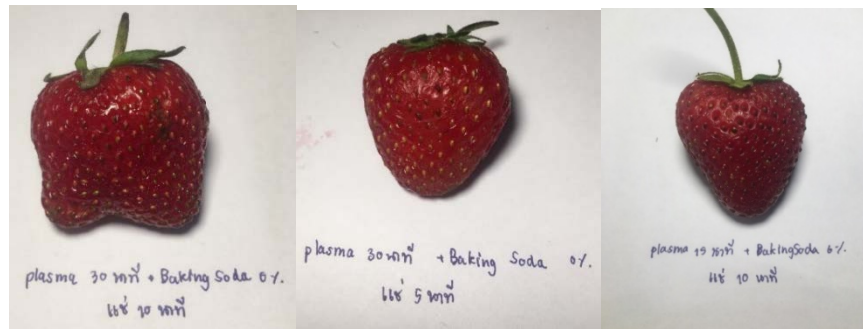
โดยจากการทดลองกับการแช่สตรอเบอร์รี่นั้นมียาใช้ในการเก็บรักษาที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการแช่สตรอเบอร์รี่ในน้ำพลาสมาเพื่อทำการล้างในเวลา 5 นาที และ 10 นาทีซึ่งการล้างผลไม้แช่ผลไม้ที่นั้นปกติแล้วจะใช้เวลาในการแช่ระหว่าง 10-30 นาทีแล้วแต่วิธีในการล้าง หลังจากการแช่จะทำการสังเกตด้วยตาเปล่าทุก 12 ชั่วโมง ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ จำนวนลูกสตรอเบอร์รี่ที่ทดลอง 36 ลูก

4.3 พื้นที่การเกิดเชื้อราของสตรอเบอร์รี่ที่เน่าเสียด้วยเชื้อรา

การวัดค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดเชื้อราของจำนวนลูกสตรอเบอร์รี่ที่ทำการทดลองโดยในวันที่ 3 ได้เกิดเชื้อราขึ้น 2 ลูก หลังจากการล้างด้วยน้ำกระตุ่นพลาสติกจากทั้งหมด 36 ลูก คิดเป็นร้อยละ 5.56 และนอกนั้นเป็นการเน่าเสียจากการเกิดรอยดำและเมล็ดกลายเป็นสีดำ 33 ลูก คิดเป็นร้อยละ 91.67 และเน่าเสียแบบรอยดำในวันที่ 4 จำนวน 1 ลูก คิดเป็นร้อยละ 2.77 และทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่เกิดเชื้อราของแต่ละลูกสตรอเบอร์รี่ที่เกิดเชื้อราขึ้นดังตาราง 4.3 และยกตัวอย่างการเน่าเสียจากการเกิดรอยดำ และเมล็ดเป็นสีดำดังภาพ 4.13

ตาราง 4.3 เปอร์เซนต์พื้นที่การเกิดเชื้อราของสตรอเบอร์รี่ที่เน่าเสียด้วยเชื้อรา

ลูกที่	เปอร์เซ็นต์การเกิดเชื้อรา
1	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 99.36 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก และมีรอยดำที่ 53.13 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก
2	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 97.42 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก และมีรอยดำที่ 19.37 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก
3	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 81.04 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก และมีรอยดำที่ 23.90 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก
4	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 71.99 เปอร์เซนต์ เปอร์เซนต์ของทั้งลูก และมีรอยดำที่ 30.64 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก
5	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 77.62 เปอร์เซนต์ เปอร์เซนต์ของทั้งลูก และมีรอยดำที่ 48.98 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก
6	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 69.09 เปอร์เซนต์ เปอร์เซนต์ของทั้งลูก และมีรอยดำที่ 13.11 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก
7	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 75.88 เปอร์เซนต์ เปอร์เซนต์ของทั้งลูก และมีรอยดำที่ 0.63 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก
8	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 86.67 เปอร์เซนต์
9	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 64.05 เปอร์เซนต์ เปอร์เซนต์ของทั้งลูก และมีรอยดำที่ 48.09 เปอร์เซนต์ของทั้งลูก
10	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 88 เปอร์เซนต์
11	การเกิดเชื้อราอยู่ที่ 0 เปอร์เซนต์ โดยเสียจากกรณีเมล็ดมีสีดำที่ 99.04 เปอร์เซนต์



ภาพ 4.13 ตัวอย่างสตรอเบอร์รี่ที่เกิดการเน่าเสียแบบรอยดำ และเมล็ดมีสีดำ

4.4 การทดสอบระดับความเข้มสีโดยใช้ Sensory test

ระหว่างการทดลองสตรอเบอร์รี่นั้นได้ทำ Sensory test ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 0 จนถึง วันที่เกิดการเน่าเสีย เป็นชาย 10 คน และหญิง 10 คน รวม 20 ชุดแบบสอบถาม ได้ดังตาราง 4.4 โดยเลข 1-5 แสดงถึงความเข้มสีมากของสตรอเบอร์รี่ไปยังความเข้มสีน้อยของสตรอเบอร์รี่

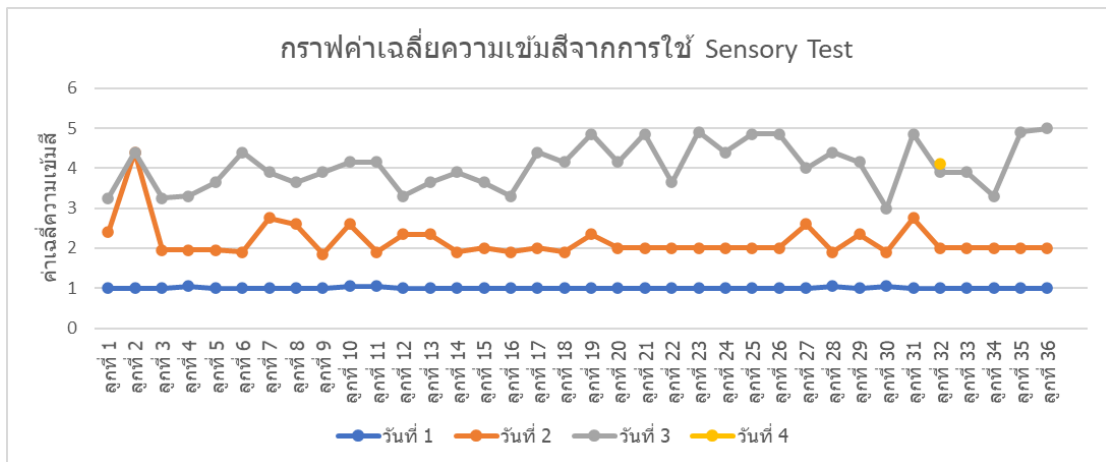
ตาราง 4.4 แบบสอบถามระดับความเข้มสี

ลูกสตรอเบอร์รี่ที่	ค่าเฉลี่ยวันที่ 1	ค่าเฉลี่ยวันที่ 2	ค่าเฉลี่ยวันที่ 3	ค่าเฉลี่ยวันที่ 4
1	1	1.95	3.25	-
2	1	1.95	4.4	-
3	1	1.95	3.25	-
4	1.05	1.9	3.3	-
5	1	2.75	3.65	-
6	1	2.6	4.4	-
7	1	1.85	3.9	-
8	1	2.6	3.65	-
9	1	1.9	3.9	-
10	1.05	2.35	4.15	-
11	1.05	2.35	4.15	-
12	1	1.9	3.3	-
13	1	2	3.65	-

ตาราง 4.4 แบบสอบถามระดับความเข้มข้น (ต่อ)

ลูกสตรอเบอร์รี่ที่	ค่าเฉลี่ยวันที่ 1	ค่าเฉลี่ยวันที่ 2	ค่าเฉลี่ยวันที่ 3	ค่าเฉลี่ยวันที่ 4
14	1	2	3.9	-
15	1	2	3.65	-
16	1	1.9	3.3	-
17	1	2	4.4	-
18	1	1.9	4.15	-
19	1	2.35	4.85	-
20	1	2	4.15	-
21	1	2	4.85	-
22	1	2	3.65	-
23	1	2	4.9	-
24	1	2	4.4	-
25	2	2	4.85	-
26	1	2	4.85	-
27	1	2.6	4	-
28	1.05	1.9	4.4	-
29	1	2.35	4.15	-
30	1.05	1.9	3	-
31	1	2.75	4.85	-
32	1	2	3.9	4.1
33	1	2	3.9	-
34	1	2	3.3	-
35	1	2	4.9	-
36	1	2	5	-

หลังจากที่สตรอเบอร์รี่เกิดการเน่าเสียจะทำการนำสตรอเบอร์รี่ไปวัดค่า pH ด้วยกระดาษ
 ลิทมัส ที่สามารถนำสีที่เปลี่ยนมาเทียบค่ามาตรฐานได้ โดยสามารถนำมาเปรียบเทียบอย่างเห็นได้ชัด
 โดยกราฟดังภาพ 4.14



ภาพ 4.14 กราฟระดับความเข้มข้นของสีสตรอเบอร์รี่

การกำหนดระดับความเข้มข้นสีบ่งบอกถึงความสดของสตรอเบอร์รี่เนื่องจากสตรอเบอร์รี่ที่มีสีเข้มแสดงให้เห็นว่าสตรอเบอร์รี่มีการสุกงอมที่มากเกินไป ส่งผลต่อลักษณะภายนอก โดยจะทำการให้คะแนนลักษณะปรากฏตามระดับคะแนนดังนี้

ระดับคะแนน	5	ผลสตรอเบอร์รี่เป็นสีเข้มมาก
ระดับคะแนน	4	ผลสตรอเบอร์รี่เป็นสีเข้ม
ระดับคะแนน	3	ผลสตรอเบอร์รี่เป็นสีปานกลาง
ระดับคะแนน	2	ผลสตรอเบอร์รี่เป็นสีเข้มน้อย
ระดับคะแนน	1	ผลสตรอเบอร์รี่เป็นสีเข้มน้อยมาก

4.5 การวัดค่า pH จากผลสตรอเบอร์รี่

จากการทดลองได้ทำการวัดค่า pH จากกระดาสลิตมัส โดยการใช้ น้ำกระดุนพลาสติกในเวลาที่ 10 นาที มีค่า pH ที่ 4 ซึ่งมีค่าเป็นกรดน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ค่า pH ที่ได้จากการทดลอง

น้ำพลาสติก	เวลาในการแช่	ค่า pH เฉลี่ยที่ได้
15	5	3
15	10	3
30	5	3.33
30	10	4

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้พลาสมาในการยืดอายุการเก็บรักษาของสตอเบอร์รี่โดยมีจุดมุ่งเน้นในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการดิสชาร์จพลาสมา โดยทำการออกแบบการทดลอง DOE ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลที่ได้จากการดำเนินงาน ปัญหาที่พบจากการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะในการทำโครงการ

5.1 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าการพัฒนาเครื่องต้นแบบการดิสชาร์จพลาสมาเพื่อสร้างไนเตรทและไนไตรท์จากก๊าซในอากาศซึ่งประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน และน้ำ โดยพัฒนามาจากเทคนิคการสร้างโอโซนในหลอด และละลายผ่านเวนทูรี สามารถดิสชาร์จให้ก๊าซดังกล่าวแตกตัวให้อนุมูลอิสระของกลุ่ม ROS และ RNS และละลายลงในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้กระบวนการตรวจวัดปริมาณไนเตรท โดยไนเตรทยังมีค่ามากจะทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของสตอเบอร์รี่ได้เพิ่มขึ้นโดยจากการทดลองนั้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการนั้นคือ เวลาในการผลิตน้ำพลาสมาที่ 30 นาที โดยจากการทำทดสอบ ANOVA พบว่า ตัวอย่างที่ 4 เวลาในการผลิตน้ำพลาสมาที่ 30 นาที ตัวอย่างที่ 5 น้ำกระตุ้นพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 3 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างที่ 6 น้ำกระตุ้นพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างที่ 3 น้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจากการทำทดสอบ ANOVA แบบ Fisher Pairwise จะเห็นว่าค่าไนเตรทที่ดีที่สุดคือ ตัวอย่างที่ 4 เวลาในการผลิตน้ำพลาสมาที่ 30 นาที รองลงมาคือ กระตุ้นพลาสมา 30 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 3 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าสังเกตจะเห็นว่า ตัวอย่างที่ 3 น้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์ จัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกับตัวอย่างที่ 4 ที่ 5 และที่ 6 ซึ่งบ่งบอกให้เห็นว่าประสิทธิภาพของตัวอย่างที่ 3 น้ำ

กระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์ เทียบเท่ากับตัวอย่างที่ 4 5 และ 6 เมื่อทำการทดลองกับการใช้น้ำกระตุ้นพลาสมาที่เวลาในการดิสชาร์จที่ 30 นาที ที่ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 0 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างที่ 3 น้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลที่ใกล้เคียงกันซึ่งสโตรเบอร์รี่ที่ผ่านการน้ำกระตุ้นพลาสมาที่เวลาในการดิสชาร์จที่ 30 นาที ที่ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 0 เปอร์เซ็นต์ นั้นไม่เกิดการขึ้นเชื้อราทั้งในเวลาในการแช่ 5 นาที และ 10 นาที แต่เน่าเสียจากกระบวนการเน่าเสียตามธรรมชาติของสโตรเบอร์รี่เองในระยะเวลา 3 วันที่อุณหภูมิควบคุม 25 องศาเซลเซียส โดยค่า pH จะเฉลี่ยอยู่ที่ 3.33-4 และเช่นเดียวกันกับการใช้น้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์ ผลสโตรเบอร์รี่ที่ได้ผ่านการแช่นั้นเกิดเชื้อราขึ้นเพียง 3 ลูกจากจำนวน 18 ลูก ในระยะเวลาซึ่งส่งผลให้น้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 6 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพด้วยกว่า 16.67 เปอร์เซ็นต์ แต่สามารถลดต้นทุนในการผลิตจาก 1.75 บาทต่อน้ำหนึ่งลิตร เหลือเพียง 0.934 บาทต่อน้ำหนึ่งลิตร โดยค่า pH มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำงาน

5.2.1 กระบวนการผลิตน้ำพลาสมานั้นใช้เครื่องแบบหัวเดียวซึ่งการใช้แบบหัวเดียวนั้นทำให้จำกัดปริมาณในการผลิตน้ำกระตุ้นพลาสมาต่อครั้ง ซึ่งแบบหกหัวนั้นได้ขำรุด จึงอยากให้ในอนาคตนั้นมีการปรับปรุงเครื่องแบบหกหัวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2.2 ในอนาคตอยากให้ปรับปรุงห้องแลปให้ดีขึ้นให้เอื้อต่อการทำการทดลอง

5.2.3 การทดลองกับสโตรเบอร์รี่ในการเกิดเชื้อรานั้นสามารถมีความผิดพลาดจากอุปกรณ์ภาชนะ หรือการควบคุมอุณหภูมิ

5.3 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

5.3.1 เนื่องจากตอนแรกได้ใช้ผลสโตรเบอร์รี่จากโครงการหลวงแต่เนื่องด้วยสโตรเบอร์รี่จากโครงการหลวงนั้นมีการล้างด้วยคลอรีนแล้ว จึงสามารถเก็บสโตรเบอร์รี่ได้ถึง 4 วันโดยอุณหภูมิห้องปกติไม่ได้เข้าตู้เย็น จึงแก้ไขโดยเปลี่ยนไปใช้สโตรเบอร์รี่จากตลาดที่ผู้ขายสามารถคัดความสดได้ และไม่ได้ผ่านการล้างสารเคมีต่าง ๆ

5.3.2 ในการทำการทดลองเครื่องผลิตน้ำพลาสมาแบบหกหัวได้เกิดขำรุด ซึ่งทำการแก้ไขโดยใช้เครื่องผลิตพลาสมาแบบหัวเดียวที่ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์

บรรณานุกรม

- จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยา และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก และผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 น. 2562
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2550. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยว และการหายใจของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริม และฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 431 น. 2562
- ชูพงษ์ สุขุมลันนันทน์. (2531). สตรอเบอร์รี่. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 216 น. 2562
- ฐิติพงศ์ ปัญญาคำ. (2554). คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผักกาดหวานที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวศ์ Hiroshi Akagi. (2560). ห้าทศวรรษมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาาระบบนิเวศเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และนักวิจัยอาสาสมัครมูลนิธิโครงการหลวง. 2562
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวศ์. (2543). สตรอเบอร์รี่ : พืชเศรษฐกิจใหม่. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 158 น. 2562
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์ธนวศ์ เวช เต๋จ๊ะ และ H. Akagi. (2551). สตรอเบอร์รี่ “พันธุ์พระราชทาน 80” เอกสาร งานวิจัยสตรอเบอร์รี่มูลนิธิโครงการหลวง. เชียงใหม่. 3 น. 2562
- ทองใหม่ แพทย์ไชโย. (2541). คุณภาพทางกายภาพ และเคมีหลังการเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอร์รี่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2562
- นพกานต์ อริยะโกคินันท์. (2559). การทำปราชจากเชื้อบนด้ามมีดผ่าตัดด้วยเทคนิคพลาสมาไดออกไซด์ที่กรีกแบรีเออร์ดีสชาร์จ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562
- บุญประการ หัตถผะสุ พิสิษฐ์ แก้วคำ. (2558). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาในการสร้างธาตุอาหารไนโตรเจนและไนไตรท์สำหรับระบบเพาะปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์. รายงานการวิจัยระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562
- ประสาทพร สมิตะมาน ดนัย บุญเกียรติ. ม.ป.ป. สตรอเบอร์รี่. เทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 36 น. 2562

บรรณานุกรม (ต่อ)

- ประสาทร สมิตะมาน ดนัย บุญเกียรติ. (2532). การผลิตสตรอเบอร์รี่ปลอดโรคโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 34 น. 2562
- สมคิด ใจตรง. (2544). คุณภาพผล และผลของแสงต่อการพัฒนาสีของสตรอเบอร์รี่หลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562
- สายชล เกตุษา. (2528). สรีรวิทยา และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผัก และผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริม และฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 364 น. 2562
- สายชล เกตุษา. (2529). การสุกของผลไม้. วารสารเกษตรศาสตร์. 31(1):1.8. 2562
- สุพิศ ปันพงษ์. (2545). การศึกษาปริมาณของโซเดียมอิทธิพลต่อการลดปริมาณไนเตรท และไนไตรต์ตกค้างในไส้กรอกเวียนนา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโภชนศาสตร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562
- สุภาวดี ศรีวงศ์เพชร. (2557). ผลของดัชนีเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์แอ็กทิฟต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562
- โอภา วัชรคุปต์ . (2549). สารต้านอนุมูลอิสระ. พีเอส.พรีนซ์, นนทบุรี. 190 น. 2562
- Avigdor-Avidov, H. 1986 Strawberry. pp.419-448. In Monelise, S.P.(ed.). Handbook of fruit Set and Development. CRC press, Inc. Boca Raton, Florida. 2020
- Inaba, A. and R. Nakamura. 1979. Physiological aspects of strawberry during maturation in relation to cultivating conditions and during ripening of the plant. Hort Abstr. 49: 638. 2020
- Manning, K. 1993. Soft fruit. pp. 347-377. In Seymour, G.B., J.E. Tabor and G.A. Tucker. (eds) Biochemistry of Fruit Ripening. Chapman and Hall, London. 2020
- Miszczak, A., C.F. Forney and R.K. Prange. 1995. Development of aroma volatiles and color during postharvest ripening of 'Kent' strawberry. J Amer Soc HortSci. 120: 650-665. 2020
- Monelise, S.P. 1986. Handbook of Fruit Set and Development. CRC Press, Florida. 539 p. 2020

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Montero, T.M., E.M. Molla, R.M. Esteban and F.J. Lopez-Andreu. 1996. Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Hort.* 65: 239-250. 2020
- Moore, J.N. and W.A. Sistrunk. 1981. Breeding strawberry for superior fruit quality. pp. 149-155. In Childers, N.F. (ed.). *The Strawberry Cultivars to Marketing*. Horticultural Publication, Florida. 2020
- Ulrich, R. 1970. Organic acid. pp.89-115. In Hulme, A.C.(ed). *The Biochemistry of Fruits and their Products*. Vol. 1. Academic Press, New York. 2020

ภาคผนวก ก

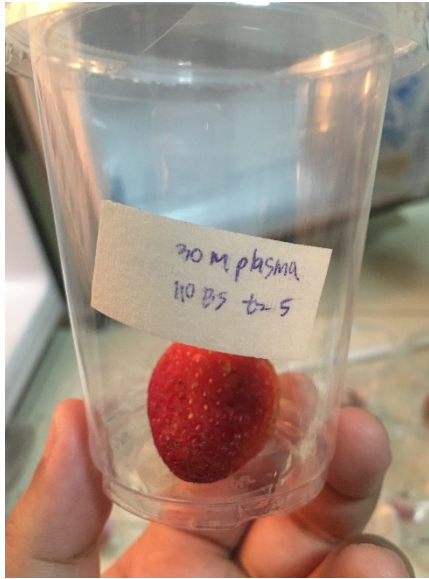
ภาพสโตรเบอร์รี่หลังจากการใช้น้ำกระตุ้นพลาสมา



ภาพ ก-1 สตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาทีที่ปริมาณโซเดียม
ไบคาร์บอเนตที่ 6 เปอร์เซ็นต์ครั้งที่ 1



ภาพ ก-2 สตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 30 นาทีที่ปริมาณโซเดียม
ไบคาร์บอเนตที่ 0 เปอร์เซ็นต์ครั้งที่ 1



ภาพ ก-3 สตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 30 นาทีที่ปริมาณโซเดียม
ไบคาร์บอเนตที่ 0 เปอร์เซ็นต์ครั้งที่ 2



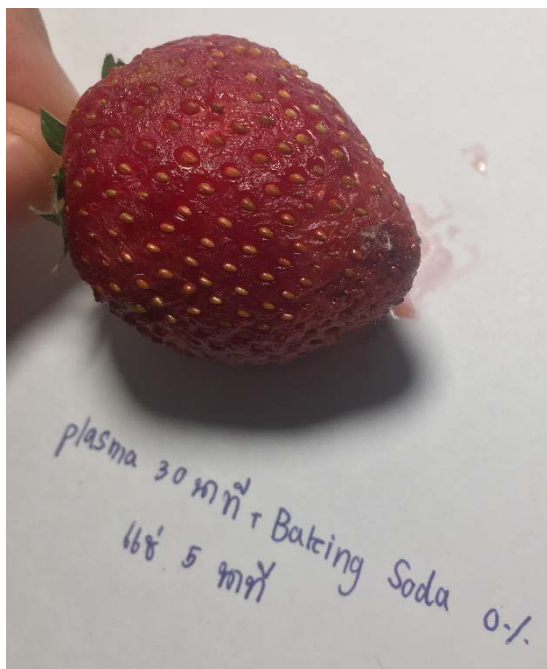
ภาพ ก-4 สตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาทีที่ปริมาณโซเดียม
ไบคาร์บอเนตที่ 6 เปอร์เซ็นต์ครั้งที่ 2

ภาคผนวก ข

ภาพการนำเสนอเกี่ยวกับการเกิดเชื้อราที่สตรอเบอร์รี่



ภาพ ข-1 สตรอเบอร์รี่เกิดเชื้อราที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 15 นาที ที่ปริมาณ โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 6 เปอร์เซ็นต์โดยใช้เวลาแช่ที่ 10 นาที



ภาพ ข-2 สตรอเบอร์รี่เกิดเชื้อราที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำกระตุ้นพลาสมา 30 นาที ที่ปริมาณ โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 0 เปอร์เซ็นต์โดยใช้เวลาแช่ที่ 5 นาที

ประวัติผู้เขียน

ชื่อสกุล : นางสาวจันทรัตน์ ยานะสิทธิ์

รหัสนักศึกษา : 590610260

วันเดือนปีเกิด : 06 กรกฎาคม 2541

ประวัติการศึกษา: กำลังศึกษาระดับอุดมศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัฒโนทัยพายัพเชียงใหม่

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนวัฒโนทัยพายัพเชียงใหม่

ที่อยู่ปัจจุบัน : 97 หมู่ 26 ต.ท่าก้อ อ.แม่สรวย จ.เชียงราย

เบอร์โทรศัพท์ : 095-2460692



ชื่อสกุล : นางสาวเมลานี ต้นอ้าย

รหัสนักศึกษา : 590610327

วัน เดือน ปี เกิด : 10 ธันวาคม 2539

ประวัติการศึกษา: กำลังศึกษาระดับอุดมศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง

ที่อยู่ปัจจุบัน : 68/18 หมู่ 8 ถ.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

เบอร์โทรศัพท์ : 0857109793

