14903

การใช้สารเคมีในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้

(Using Chemical Substance to Prevent Browning Reaction in Canned Fruit)

นาย ทศพร วงศ์เกษม

นางสาว นริศรา ตันวิรัช

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

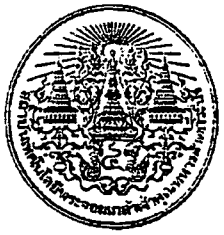
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ 2540

ปพ.
ท๒๓๗ก
2540

สบท.....
ลงทะเบียน.....T096568
วัน.เดือน.ปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การใช้สารเคมีในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้

(Using Chemical Substance to Prevent Browning Reaction in Canned Fruit)

โดย

นาย ทศพร วงศ์เกษม

นางสาว นริศรา ตันวิรัช

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 18, มี.ค. 40 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

( )

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

( )

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 30 เดือน มี.ค. พ.ศ. 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปก. ท12ส ก 2539

20 ส.ค. 2546

ทศพร วงศ์เกษม และนริศรา ตันวิรัช.2539.การใช้สารเคมีในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้บรรจุกระป๋อง (Using Chemical Substance to Prevent Browning Reaction in Canned Fruit)ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ ,60 หน้า

บทคัดย่อ

การเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาเป็นปฏิกริยาที่ไม่ต้องการ เนื่องจากเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียคุณภาพ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การใช้สารเคมีก็เป็นวิธีการหนึ่งที่จะป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้ได้ ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้สารเคมีในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์กล้วยไข่บรรจุกระป๋อง โดยการใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ Erythrobic acid, Ascorbic acid และ Potassium metabisulphite โดยทำการทดลองใช้Erythrobic acid 1, 3, 5 และ 7 % ในการแช่กล้วยไข่เป็นเวลา 30 นาที พบว่าที่ความเข้มข้น 1% สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นอื่น จึงได้มีการทำการทดลองลดปริมาณของErythrobic acid ลงเป็น 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 % พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของErythrobic acid 0.6 % เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด ที่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาล จากผลการทดลองนี้จึงได้ทำการเลือกความเข้มข้นของErythrobic acid 0.6 % มาทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของErythrobic acid 0.6 % กับAscorbic acid 0.6 % และPotassium metabisulphite 100 ppm พบว่าErythrobic acid 0.6 % มีความสามารถในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่ได้ดีกว่า Ascorbic acid 0.6 % และPotassium metabisulphite 100 ppm

ทศพร วงศ์เกษม

นริศรา ตันวิรัช

18 มี.ค. 40

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และแนะนำผู้จัดทำปัญหาพิเศษตลอดมา ผู้จัดทำรู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการปัญหาพิเศษ และคณาจารย์ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางในการทำปัญหาพิเศษ จึงของกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำขอขอบคุณ คุณ ชวลิต โชติกุลพิศาล คุณ มโนทัย มะโนมั่น คุณ เจษฎา เศรษฐกิจ และ คุณกิตติพันธ์ สุนทรมโนกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้ยืมคอมพิวเตอร์ในการพิมพ์ และขนส่งวัตถุดิบ ตลอดจนเพื่อนร่วมรุ่นและน้องๆภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้จัดทำอย่างใกล้ชิดตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปัญหาพิเศษฉบับนี้ขอมอบให้แด่ทุกท่าน

ทศพร วงศ์เกษม

นริศรา ตันวิรัช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบาญตาราง	ช
สารบาญรูป	ซ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	3
2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร	3
2.2 ซัลไฟต์ในฐานะที่เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล	6
2.3 ทางเลือกอื่นที่จะนำมาใช้แทนซัลไฟต์	8
3. วัตถุดิบ อุปกรณ์ สารเคมีและอุปกรณ์	
3.1 วัตถุดิบ	19
3.2 สารเคมี	19
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.4 วิธีการทดลอง	20
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	23
4.1 ลำไย	23
4.2 กล้วยไข่	25
4.2.1 ผลการวัดค่าสีของการวัดค่าสีของกล้วยไข่ก่อนและหลังการแช่ในสารละลายของ Erythorbic acid เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล	25
4.2.2 ผลของค่าสีผิวของกล้วยไข่ก่อนและหลังการแช่สารในละลายของ Erythorbic acid, Ascorbic acid, KMS และน้ำกลั่น (control)	32
4.2.3ผลค่าสี ค่า pH และ Brix ของกล้วยไขบรรจุกระป๋องที่ผ่านการแช่ในสารละลายของErythorbic acid 0.6 %, Ascorbic acid 0.6 % และ KMS 100 ppm และผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน	34
5. สรุปผลการทดลอง	38
เอกสารอ้างอิง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ความหมายของค่าสีในระบบ Hunter 42

ภาคผนวก ข การอ่านค่าสีของเครื่อง Minolta Chromameter CR200 44

ภาคผนวก ค การอ่านค่าความแตกต่างของค่าสีระหว่างสีเดียวกัน 45

ภาคผนวก ง การแปลงค่าสีจาก L a b เป็นระบบ MUNSELL 47

ภาคผนวก จ การหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ 49

ภาคผนวก ฉ การหาความเป็นกรดด่างของผลไม้ 50

ภาคผนวก ช คุณค่าทางโภชนาการของกล้วย 51

ภาคผนวก ซ รูปแสดงเครื่องมือวัดค่าสี Minolta Chromameter CR200 53

ประวัติผู้เขียน 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. แสดงค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ 11
2. แสดงค่า acidity, pH และ Brix ของลำไยที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 1 เดือนครึ่ง 24
3. แสดงผลของค่าสีจากการวัดสีของกล้วยไข่ด้วยการวัดด้วยระบบ Hunter ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 1 25
4. แสดงค่า c ที่ได้จากการคำนวณ 25
5. แสดงค่าความแตกต่างของ L, a, b และ c ในการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 1 26
6. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 1 27
7. แสดงผลการวัดค่าสีกล้วยไข่ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 2 28
8. แสดงค่าความแตกต่างของ L, a, b และ c ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 2 29
9. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 2 31
10. แสดงค่าสีของกล้วยไข่ของการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่ก่อนและหลังการแช่สารเป็นเวลา 30 นาที ของสารเคมี 3 ชนิดคือ Erythrobic acid 0.6 %, Ascorbic acid 0.6 % และ KMS 100 ppm โดยระบบ Hunter 32
11. แสดงค่าความแตกต่าง L, a, b และ c ของการทดลองตอนที่ 2 32
12. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความแตกต่างของผลการทดลองตอนที่ 2 34
13. แสดง pH และ Brix ของกล้วยไข่ที่ผ่านการบรรจุกระป๋องและเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน 34
14. แสดงค่าสีของกล้วยไข่ของการทดลองตอนที่ 3 เมื่อวัดด้วยระบบ Hunter 35
15. แสดงค่าความแตกต่างของค่า L, a, b และ c ของการทดลองตอนที่ 3 35
16. แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ของการทดลองตอนที่ 3 36
17. ค่า MUNSELL และ L*a*b* 48
18. แสดงปริมาณส่วนประกอบและคุณค่าอาหารของกล้วยชนิดต่าง ๆ ในส่วนที่รับประทานได้ 51
19. แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีนในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญรูป

รูปที่		หน้า
1.	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์	4
2.	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์	6
3.	สูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์	10
4.	แสดงปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ของกรดแอสคอร์บิกและดีไฮโดรแอสคอร์บิก	12
5.	การเกิดสี	13
6.	สรุปการใช้กรดแอสคอร์บิก และไอโวซเมอร์ในอุตสาหกรรมอาหาร	14
7.	แสดงจุดต่าง ๆบนกราฟระหว่างค่า ΔL และ Δc ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่1	27
8.	แสดงจุดต่าง ๆบนกราฟระหว่างค่า ΔL และ Δc ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่2	30
9.	แสดงจุดต่าง ๆบนกราฟระหว่างค่า ΔL และ Δc ของการทดลองตอนที่ 2	33
10.	แสดงจุดต่าง ๆบนกราฟระหว่างค่า ΔL และ Δc ของการทดลองตอนที่	36
11.	สีของกล้วยไข่หลังการบรรจุกระป๋องและเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 14 วัน	37
12.	ภาพค่าสีในรูป Hue, Value, Chroma	42
13.	ภาพแสดงค่าสี L*a*b*	43
14.	ภาพแสดงค่าสี L*a*b* (ขยายจากรูปที่ 13)	45
15.	ภาพแสดงโทนสี	46
16.	ภาพแสดงความแตกต่างของโทนสี	46
17.	ค่า L*a*b* และMUNSELL	48
18.	เครื่องมือวัดค่าสี Minolta Chromameter CR200	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรมากมายทั้งพืชไร่พืชสวน ผลไม้ ก็จัดว่าเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่น่าสนใจ ซึ่งจะเห็นได้จากปัจจุบันคนนิยมรับประทานผลไม้มากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากการเอาใจใส่ห่วงใยในสุขภาพรวมถึงความอร่อยและน่ารับประทานของผลไม้เอง อย่างไรก็ตามผลไม้จัดเป็นอาหารที่เสื่อมเสียได้ง่าย (Perishable food) จึงทำให้ผู้บริโภคไม่สามารถเก็บรักษาผลไม้ไว้บริโภคได้นาน เทคโนโลยีในปัจจุบันจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการช่วยให้เกิดการเก็บรักษาผลไม้ได้นานขึ้น เทคโนโลยีการผลิตผลไม้บรรจุกระป๋องก็นับได้ว่ามีการใช้กันอย่างกว้างขวางและน่าสนใจ ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะมีผลไม้สดให้รับประทานตลอดปีก็ตามแต่ความต้องการและการตอบรับของตลาดของผลไม้บรรจุกระป๋องซึ่งให้ความรู้สึกแตกต่างกับการบริโภคผลไม้สดก็มีตลาดที่สดใส ดังจะเห็นได้จากการแข่งขันของผู้ผลิตหลายราย การพัฒนาผลไม้บรรจุกระป๋องให้มีคุณภาพดีให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญมาก โดยมีการศึกษาการปรับปรุงแก้ไขคุณลักษณะคุณภาพในด้านต่าง ๆ ของผลไม้บรรจุกระป๋อง ซึ่งปัญหาหนึ่งที่พบมากและสำคัญมากในการแปรรูปและเก็บรักษาผลไม้บรรจุกระป๋องคือการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ซึ่งเป็นปฏิกริยาที่ไม่ต้องการ เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพเป็นอย่างมาก

การเกิดสีน้ำตาลในอาหารอาจเกิดจากปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์ และปฏิกิริยาแบบไม่ใช้เอนไซม์ วิธีการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลอาจทำได้หลายวิธีเช่น การลวก การอบไอน้ำ การใช้สารเคมี และการกำจัดออกซิเจน ซึ่งในผลไม้บรรจุกระป๋องวิธีการหนึ่งที่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ การใช้สารเคมีซึ่งมีสารเคมีอยู่มากมายหลายชนิดที่มีความสามารถในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยานี้เช่น สารประกอบซัลไฟท์ สารที่มีกรดกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีอยู่ในสูตร สารที่ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO เป็นต้น ซึ่งสารประกอบซัลไฟต์มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ทั้งแบบใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ แต่พบว่าสารจำพวกซัลไฟต์นี้ก่อให้เกิดการแพ้อย่างรุนแรงในคนที่เป็นโรคหอบหืดบางคน ด้วยเหตุนี้สำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Adminisitration;FDA) จึงได้มีการจำกัดการใช้ซัลไฟต์โดยให้ใช้ได้กับอาหารบางจำพวกเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดดังกล่าวของสารจำพวกซัลไฟต์จึงทำให้ผู้ผลิตอาหารหันมาสารตัวอื่นเพื่อใช้แทนซัลไฟต์ คือพวกกรดแอสคอร์บิกและกรดอีริโทรบิก(เป็นไอโซเมอร์ของกรดแอสคอร์บิก) แต่ส่วนใหญ่พบว่า สารเหล่านั้นให้ผลอย่างมีประสิทธิภาพกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่านั้น โดยที่กรดแอสคอร์บิกมีความสามารถในการรีดิวซ์สารประกอบควิโนนให้เป็นสารประกอบฟีนอล ก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล โดยมีวัตถุประสงค์ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

1. เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดอิริทรอบิก ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของ กรดอิริทรอบิก กับ กรดแอสคอร์บิก และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน

ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดมักจะเกิดการเปลี่ยนสี เป็นสีที่เข้มหรือคล้ำมากขึ้นหรือกลายเป็นสีน้ำตาลในระหว่างขบวนการผลิตและการเก็บรักษาอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยา ทั้งแบบที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์ การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวมีความสำคัญต่อคุณภาพของอาหาร (อาจทำให้อาหารมีคุณภาพดีขึ้นหรือเลวลงได้) ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีนี้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมอาหาร มีการค้นพบว่าสารจำพวกซัลไฟต์ (sulfites) สามารถยับยั้งการเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลของอาหรได้ทั้งแบบที่เกิดจากเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ แต่อย่างไรก็ตามสารจำพวกซัลไฟต์นี้ทำให้เกิดการแพ้อย่างรุนแรงในคนที่เป็นโรคหอบหืดบางคน ด้วยเหตุนี้สำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration ; FDA) จึงได้จำกัดการใช้ซัลไฟต์โดยให้ใช้ได้กับอาหารบางจำพวกเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดดังกล่าวของสารจำพวกซัลไฟต์จึงทำให้ผู้ผลิตอาหารหันมาหาสารตัวอื่นเพื่อใช้แทนซัลไฟต์ แต่ส่วนใหญ่พบว่า สารเหล่านั้นให้ผลอย่างมีประสิทธิภาพเฉพาะกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์เท่านั้น และยังให้ผลดีแตกต่างกันไปด้วย ความต้องการที่จะหาสารที่ช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้ได้กระตุ้นให้มีการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้ค่อนข้างมาก ส่งผลให้มีการพัฒนาวิธีการยับยั้งหรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาลหลายวิธี (ประสาร,2538)

2.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร (Browning reaction in foods)

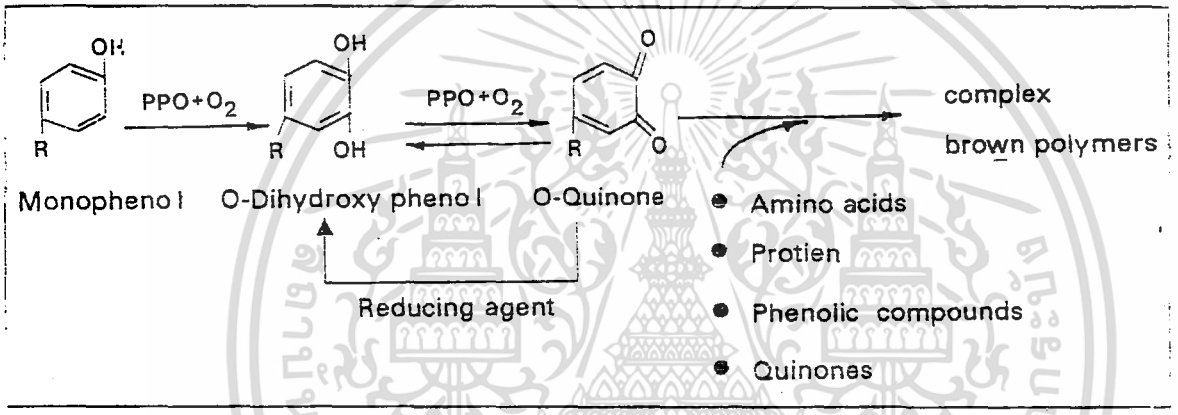
การเกิดสีน้ำตาลในอาหารนั้นจัดแบ่งเป็น 2 อย่างคือ อย่างแรกเกิดจากเอนไซม์ และอย่างที่สองเกิดจากสารอื่นที่ไม่ใช่เอนไซม์ ความซับซ้อนนั้นอยู่ที่ปฏิกิริยาที่จะเกิดตามมาซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีแก่-อ่อน ต่างกัน แม้ว่าจะเกิดในผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน ตัวอย่างเช่น มันฝรั่งที่ปอกเปลือกไว้แล้ว อาจจะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีแดง น้ำตาลหรือแม้กระทั่งสีดำ บางครั้งเกิดหลายสีในมันหัวเดียวกัน การเปลี่ยนสีนี้เป็นผลมาจากการกระทำของเอนไซม์และปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์ซึ่งเกิดจากความร้อนในระหว่างการอบไอน้ำ หรือการแช่ด่างเพื่อปอกเปลือก ในลักษณะเดียวกันนี้เห็ดสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแล้วได้ดีต่าง ๆกัน คือชมพู น้ำตาล ดำ เทา หรือแม้แต่สีม่วง ซึ่งในบางกรณีก็ไม่อาจอธิบายได้ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร การเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลนี้ยังอาจเกิดจากกรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) ในผลิตภัณฑ์อาหารถูกออกซิไดส์ไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(dehydroascorbic acid) แล้วทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนให้ผลลัพธ์เป็นสารสีน้ำตาลโดยปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) หรือเกิดจากปฏิกิริยาอื่นที่ไม่ใช้เอนไซม์

2.1.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction)

การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ เป็นการเปลี่ยนสีที่เป็นผลมาจากการที่สารประกอบจำพวกโมโนฟีนอล (Monophenol) ในพืชหรือสัตว์ในสภาพที่มีออกซิเจนและเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase;PPO) ถูกเติมหมู่ไฮดรอกซิลแล้วเกิดเป็นสารออโทไดฟีนอล (O-Diphenols) ซึ่งจะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นออโทควิโนน (O-Quinones) สารควิโนนที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาต่อไปกับสารประกอบฟีนอล, กรดอะมิโนและสารอื่น ๆ โดยไม่ใช้เอนไซม์ แล้วเกิดเป็นสารที่มีสีที่มีโครงสร้างซับซ้อน (ดังรูปที่ 1)



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ที่มา: ประสาร,2538

เอนไซม์ PPO (EC 1.14.18.1) นี้ได้แก่ไทโรซิเนส (tyrosinase), ออโทไดฟีนอล ออกซิเดส (o-diphenol oxidase) และแคเทคอล ออกซิเดส เป็นต้น ส่วนประกอบฟีนอลที่ถูกออกซิไดส์โดย PPO ได้แก่ แคเทชิน (catechins), ซินนามิค แอซิด เอสเทอร์ (cinnamic acid esters), 3,4 -ไฮดรอกซีฟีนิลอะลานีน (3,4 -hydroxyphenylalanine; DOPY) และไทโรซีน (tyrosine) pH ที่เหมาะสมของเอนไซม์ PPO คือ ระหว่าง 5-7 เอนไซม์ PPO นี้ ค่อนข้างจะไม่ทนความร้อน และสามารถถูกยับยั้งได้ด้วย กรดเฮไลด์ (halides), ฟีนอลแอซิด (phenol acids), ซัลไฟด์, สารที่จับกับโลหะ (chelating agents) และสารรีดิวซ์ (reducing agents) เช่น กรดแอสคอร์บิค, สารจับควิโนน (quinone couplers), ซีสเตอีน (cysteine) และสารประกอบอื่นๆ อีกหลายชนิดที่สามารถจับกับสารที่เป็นซับเสตรท (substrate) ได้

การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์นี้เป็นปัญหาสำคัญที่เกิดกับสินค้าสำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะอาหารจำพวกผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล (apples), แพร์ (pears), ท้อ (peaches), กล้วย (banana) และองุ่น (grapes) จำพวกผักได้แก่ มันฝรั่ง (potatoes), เห็ด (mushrooms) และผักกาด (lettuce) ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

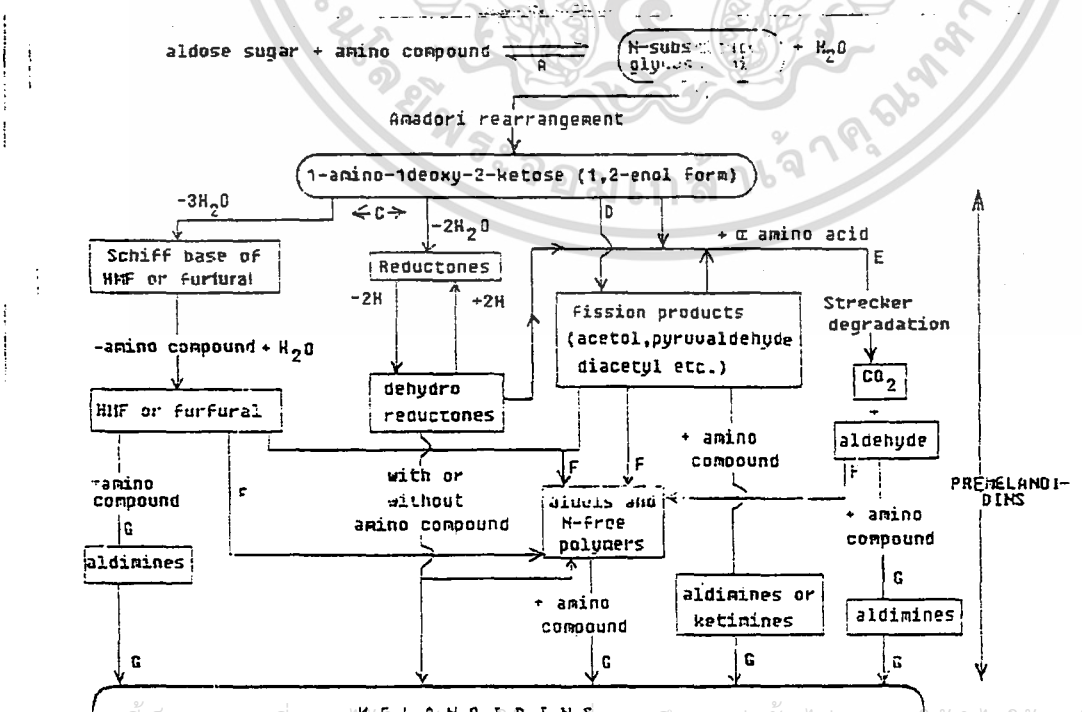
จำพวกอาหารทะเลได้แก่ กุ้ง (shrimp), ล็อบสเตอร์ (spiny lobsters) และปู (crabs) การเกิดการเปลี่ยนสีทำให้อาหารมีอายุการเก็บจำกัด และเป็นปัญหาในการผลิต ผัก, ผลไม้แห้ง และแช่แข็ง

การเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์นี้ ไม่ใช่ว่าจะเป็นตำหนิเสมอไป ปฏิกิริยานี้จะให้สีและกลิ่นรสเป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น ลูกเกด (raisins), ลูกพรุน (prunes), กาแฟ, ชา และโกโก้

เราสามารถควบคุมการผลิตสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในผักและผลไม้ ได้โดยการลวกเพื่อทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้ แต่การลวกไม่สามารถนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์บางอย่าง เพราะอาจมีผลเสียต่อกลิ่น, รส และเนื้อสัมผัส ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่น เช่น การกำจัดออกซิเจน และการใช้สารยับยั้งชนิดต่างๆ

2.1.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Nonenzymatic browning reaction)

การเปลี่ยนแปลงสีเป็นผลมาจาก ปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) และหมู่อะมิโนที่เป็นอิสระ ซึ่งนำไปสู่การเกิดเม็ดสีน้ำตาลของเมลานอยดิน (melanoidin) การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (ดังรูปที่ 2) นั้นเป็นการจำกัดอายุการเก็บของน้ำผักและผลไม้ ผักและผลไม้แห้งหลายชนิดและผลิตภัณฑ์จากส้ม แม้ว่าการเกิดสีน้ำตาดังกล่าวระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนหรือโปรตีนจะมีความสำคัญในผลิตภัณฑ์หลายอย่าง แต่ยังมีการเกิดสีน้ำตาลที่เป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของน้ำตาลเอง หรือจากการเกิดออกซิเดชั่นของกรดแอสคอร์บิคแล้วเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิลโดยผ่านทางขบวนการอัลโดคอนเดนเซชั่น (Aldol condensation) หรือปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน ให้ผลลัพธ์เป็นสารสีน้ำตาล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ; Maillard reaction)

A = sugar - amine condensation B = Amadori rearrangement

C = sugar dehydration D = sugar fragmentation

E = Strecker degradation of amino acid moiety F = aldol condensation

G = aldehyde - amine polymerization and formation of heterocyclic nitrogen compounds

ที่มา: ประสาร,2538

การเกิดสีน้ำตาล จากปฏิกิริยาแบบไม่ใช้เอนไซม์ นอกจากจะทำให้เกิดสีที่ไม่ต้องการแล้ว ยังส่งผลให้เกิดการทำลายสารอาหาร เช่น กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acids) วิตามินซี (ascorbic acids) ทำให้โปรตีนย่อยยาก ยับยั้งเอนไซม์ที่ใช้ย่อยรบกวนเมตาโลิซึมของแร่ธาตุ และยังอาจเกิดสารพิษสารก่อการกลายพันธุ์ (mutagen)

การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาแบบไม่ใช้เอนไซม์นั้นจะเกิดได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์นั้น เช่น สารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard precursor) หรือวิตามินซี พีเอช (pH) วอร์เตอร์แอกติวิตี้ (water activity;Aw) ออกซิเจน เวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษา สารมารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ผลไม้และผักได้ด้วยการใช้ความเย็น (refrigerator) การควบคุม Aw ในผลิตภัณฑ์แห้ง ลดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในมันฝรั่งโดยการเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่ง หรือการใช้เอนไซม์ กลูโคส ออกซิเดส (glucose oxidase) การลดปริมาณของไนโตรเจน ของกรดอะมิโน ในน้ำผักและผลไม้ โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การบรรจุอาหารแบบปราศจากออกซิเจน และการใช้ซัลไฟต์ การใช้กรดอะมิโน ที่ประกอบด้วยกลุ่มซัลฟ์ไฮดริล (sulfhydryl containing amino acids) นั้นมีผลใกล้เคียงกับการใช้ไบซัลไฟต์ (bisulfite) ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้เกิดจากเอ็นไซม์ในระบบการทดลองที่ทำขึ้นมา อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ซีสเตอีนเพื่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลแห้ง (dried apple) นั้นใช้ไม่ได้ผล

2.2 ซัลไฟต์ในฐานะที่เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (Sulfites as browning inhibitors)

สารประกอบจำพวกซัลไฟต์นั้นมีประสิทธิภาพสูงมากในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล แต่มีการควบคุมการใช้อย่างเข้มงวด เนื่องจากมีผลเสียต่อสุขภาพ

2.2.1 <u>การใช้ซัลไฟต์</u> (Sulfite treatments)

สารประกอบพวกซัลไฟต์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide), โซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulfite), โซเดียมไบซัลไฟต์ (sodium bisulfite), โปตัสเซียมไบซัลไฟต์ (potassium bisulfite), โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (sodium metabisulfite) และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(potassium metabisulfite) สารเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นเวลานานแล้วเพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งจากเอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์, การควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ใช้เป็นสารฟอกสี (bleaching agent), ใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชั่น (antioxidant) หรือใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดการรีดิวซ์ และใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆทางด้านเทคนิคอีกหลายอย่าง

ซัลไฟต์ทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ PPO และยังทำปฏิกิริยากับสารตัวกลาง (intermediates) ของปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการเกิดเม็ดสีสีน้ำตาล

ซัลไฟต์สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์โดยการทำปฏิกิริยากับสารตัวกลางที่มีกลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl intermediate) จึงสามารถป้องกันไม่ให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปแล้วเกิดเป็นสารสีน้ำตาล

ปริมาณการใช้ซัลไฟต์ในอาหารนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและความต้องการ และเมื่อใช้แล้วจะต้องมีปริมาณที่ตกค้างไม่เกิน หลายร้อยส่วนต่อล้านส่วน แต่สามารถค้างได้สูงถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วน (1,000 ppm) ในผลิตภัณฑ์จำพวกผักและผลไม้บางอย่าง FDA ได้กำหนดปริมาณสารตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้สูงสุดที่ 300,500 และ 2,000 ppm ในน้ำผลไม้, มันผรั่งแห้ง (dehydrated potatoes) และผลไม้แห้ง (dried fruit) ตามลำดับ

2.2.2 <u>ความปลอดภัยในการใช้ซัลไฟต์</u> (Sulfite issues)

FDA ได้รายงานว่า การบริโภคอาหารที่มีซัลไฟต์ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการแพ้ที่รุนแรง โดยซัลไฟต์จะทำให้เกิดอาการหอบหืดในประชากรบางส่วนที่เป็นโรคนี้ และบางกรณีอาจเกิดอาการหอบหืดอย่างรุนแรงหรือแม้กระทั่งเกิดปฏิกิริยาการแพ้เช่นเดียวกับโรคภูมิแพ้ หรือแพ้ยา

ในปี 1984 FDA จึงได้ให้ Federation 0f American Societies for Experimental Biology (FASEB) ทำการตรวจสอบอีกครั้งเกี่ยวกับสถานะความปลอดภัย (Generally Recoginized as Safe; GRAS) ของซัลไฟต์ ในรายงานฉบับสุดท้ายสรุปว่า สารประกอบจำพวกซัลไฟต์ไม่ได้เป็นสารที่ทำให้เกิดรูปร่างผิดปกติของตัวอ่อนในครรภ์ (teratogen) สารก่อการกลายพันธุ์ หรือสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ในสัตว์ทดลอง ไม่มีข้อมูลทางด้านพิษวิทยา หรือเมตาโบลิซึมเพิ่มขึ้นใหม่ที่จะนำมาเป็นข้ออ้างในการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ซัลไฟต์ ส่วนกลุ่มคนที่ตอบสนองไวต่อซัลไฟต์นั้นก็ยังได้รับอันตรายแตกต่างกันไปในแต่ละคน

2.2.3 <u>ข้อกำหนดการใช้ซัลไฟต์</u> (Regulation issues)

ในปี 1959 สารจำพวกซัลไฟต์ได้ถูกจัดอยู่ในบัญชีของ GRAS เพื่อใช้เป็นสารกันเสีย ในปี 1986 FDA ได้ยกเลิกสถานะของ GRAS ของซัลไฟต์ในผลไม้และผักส่วนใหญ่ที่กินสดหรือขายสดให้กับผู้บริโภค ในเดือนมีนาคม 1990 FDA ได้ขยายการห้ามใช้ซัลไฟต์ ไปยังมันฝรั่งที่ใช้บริโภคสดหรือที่ขายสดไม่ได้บรรจุ และไม่ได้ติดฉลากให้ลูกค้า แต่การห้ามใช้ซัลไฟต์ในมันฝรั่งถูกยกเลิกไปโดยการตัดสินของ The U.S. Court of Appeals เมื่อปี 1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎใหม่ที่เสนอโดย FDA ในปี 1988 คือต้องการให้มีการบอกปริมาณสารซัลไฟต์บนฉลากอาหารเมื่อตรวจพบตั้งแต่ 10 ppm ขึ้นไป และยังมีกฎเพิ่มเติมในการรับรองสถานะ GRAS ของซัลไฟต์ในอาหารเฉพาะอย่าง โดยให้มีปริมาณซัลไฟต์ตกค้างสูงสุดไม่เกินกำหนด ให้ระบุปริมาณของซัลไฟต์บนฉลากผลิตภัณฑ์ หรือบนภาชนะบรรจุรวมหน่วยในตำแหน่งที่ผู้บริโภคมองเห็นได้ชัดเจน หรือมีเครื่องหมาย มีป้าย หรือวิธีอื่นใดก็ตามที่สามารถบอกให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์นี้ได้ผ่านการใช้ซัลไฟต์มาแล้ว

สารประกอบซัลไฟต์ไม่จัดเป็น GRAS ในการใช้กับเนื้อสัตว์ หรือผลไม้ หรือผักที่ใช้บริโภคสด หรือขายสดแก่ผู้บริโภค

2.3 ทางเลือกอื่นที่จะนำมาใช้แทนซัลไฟต์ (Alternative to sulfite)

เนื่องจาก FDA ได้จำกัดการใช้ซัลไฟต์ ในผลิตภัณฑ์ ผักและผลไม้ คาดว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆก็คงจะถูกจำกัดในอนาคต ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้นักวิจัยและผู้ผลิตสารเคมีที่ใช้กับอาหาร พยายามค้นหาสารใหม่แทนซัลไฟต์ ซัลไฟต์เป็นสารที่ทำหน้าที่ได้สารพัดอย่าง การที่จะหาสารอื่นมาใช้แทนนั้นจะทดแทนคุณสมบัติของซัลไฟต์ได้เพียงหนึ่งหรือสองอย่างเท่านั้น จึงดูเหมือนว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะหาสารอื่นมาแทนซัลไฟต์ ได้มีการทดลองผสมสารหลายอย่างเพื่อทำสูตรใช้กับสินค้าเฉพาะอย่าง สูตรดังกล่าวจะต้องให้ผลคุ้มค่าในการใช้งาน (แม้ว่าจะไม่เทียบเท่าซัลไฟต์ ทั้งในเรื่องราคาและประสิทธิภาพ) สารที่นำมาผสมเป็นสูตรเหล่านั้นจะต้องได้รับการตรวจสอบยอมรับจาก FDA ด้วย สูตรสารผสมหลายชนิดต่างๆมีดังนี้

2.3.1 <u>สูตรที่มีกรดแอสคอบิค หรือวิตามินซีเป็นหลัก</u> (Ascorbic acid-based formulation)

วิตามินซีอาจเป็นสารที่ใช้แทนซัลไฟต์ ที่รู้จักกันดีที่สุด เนื่องจากวิตามินซีสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธภาพ เพราะวิตามินซีสามารถรีดิวซ์ สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารโพลีฟีนอลด้วยการกระทำของ PPO ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิม ก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล (รูปที่ 1) อย่างไรก็ตามเมื่อวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิคถูกออกซิไดส์จนกลายเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (dehydroascorbic acid ; DHAA) ทั้งหมดแล้วสารควิโนนก็จะเกิดสะสมมากขึ้นและดำเนินปฏิกิริยาต่อไปจนเป็นได้สารสีน้ำตาลและอีกอย่างคือตัว DHAA เองสามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้โดยไม่ใช้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ แต่ที่ระดับความเข้มข้นสูงวิตามินซีสามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้ มีการใช้วิตามินซีและไอโซเมอร์ของมันคือกรดอีริทอร์บิค (erythorbic acid;d-isoascorbic acid) ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในผลไม้สดแช่แข็ง เช่น แอปเปิ้ลและท้อมาเป็นเวลานานเกือบ 50 ปีมาแล้ว โดยเติมวิตามินซีและไอโซเมอร์ของมันลงในน้ำเชื่อม หรือเตรียมเป็นสารละลายสำหรับเคลือบผิวผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการใช้ร่วมกับกรดซิตริคและเกลือแคลเซียม รวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งมีการใช้ระบบสูญญากาศช่วยดูดอากาศออกจากช่องว่างของผลิตภัณฑ์เพื่อให้สารละลายของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกระจายอย่างทั่วถึงในผลิตภัณฑ์

สารที่ใช้แทนซัลไฟต์เหล่านี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดแอสคอร์บิค หรือ กรดอีริทอร์บิค หรือ เกลือโซเดียมของกรดดังกล่าว และมักผสมร่วมกับสารอื่นอีก 1 หรือมากกว่า 1 เช่น กรดซิตริค หรือกรดอื่นๆ (acidulants), เกลือแคลเซียมฟอสเฟต, โซเดียมคลอไรด์, ซีสเตอีน หรือสารกันเสีย เช่น โซเดียมเบนโซเอท (sodium benzoate)

ตั้งแต่ปี 1986 มีสูตรสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลออกมาจำหน่ายโดยมีสัดส่วนของสารที่ใช้แตกต่างกันออกไปในแต่ละผู้ผลิต รวมทั้งปริมาณการใช้กับผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกัน ก็มีความแตกต่างกันจนดูเหมือนว่าไม่มีความสอดคล้องกันในการใช้ผลิตภัณฑ์จำพวกผักและผลไม้

ผู้ผลิตสารยังยั้งการเกิดสีน้ำตาลนั้นยอมรับตรงกันว่า อายุการเก็บของสินค้าสดที่ผ่านการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลมีอายุ 4 - 7วัน การที่จะยืดอายุการเก็บให้นานขึ้นมากกว่านี้ จะต้องมีวิธีการอื่นเข้าร่วมด้วย เช่น การยืดอายุมันฝรั่งที่ปอกเปลือกแล้วโดยการแช่ในสารละลายกันเสียในขณะขนส่งแล้วตามด้วยการใช้กรดอีริทอร์บิก หรือใช้ระบบการบรรจุสุญญากาศเข้าร่วมด้วยเพื่อกำจัดออกซิเจนออกไป อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบสุญญากาศอาจทำให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ คลอสตริเดียม โบทูลินัม (Clostridium botulinum) ซึ่งสามารถสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายอย่างร้ายแรงออกมาได้

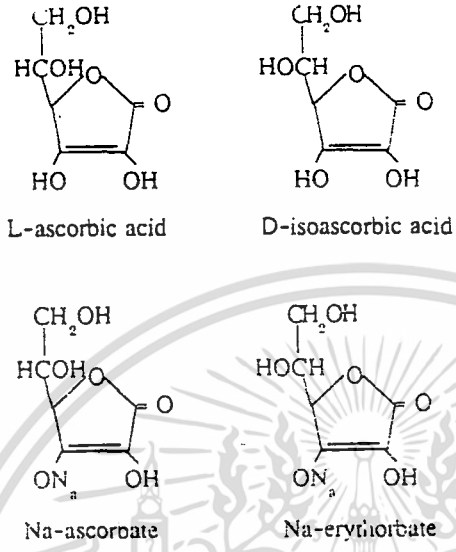
สารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มีวิตามินซีเป็นองค์ประกอบนั้นมักจะมีประสิทธิภาพไม่เท่ากับสารจำพวกซัลไฟต์ เพราะว่าสารพวกซัลไฟต์มีความสามารถในการแทรกซึมเข้าอาหารได้ดีกว่า ดังนั้นจึงมีการทดลองใช้อนุพันธ์ของวิตามินซีที่มีความคงตัวมากกว่าวิตามินซีในการผลิตสารยับยั้ง การเกิดสีน้ำตาลสูตรต่างๆเช่น การใช้แอสคอร์บิค-2-ฟอสเฟต (ascorbic acid-2-phosphates) ในสูตรสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิ้ลและมันฝรั่งซึ่งได้ผลในทางที่ดีขึ้นกว่าเดิม มีการใช้แอสคอร์บิล ปาล์มิเทท (ascorbyl palmitate) และเอสเทอร์อื่นๆของวิตามินซีกับกรดไขมัน ซึ่งใช้ได้ผลดีกับผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ นอกจากนี้ยังมีอนุพันธ์ตัวอื่นของวิตามินซีที่มีความคงตัวสูงกว่าวิตามินซีได้แก่ กรดอัลฟ่ากลูโคซิลแอสคอร์บิค (α-glucosyl ascorbic acid) ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในอาหารที่มีเอนไซม์อัลฟ่ากลูโคซิเดส (α-glucosidase)

สามารถปรับปรุงการแทรกซึมตัวของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่มีวิตามินเป็นองค์ประกอบได้ด้วยการใช้ความดันหรือสุญญากาศเข้าช่วยแทนการจุ่มหรือการฉีดพ่น อย่างไรก็ตามการที่ทำให้อาหารดูดซึมเอาสารละลายของสารกันการเกิดสีน้ำตาลเข้ามากเกินไป ก็จะส่งผลให้อาหารมีน้ำมากเกินไปและเกิดการเสื่อมสภาพของอาหารสดได้

กรดแอสคอร์บิก, กรดอิริทรอบิก L-ascorbic acid หรือ วิตามินซี เป็นสารที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง โครงสร้างประกอบด้วย steriochemical isomer อีก 3 ชนิด แต่มีไอโซเมอร์เพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดเดียวที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารคือ D-isoascorbic acid เพื่อป้องกันความสับสนจึงเรียกว่า D-araboascorbic acid หรือ erythorbic acid ส่วน sodium-isoascorbic acid เรียกว่า sodium erythorbate สูตรโครงสร้างดังแสดงใน รูปที่ 3



รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์

ที่มา: มณฑาทิพย์,2539

การเปรียบเทียบ antioxidant activity

1 ส่วน กรดอิริทรอบิก = 1 ส่วน กรดแอสคอร์บิก

1 ส่วน กรดอิริทรอบิก = 1.12 ส่วน โซเดียมแอสคอร์เบท

1 ส่วน กรดอิริทรอบิก = 1.23 ส่วน โซเดียมอิริทรอเบท

1.09 ส่วน โซเดียมอิริทรอเบท = 1 ส่วน โซเดียมแอสคอร์เบท

2.3.1.1 การใช้กรดอิริทรอบิกทดแทนกรดแอสคอร์บิก

การใช้ประโยชน์กรดอิริทรอบิคในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น เริ่มแรกจากนักอุตสาหกรรมอาหารในสหรัฐอเมริกาต้องการลดต้นทุนในการผลิตสินค้าจึงนำกรดอิริทรอบิคมาใช้ทดแทนกรดแอสคอร์บิกเพราะมีราคาถูกกว่า ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำกรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทรอบิคมาใช้สับเปลี่ยนกันบ่อยๆ จากข้อสันนิษฐานว่า สารประกอบทั้งสองอาจมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน นอกเหนือจาก steriochemical configulation แล้ว ยังมีความแตกต่างอื่นๆ ในกรดทั้งสองเป็นดังนี้ คือ

1. กรดอิริทรอบิกเป็นสารที่ไม่ได้เกิดขึ้นในอาหารตามธรรมชาติ แต่ผลิตได้จาก Ca-2-keto-d-gluconate ด้วยกระบวนการหลายขั้นตอน

2. กิจกรรมทางชีวภาพของกรดอิริทรอบิก (antiascorbutic) น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิกหลาย20 เท่า จึงไม่สามาถใช้เป็นสารเสริมคุณภาพ (enrichment) หรือ fortification ในอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เนื่องจากกรดอิริทรอบิกมีความคล้ายคลึงกันในทางเคมีกับกรดแอสคอร์บิก จึงสามารถเข้าแทรกแซงในกิจกรรมทางชีวภาพของกรดแอสคอร์บิกหลายอย่าง เช่น ทำให้เนื้อเยื่อดูดซึมกรดแอสคอร์บิคได้น้อยลง ดังนั้น ส่งผลให้การเก็บรักษากรดแอสคอร์บิกในเนื้อเยื่อลดลงด้วย (ตับ, ตับอ่อน, ไต และต่อมอะดรีนัล)

4. ไม่อนุญาติให้ใช้เป็นสารเจือปนในหลายประเทศ โดยเฉพาะยุโรป

5. คุณสมบัติต่างๆ ทางกายเคมีกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของกรดแอสคอร์บิกและกรดอิริทรอบิก

	Ascorbic acid	Erythorbic acid
Molecular Weight		
Free acid	176.13	176.13
Na salt	198.11	216.12(H_2O)
Melting point		
Free acid	190-192°C	164-169°C
Na salt	200°C	200°C
Solubility (g/100 ml H_2O 25°C)		
Free acid	30	40
Na salt	77	16
Plane rotation	+21°	-17°
Taste	Acid	Slight acid

ที่มา: มณฑาทิพย์,2539

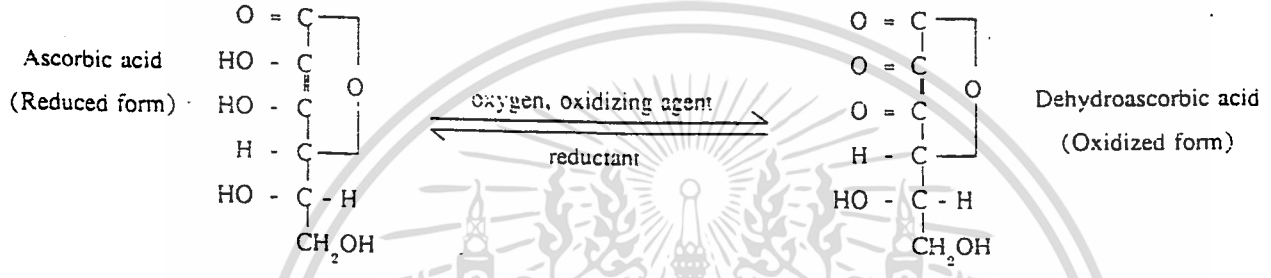
6. ความแตกต่างในพฤติกรรมทางเคมีที่สังเกตได้ในสารละลายทดลองพบว่า กรดอิริทรอบิกเกิดปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนได้รวดเร็วมากกว่ากรดแอสคอร์บิก ซึ่งสามารถยืนยันการเกิดปฏิกิริยาได้จากการหาค่า Redox potential ในสภาพที่มีทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้กรดอิริทรอบิกเกิดการเติมออกซิเจนได้ดีกว่ากรดแอสคอร์บิกที่ pH<7.5 นอกเหนือจากนั้น การสลายตัวของกรดอิริทรอบิกในปฏิกิริยาต่อต้านการเติมออกซิเจนจะเกิดได้รวดเร็วกว่ากรดแอสคอร์บิกในสารละลายกรดที่มี Fe^{+3} อิออน อยู่ด้วย

7. พฤติกรรมทางเคมีที่แตกต่างกันซึ่งพบในแบบทดลองทำให้ยืนยันว่า การใช้กรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์อาหารได้ผลกระทบเช่นเดียวกันเพราะว่ากรดอิริทรอบิกสามารถสลายตัวได้รวดเร็วกว่ากรดแอสคอร์บิก ฉะนั้นกรดอิริทรอบิกจึงให้ผลในการคุ้มครองอาหารได้น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิก ซึ่งเป็น antioxidant ที่ดีเลศ โดยเฉพาะการใช้กรดแอสคอร์บิกในกระบวนการแปรรูปที่ผ่านความร้อนสูงกว่ากรดอิริทรอบิกค่อนข้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 การใช้ประโยชน์กรดแอสคอร์บิกในกระบวนการแปรรูปผลไม้

กรดแอสคอร์บิกที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปผลไม้มีคุณสมบัติเป็น antioxidant ในขณะเดียวกันกรดแอสคอร์บิกในรูปที่เกิดออกซิไดซ์แล้ว คือ dehydroascorbic acid ดังแสดงใน Chart 2. จะทำหน้าที่ป้องกันการเปลี่ยนสีของแอนโธไซยานินที่มีอยู่ในผลไม้บางชนิดด้วย กรดแอสคอร์บิกที่ใช้กันทั่วไปเพื่อป้องกันการเปลี่ยนสี เนื่องจากผลไม้บางชนิดมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ แต่มีสารกลุ่มโพลีฟีนอลค่อนข้างสูง จึงทำให้ผลไม้ที่มีรอยตัดหรือรอยถลอกขูดขีดเกิดการเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ อาจใช้กรดแอสคอร์บิกเพื่อเสริมคุณภาพทางคุณค่าอาหารผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4 แสดงปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ของกรดแอสคอริบิกและดีไฮโดรแอสคอร์บิก

(Reversible reaction of ascorbic acid and dehydroascorbic acid)

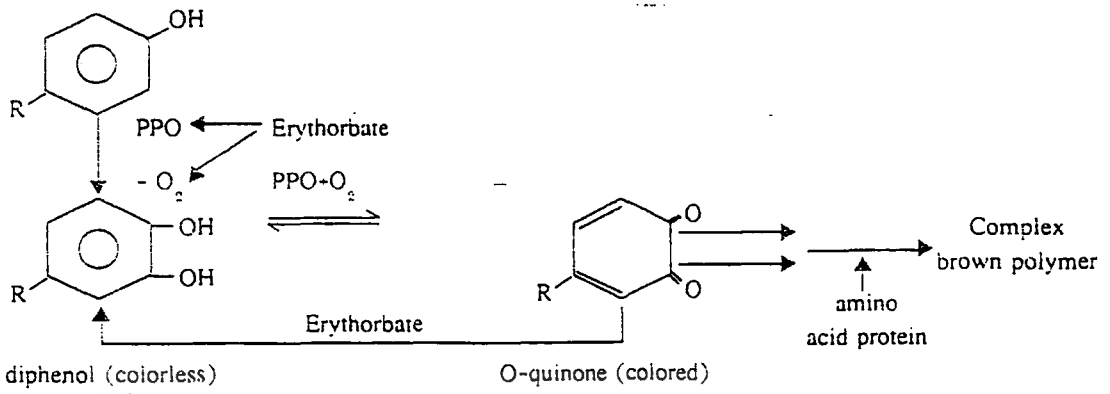
ที่มา: มณฑาทิพย์,2539

2.3.1.3ผลของกรดแอสคอร์บิกต่อผลิตภัณฑ์ผลไม้

ก. ป้องกันการเปลี่ยนสีน้ำตาล

ผลไม้ที่มีสารพวกโพลีฟีนอล เช่น กรดคลอโรเจนิก, ลิวโคแอนโธไซยานินส์, โพลีฟีนอลออกซิเดส ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีน้ำตาลในส่วนของเนื้อผลไม้ที่เกิดจากรอยถลอก, รอยตัด ปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเป็นผลเนื่องจากเอนไซม์กับออกซิเจนในบรรยากาศเกิดการพอริเมอไรซ์ของสารโพลีฟีนอล ทำให้เกิดเป็นสารควิโนนซึ่งมีสีน้ำตาล กรดแอสคอร์บิกจะทำหน้าที่ป้องกันการเปลี่ยนสีน้ำตาล โดยการรีดิวซ์สารประกอบควิโนนทำให้เป็นสารไม่มีสี ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เช่นเดียวกับกรดอิริทรอบิกดังแสดงใน รูปที่ 5 บางครั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการออกซิเดชั่นของเอนไซม์ในสภาพที่มีออกซิเจน, โลหะ และ อิออนอื่นๆ สารฟีนอลจะเปลี่ยนเป็นควิโนนซึ่งเป็นสีน้ำตาล ในขณะเดียวกันสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยาอะมิโนคาร์บอนิลด้วย เพราะว่ากรดแอสคอร์บิกชอบรวมตัวกับออกซิเจนที่มีอยู่เหนือช่องว่างของภาชนะบรรจุปิดสนิท และอากาศที่ละลายในเนื้อผลิตภัณฑ์ด้วยเหตุนี้จึงช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ในขวดและกระป๋อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 การเกิดสี (Color formation)

ที่มา: มณฑาทิพย์,2539

ข. ป้องกันการทำลายกลิ่นรส

การเกิดออกซิเดชั่นของผลไม้และผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการทำลายกลิ่นรส และการเปลี่ยนสี คุณสมบัติป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นของกรดแอสคอร์บิก จะป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสและรักษากลิ่นรส

ค. ป้องกันสีซีด (fading) และการเปลี่ยนสีอื่นๆ

สารพวกแคโรทีนและแอนโธไซยานิน ทำให้เกิดสีสวยในผลไม้ รงควัตถุเหล่านี้จะเกิดการเปลี่ยนสี เช่น สีซีดและสีเปลี่ยนไป เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและรีดักชั่น มักจะพบในผลิตภัณฑ์ กรดแอสคอร์บิคสามารถป้องกันการสลายตัว และการเปลี่ยนสีของสารตัวนี้

2.3.1.4 การใช้กรดแอสคอร์บิกระหว่างการแปรรูปผลไม้

ก. กรดแอสคอร์บิกในขั้นตอนการลวก

การใช้กรดแอสคอร์บิกในช่วงการลวกผลไม้ ซึ่งเป็นขั้นแรกของกระบวนการแปรรูป เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสี, กลิ่น, รสชาติ และเนื้อสัมผัส ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ออกซิเดส และไฮโดรเลส เพื่อป้องกันการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิคระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง, ผลไม้แช่แข็ง และผลไม้กระป๋อง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น การลวกอาจทำโดยเติมกรดแอสคอร์บิกในน้ำลวก หรือ อาจแช่ผลไม้ในสารละลายแอสคอร์บิกเป็นเวลาหลายนาทีที่อุณหภูมิห้อง หลังจากการลวกโดยวิธีปกติ

ข. กรดแอสคอร์บิกในผลไม้แช่แข็ง

การใช้กรดแอสคอร์บิกในผลไม้แช่แข็ง และผลไม้ในน้ำเชื่อมจะช่วยรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ โดยทั่วไปมักใช้กรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักน้ำเชื่อม แต่การใช้กรดแอสคอร์บิกให้ได้ผลดียิ่งขึ้นมีหลายวิธี เช่น การเติมกัม (gum) ในน้ำเชื่อม เพื่อให้เกิดความหนืดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแช่ผลไม้ในสารละลายกรดที่มีมะนาวร่วมกับกรดแอสคอร์บิก วิธีอื่นที่ใช้กันอยู่ คือ การบรรจุผลไม้ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนหรือสูญญากาศ ผลไม้แช่แข็งที่เติมกรดแอสคอร์บิกในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีสีดีหลังจากเก็บไว้ 60 วัน ถึงแม้จะเป็นสภาพที่มีอากาศ สีแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ การเติมเกลือแคลเซียมร่วมกับกรดแอสคอร์บิกในน้ำเชื่อมจะช่วยรักษาเนื้อสัมผัสหลังจากการละลายน้ำแข็ง และยังทำให้สีและกลิ่นรสดีขึ้นด้วย

ค. กรดแอสคอร์บิกในผลไม้บรรจุกระป๋อง

มีรายงานว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกประมาณร้อยละ 0.25-0.50 ในสารละลายน้ำตาล สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของน้ำเชื่อม ในกรณีนี้กรดแอสคอร์บิกให้ผลดีกว่าการใช้กรดอิริทรอบิก ทำให้กลิ่นรสดีขึ้นและไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของชิ้นผลไม้

ปริมาณการใช้	น้ำผลไม้	50-200 มก./กก.
	ผลไม้บรรจุกระป๋องและผลไม้แช่แข็ง	250-450 มก./กก.
	เบียร์	20-60 มก./ลิตร
	เนื้อหมัก	200-500 มก./กก.

โซเดียมอิริทรอเบททำหน้าที่เป็น antioxidant ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ คือ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบ	- ผลไม้ที่ใช้ทำหน้า ไส้ขนม
อาหารทะเล	- สดและแช่แข็ง
ผลิตภัณฑ์เนื้อ	- เนื้อหมู ชิ้นเนื้อหมัก
ผลไม้	- สด แช่แข็ง แช่เย็น ตากแห้ง กระป๋อง
ผัก	- สด แช่แข็ง แช่เย็น ตากแห้ง กระป๋อง ผักสลัด
เครื่องดื่ม	- อัดก๊าซ เบียร์ ไวน์ ale เครื่องดื่มจากเครื่องเครื่องขาย (Vending machine)

รูปที่ 6 สรุปการใช้กรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์ในอุตสาหกรรมอาหาร

ที่มา: มณฑาทิพย์,2539

2.3.1.5 การใช้กรดอิริทรอบิกทางเทคโนโลยีการอาหาร

ก. เป็น antioxidant รักษาสี กลิ่นรส ในผลิตภัณฑ์ต่างๆให้คงตัว เช่น ผลไม้สด ผลไม้แช่แข็ง และผลไม้บรรจุกระป๋อง ทำให้สีเบต้าไซยานินคงตัว ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสในเครื่องดื่ม อัดก๊าซกลิ่นรสซิตรัส เบียร์ และปลาบด

ข. ตัวเร่งการหมักเนื้อด้วยไนไตรท์ ทำให้มีอายุการเก็บดีกว่าในด้านสี กลิ่นรส ทำให้มีส่วนตกค้างของไนไตรท์ลดลง ยับยั้งการเกิดไนโตรซามีน

สำหรับการหมักพบว่า โซเดียมอิริทรอเบท มีส่วนช่วยทำให้สีของผลิตภัณฑ์เนื้อดีขึ้น มีความคงตัวรวมทั้งกลิ่นรสดีขึ้น และช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชั่นให้ช้าลงด้วย เช่น การใช้ในไส้กร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อกแฟรงเฟอร์เตอร์ ทำให้สี กลิ่น รส รวมทั้งการยอมรับที่ดีขึ้น อีกทั้งปริมาณอนุมูลไนไตรท์ลดลง ด้วยนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติการช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารประกอบไนไตรท์ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Bacillus cereus* และ *Clostridium botulinum*

JECFA เริ่มประเมินผลการใช้กรดอิริทรอบิคและโซเดียมอิริทรอเบทตั้งแต่ปี ค.ศ. 1961-1973 และ 1990 ตอนต้นของการประเมินโดยคณะกรรมการฯ กำหนดให้ ADI 5 มก./กก. (น้ำหนักตัว) เป็นผลจากการศึกษาระยะยาวในหนูทดลอง แต่ได้มีการเปลี่ยนแปลง ADI เป็นแบบไม่เฉพาะต่อความเป็นพิษระยะยาว มีการศึกษาสารก่อมะเร็งในหนูทดลอง การศึกษาการเผาผลาญ และคุณค่าทางอาหารของปฏิกิริยาระหว่างกรดอิริทรอบิกและกรดแอสคอร์บิกในมนุษย์ด้วย ถึงแม้ว่าการศึกษาด้านการเผาผลาญของกรดอิริทรอบิกยังทำกันอย่างไม่ละเอียด อีกทั้งยังขาดข้อมูลบางอย่างอยู่บ้าง แต่ปรากฏว่าอย่างน้อยก็มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับกรดแอสคอร์บิก คณะกรรมการฯ พิจารณาว่าการใช้กรดอิริทอบิกเป็นที่ยอมรับได้

กรดอิริทรอบิกและโซเดียมอิริทรอเบทได้รับอนุญาติให้ใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหารในประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น นิวซีแลนด์ ยุโรปตะวันออก บางรัฐในอเมริกาใต้ ตะวันออกกลาง แอฟฟริกา ไทย สิงคโปร์ อินโดนิเซีย เกาหลี มาเลเซีย ฮ่องกง เป็นต้น(มณฑาทิพย์,2539)

2.3.2 <u>การใช้สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO</u> (PPO inhibitors)

มีสารหลายชนิดที่สามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้แต่เพียงไม่กี่ชนิดที่ถูกพิจารณาใช้แทนซัลไฟต์ เช่น กรดซินนามิค (cinamic acid) และกรดเบโซอิค (benzoic acid) ซึ่งให้ผลดีมากเมื่อใช้ร่วมกับวิตามินซีในผลิตภัณฑ์น้ำแอปเปิ้ล สารยับยั้งเหล่านี้ยังใช้ได้ดีกับพื้นที่ผิวหน้าตัดของผลแอปเปิ้ลแต่จะเหนี่ยวนำให้เกิดสีน้ำตาลภายใต้สภาวะบางอย่าง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbonmonooxide ; CO) เป็นสารหนึ่งที่ถูกเสนอให้ใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในเห็ดชนิดต่าง ๆ โดยการบรรจุเห็ดในภาชนะที่มีการดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere) ให้มี CO อยู่ด้วย ซึ่งจะต้องใช้ความระมัดระวังไม่ให้เกิดรอยรั่วไหลของ CO และจะต้องตรวจวัดระดับ CO อยู่เสมอ เพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุเห็ดมีการใช้สาร 4 - เฮกซิลเรซอร์ซินอล (4 - hexylresorcinol) เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกุ้ง และยังมีผู้เสนอให้ใช้สารนี้กับผักและผลไม้หลายชนิดโดยอ้างว่า สารนี้มีประสิทธิภาพในการใช้งานและมีความปลอดภัยเนื่องจากคนเราบริโภคสารชนิดนี้มาเป็นระยะเวลาเนิ่นนานแล้ว

นอกจากนี้พบว่า กรดโกจิค (kojic acid) ที่ได้จากเชื้อรามีคุณสมบัติยับยั้ง PPO โดยการรบกวนการรับออกซิเจนของ PPO และยังรีดิวซ์สารออโท - ควิโนนส์เป็นสารไดฟีนอล ทำให้ไม่มีการสร้างสารที่มีสีน้ำตาลขึ้นมา แม้ว่าสารนี้จะแสดงศักยภาพในการเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางปฏิบัติ แต่ก็ยังมีจุดที่ไม่ชัดเจนเกี่ยวกับคุณสมบัติการเป็นสารก่อการกลายพันธุ์

2.3.3 <u>การใช้สารที่ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน</u> (Complexing agent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่จำเป็นต่อการทำงานของ PPO ถ้าสามารถกำจัดทองแดงออกไป ก็จะยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ สารที่ใช้ในการจับกับโลหะ (chelating agent) ที่ใช้กันมากคือ เอทิลีนไดเอมีน เตตระอะซิติก แอซิด (ethylenediamine tetraacetic acid ;EDTA) แต่สารนี้ไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPOในลูกท้อและในชิ้นแอปเปิ้ล มีการใช้ EDTA ร่วมกับโซเดียมไพโรฟอสเฟต (sodium acid pyrophosphate) เพื่อควบคุมการเกิดสสีน้ำตาลสีตล้ำของมันฝรั่งที่ปอกเปลือกแล้วหลังจากผ่านการหุงต้ม นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหนึ่งในสูตรสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งกรดซิตริกจะทำหน้าที่จับโลหะและคุณสมบัติที่เป็นกรดก็จะช่วยยับยั้ง PPO ด้วยสารจำพวกแอซิดิคโพลีฟอสเฟต (acidic polyphosphate) เป็นสารที่สามารถจับโลหะจึงมีคุณสมบัติยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้โดยเฉพาะในผักและผลไม้หลายชนิด แต่สารนี้ยังไม่ได้รับการตรวจสอบให้ใช้กับอาหารได้โดย FDA

สารประกอบอื่น ๆ ชนิดใดก็ตามที่สามารถจับหรือทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารที่เป็นสับเสตรทของ PPO ได้ก็จัดว่าสารนั้นมีแนวโน้มที่จะใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ เช่น โพลีไวนิล โพลีไพโรลลิโดน (polyvinyl polypyrollidone ; PVPP) ซึ่งใช้ในการทำน้ำแอปเปิ้ลให้ใส สารนี้สามารถรวมตัวกับสารโพลีฟีนอล จึงป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ในทำนองเดียวกันไซโคลเด็กซ์ตริน (cyclodextrin) ก็สามารถจับกับสารโพลีฟีนอลและการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้เช่นเดียวกัน แต่ไซโคลเดกซ์ตริน ยังไม่ได้พิสูจน์ให้ใช้ได้กับอาหารโดย FDA

2.3.4 <u>กรดอะมิโนที่ประกอบด้วยหมู่ซัลฟ์ไฮดริล</u> (Sulfhydryl - containing amino acid)

เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่า กรดอะมิโนซีสเตอีน สามารถยับยั้งการทำงานของ PPO ได้ โดยที่ซีสเตอีน ไปทำปฏิกิริยากับสารควิโนน แล้วเกิดเป็นสารประกอบที่มีความคงตัวและไม่มีสี จึงได้มีการใช้ซีสเตอีนเป็นสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางการค้ามาจนถึงทุกวันนี้ จากการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้พบว่าสารรีดิวซ์กลูตาไทโอน (reduced glutathione) และ เอน - อะเซทิล ซีสเตอีน (n - acetyl cystein) มีประสิทธิภาพเกือบจะเท่ากับสารจำพวกซัลไฟต์ ในการควบคุมการเกิดวีน้ำตาลในแอปเปิ้ล มันฝรั่งและน้ำผลไม้สดหลายชนิด

2.4.5 <u>สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลชนิดอื่น ๆ</u> (Other browning inhibitors)

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าสารประกอบอนินทรีย์จำพวกเฮไลด์ สามารถยับยั้ง สามารถยับยั้ง PPO เช่น โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride;NaCl) ซึ่งเป็นสารหนึ่งที่ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในทางการค้าการใช้โซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีสถานะเป็น GRAS นั้นถูกจำกัดด้วยรสเค็มของตัวมันเอง ซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) ก็เป็นสารหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ วิตามินซี และกรดซิตริค

การใช้น้ำผึ้งกับไวท์เกรพ (white grape) และชิ้นผลไม้ที่หั่นไว้แล้วนั้นสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในน้ำผึ้งมีสารเปปไทด์ (peptide) ขนาดเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 600 ดาลตัน (Dalton; 1 ดาลตัน = 1.661×10^{-24} กรัม) ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าการที่น้ำผึ้งไปลดการละลายของออกซิเจน อันเนื่องมาจากน้ำตาลซูโครสที่เพิ่มเข้ามา

มีการรายงานว่าสารเคลือบที่กินได้ (edible coating) ก็สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอ็นไซม์ในชิ้นเห็ด (mushroom slices) ได้ และพบว่าสารเคลือบจำพวกโพลีแซคคาไรด์ที่มีซัลเฟต (sulfated polysaccharide) หลายชนิดได้แก่ คาร์ราจีแนน (carrageenan) อะไมโลสซัลเฟต (amylose sulphate) และไซแลนซัลเฟต (xylan sulphate) สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพในน้ำแอปเปิ้ลและชิ้นแอปเปิ้ล (diced apple) นอกจากนี้ยังมีสารละลาย วิตามินซี และไทโซโทรปิคกัม (thixotropic gum) เช่น แซนแทน (xanthan) เป็นสารยืดอายุผักและผลไม้สดที่ใช้ในการทำสลัด โดยที่สารละลายดังกล่าว จะเคลือบผักและผลไม้ไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจน และหรือช่วยเพิ่มปริมาณของวิตามินซี ซึ่งผักและผลไม้จะได้รับเมื่อแช่อยู่ในสารละลายดังกล่าว

มีการกล่าวอ้างว่า เอ็นไซม์โปรตีเอส (protease)สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับแอปเปิ้ล มันฝรั่ง และ กุ้ง ตัวอย่างพบว่าการทำงานของ PPO ในน้ำพลัม (plum juice) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อผ่านน้ำพลัมลงไปในคอลัมน์ที่มีเอ็นไซม์ที่มีเอ็นไซม์โปรตีเอสตรึงอยู่

นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดจากยางมะเดื่อที่ปราศจากเอ็นไซม์โปรตีเอสนั้น ประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 5000 ดาลตัน ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ได้

2.3.6 <u>การกำจัดออกซิเจน</u> (Exclusion of oxygen)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีออกซิเจน ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งไม่ให้เกิดปฏิกิริยาได้โดยการแยกออกซิเจนออกจากการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ วิธีนี้ได้ทำกันมามากกว่า 50 ปีแล้วโดยการทำให้เกิดสุญญากาศกับชิ้นผลไม้ด้วยการเติมน้ำเชื่อม ซึ่งบางครั้งอาจผสมวิตามินซีลงไปด้วย การทำเช่นนี้ได้ผลดีเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่จะนำไปแช่เย็นเพราะว่าจะเกิดการดึงน้ำออกจากชิ้นผลไม้

การลดออกซิเจนในบรรยากาศรอบ ๆผลิตภัณฑ์บางอย่าง เช่น ผักกาดหั่นเป็นชิ้น หรือ เห็ด สามารถทำได้โดยการบรรจุหีบห่อแบบดัดแปลงบรรยากาศ การดัดแปลงบรรยากาศนี้สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้ แต่ถ้ากำจัดออกซิเจนออกมากเกินไปก็จะเกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ได้ อันเนื่องมาจากการเกิดเมตาโบลิซึมแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสลาย และการเกิดกลิ่น รสที่ผิดปกติ การกำจัดออกซิเจนนั้น ยังเป็นการเสี่ยงต่อการเกิดภาวะที่จะทำให้เชื้อ คลอสตริเดียม โบทูลินัม เจริญขึ้นมาและสร้างสารพิษได้ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอันตรายดังกล่าว จึงควรเจาะรูภาชนะบรรจุเห็ดสดเพื่อให้อากาศเข้าไปได้ เนื่องจากเห็ดสดมีอัตราการหายใจสูงมาก จะได้ไม่เกิดภาวะการขาดออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
98568

2.3.7 ทางเลือกอื่น ๆ ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (Other alternatives)

มีการทดลองใช้เครื่องกรองแบบอุลตราฟิลเตรชั่น (ultrafiltration) กับการกรองไวน์ขาว แทนการเติมซัลไฟต์ลงในไวน์ขาว เพราะคาดว่าการกรองแบบนี้อาจช่วยการกรอง PPO ออกได้ โดยที่ไม่แยกสารโพลีฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือสารเริ่มต้นที่จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดต่อไป เมื่อเก็บบ่มไวน์เอาไว้ ส่วนการเติมไนซิน (nisin) ในไวน์เพื่อควบคุมการหมักแบบมาโลแลคติค (Malolactic fermentation) อาจจะไปลดปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ใช้ควบคุมการเสื่อมเสียที่จะเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย อีกวิธีหนึ่งคือหลังจากเติมซัลไฟต์ในไวน์แล้วจึงมาแยกกำจัดซัลไฟต์ออกภายหลังด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน และการใช้คาร์บอน

ความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ที่ผิวหน้าตัด หรือผิวที่ปอกเปลือกของผักผลไม้นั้นจะขึ้นอยู่กับว่า เนื้อเยื่อของพื้นผิวนั้นถูกทำให้เสียหายน้อยกว่าการปอกเปลือกมันฝรั่งด้วยการขัดถู หรือด้วยไอน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าการหั่นมันฝรั่งด้วยวอร์เตอร์-เจท คัตติ้ง ซิสเต็ม (water-jet cutting system) นั้นทำความเสียหายต่อเซลของพื้นผิวของมันฝรั่งมากกว่าการหั่นด้วยใบมีดคมๆ ซึ่งตรวจดูได้จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน และการตรวจวัดปริมาณโปรตีนที่สกัดได้จากพื้นผิวหน้าตัด

ผักและผลไม้ที่แตกต่างสายพันธุ์กันก็มีแนวโน้มที่จะเกิดสีน้ำตาลต่างกัน เนื่องจากแต่ละสายพันธุ์มี PPO และสารที่เป็นซับสเตรทของ PPO ในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงเกิดสีน้ำตาลได้มากน้อยไม่เท่ากัน ดังนั้นการเลือกใช้พันธุ์ผักและผลไม้ที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ช้าก็จะมีประโยชน์ในแง่ที่ช่วยลดการใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล การที่จะปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้ได้พืชที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลน้อยนั้น อาจจะต้องใช้วิธีการทางพันธุวิศวกรรมและวิธีผสมพันธุ์แบบเดิม

การใช้ซัลไฟต์ในควบคุมปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีน้ำตาลในผักและผลไม้นั้นยังเป็นวิธีที่มีประสิทธภาพมากที่สุดในปัจจุบัน แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านการใช้ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทางอุตสาหกรรมอาหารจึงจำเป็นต้องคิดค้นหาสารอื่น หรือวิธีการอื่นๆมาใช้แทนซัลไฟต์ ซึ่งยังไม่พบว่า มีสารใดหรือวิธีการใดที่จะเทียบเท่ากับการใช้ซัลไฟต์ได้ไม่ว่าจะในแง่ประสิทธิภาพ, ราคา หรือการออกฤทธิ์

เนื่องจากซัลไฟต์เป็นสารที่ทำหน้าที่ได้หลายอย่างในอาหาร เช่น ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร, ควมคุมการเจริญของจุลินทรีย์, ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นและทำหน้าที่อื่นๆ อีกหลายอย่าง ทำให้ดูเหมือนว่าถ้าจะหาสารอื่นมาแทนซัลไฟต์แล้วคงจะต้องหาสารหลายชนิดมาใช้ร่วมกันเพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียง หรือเทียบเท่าซัลไฟต์โดยจะต้องคำนึงถึง ผลกระทบจากสารเหล่านั้นที่จะเกิดกับผลิตภัณฑ์อาหารในด้านรูปร่าง, ลักษณะ, สี, กลิ่น, รส และเนื้อสัมผัส รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเป็นน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

การค้นหาสารอื่นมาใช้แทนซัลไฟต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะเป็นผลดีอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมอาหารในอนาคต ซึ่งอาจพบปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดการใช้ซัลไฟต์กับอาหารมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัตถุดิบ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

ลำไย ที่ใช้เป็นพันธุ์กะโหลกเบี้ยว

กล้วยไข่ ที่ใช้เป็นพันธุ์กำแพงเพชร ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. เปลือกมีค่าสีระหว่าง 5Y 6/4 ถึง 7.5Y 6/4 วัดโดยการใช้เครื่องวัดค่าสี หรือโดยวิธีการเปรียบเทียบสีกับ Munsell Color Book
2. กล้วยสุกเนื้อนิ่ม
3. ไม่มีเหลี่ยม
4. มีขนาดผลยาวประมาณ 4 - 5 นิ้ว

3.2 สารเคมี

1. กรดอีริทรอบิก (Erythorbic acid)
2. กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)
3. โพแทสเซียมเมตาไบซัลเฟต (KMS)
4. กรดซิตริก (Citric acid)
5. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
7. ฟีนอลฟทาลีน (Phenolpthalene)
8. น้ำตาลฟรุกโตส (Fructose Syrup)
9. น้ำตาลทราย
10. น้ำกลั่น

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Minolta Chromameter CR 200
2. เครื่องวัดหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Hand Refrectometer)
3. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
4. เครื่องไล่อากาศ (Exhauster)
5. เครื่องปิดผนึกฝา (Sealer)
6. ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กระป๋องสังกะสีเคลือบแลคเกอร์ขนาดเล็ก
8. หม้ออะลูมิเนียม
9. กาละมังอะลูมิเนียม
10. ปิเปต
11. บิวเรต
12. ขวดแก้วขนาด 1.5 ลิตร
13. มีด
14. มีดคว้าน
15. กระบอกน้ำกลั่น

3.4 <u>วิธีการทดลอง</u>

ลำไย

เปรียบเทียบความสามารถของ Erythorbic acid, Ascorbic aicd และ KMS ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของลำไย

<u>วิธีการ</u>

1. เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.05 %
2. ปอกเปลือก คว้านเม็ดลำไยอย่างรวดเร็ว
3. นำลำไยที่คว้านเม็ดแล้วมาแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้เป็นเวลา 30 นาที
4. เตรียมสารละลาย KMS 10, 50 และ 100 ppm ,Ascorbic acid 1 % และ Erythorbic acid 0.05 % ในน้ำตาลฟรุกโตส
5. นำขวดแก้วไปต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือด
6. บรรจุลำไยที่แช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.05 % เป็นเวลา 30 นาทีแล้ว หลังจากนั้นเติมสารละลายที่เตรียมไว้ในข้อที่ 4 มาเติมลงไป
7. นำไปเก็บไว้ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 8 องศาเซลเซียส
8. เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำไปบรรจุกระป๋อง

กล้วยไข่

ตอนที่ 1 หาความเข้มข้นของErythorbic acid เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลาย Erythorbic acid ที่ระดับความเข้มข้น 1 ,3 , 5 และ 7%
2. น้ำกลั่น

<u>วิธีการ</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14903

1. เตรียมสารละลายErythorbic acid
2. นำกล้วยที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ มีการตรวจสอบโดยการวัดค่าสีเปลือกและดูลักษณะภายนอก
3. ปอกเปลือกออกหลังจากนั้นนำมาวัดค่าสีโดยระบบ Hunter ด้วยเครื่องวัดค่าสี
4. หลังจากนั้นนำมาแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้ และน้ำกลั่น (Control) เป็นเวลา 30 นาที
5. เมื่อครบเวลา นำขึ้นมาวัดค่าสีอีกครั้ง
6. นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด

ตอนที่ 2 เปรียบเทียบความสามารถของ Erythorbic acid กับ Ascorbic acid, KMS และน้ำกลั่น เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่บรรจุกระป๋อง

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลาย Erythorbic acid 0.6 % + แคลเซียมคลอไรด์ 1 %
2. สารละลาย Ascorbic acid, 0.6 % + แคลเซียมคลอไรด์ 1 %
3. สารละลาย KMS 100 ppm + แคลเซียมคลอไรด์ 1 %
4. น้ำกลั่น + แคลเซียมคลอไรด์ 1 %

<u>วิธีการ</u>

1. เตรียมสารละลายสำหรับแช่
2. ทำเช่นเดียวกับตอนที่ 1
3. เตรียมน้ำเชื่อม โดยใช้น้ำสะอาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อน้ำตาลทรายขาว 100 กรัม (ให้ได้องศาบริกซ์เท่ากับ 21) ต้มให้เดือด กรอง เติมกรดซิตริก 150 มิลลิกรัม
4. บรรจุเนื้อกล้วยลงในกระป๋อง เติมน้ำเชื่อมร้อน
5. นึ่งไล่อากาศ ปิดฝาให้สนิท
6. ต้มฆ่าเชื้อในน้ำเดือด เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ตอนที่ 3 ลักษณะปรากฏของกล้วยไข่บรรจุกระป๋อง หลังจากการแช่สารละลายErythorbic acid เทียบกับ สารละลายAscorbic acid ,สารละลายKMS และ น้ำกลั่น

<u>วิธีการ</u>

เก็บกล้วยไข่ที่ผ่านการบรรจุกระป๋องแล้วไว้เป็นเวลา 14 วัน เมื่อเก็บไว้ครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำมาวัดค่า cut - out Brix ,pH และ ค่าสีของกล้วยภายหลังการเก็บรักษาดังกล่าว

หมายเหตุ ในระหว่างการทดลองควรให้เนื้อกล้วยสัมผัสกับอากาศให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง

4.1 ลำไย

- เปรียบเทียบความสามารถของ Erythorbic acid, Ascorbic acid และ KMS ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของลำไย ระหว่างการเก็บรักษา

หลังจากการเก็บรักษาในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าสภาวะควบคุม (ลำไยที่บรรจุอยู่ในน้ำเชื่อมฟรุกโตส) เกิดฟองอากาศ น้ำเชื่อมเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นขึ้นเห็นได้ชัดเจน แต่ยังไม่มีกลิ่นผิดปกติ

หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาต่อไปอีก 1 เดือน พบว่าในขวดที่บรรจุน้ำเชื่อมฟรุกโตสกับ Ascorbic acid, Erythorbic acid และ KMS 10 ppm เกิดการเน่าเสีย และเมื่อเก็บรักษาต่อไปอีก 2 สัปดาห์พบว่า ลำไยทุกสภาวะเน่า แต่การเน่าเสียที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่แตกต่างกันทั้งทางด้านกลิ่นและ สี

เมื่อนำมาตรวจสอบ

1. ลักษณะสีของผลลำไย

ลำไยที่เก็บรักษาในสารละลาย KMS ทั้ง 3 ความเข้มข้นเป็นเวลา 2 สัปดาห์จะพบว่า บริเวณขั้วของลำไยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีคล้ำขึ้นเห็นได้ชัดเจน และผลของลำไยก็มีสีคล้ำขึ้นเล็กน้อย ส่วนลำไยที่เก็บรักษาใน สารละลาย Erythorbic acid และ Ascorbic acid มีสีที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก คือยังมีสีเหมือนลำไยสดอยู่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่พบสีคล้ำบริเวณขั้วและบริเวณผลลำไย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลักษณะความใสของสารละลายที่ใช้แช่

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
Control (fructose syrup)	+	+
KMS 10	+++	++
KMS 50	++++	++
KMS 100	++++	++
Ascorbic acid 0.5 %	++	++++
Erytrobic acid 1.0 %	++	+++

หมายเหตุ โดยที่ ++++ ใสที่สุด ++ ขุ่น

+++ ใส + ขุ่นที่สุด

2. ลักษณะทางเคมี

ตารางที่ 2 แสดงค่า acidity, pH และ Brix ของลำไยที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 1 เดือน ครึ่ง

สภาวะ	% acidity		pH		Brix	
	น้ำ	เนื้อ	น้ำ	เนื้อ	น้ำ	เนื้อ
control	0.048	0.0095	3.91	3.96	16.4	7.0
KMS 10	0.328	0.0095	5.13	5.15	17.6	9.0
KMS 50	0.166	0.0095	5.37	5.48	18.8	8.8
KMS 100	0.143	0.0095	5.19	5.18	20.2	10.0
Ascorbic acid 1%	0.266	0.0285	3.24	3.28	19.4	12.0
Erytrobic acid 0.5 %	0.95	0.038	3.78	3.79	14.8	6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กล้วยไข่

4.2.1 ผลการวัดค่าสีของกล้วยไข่ ก่อนและหลังการแช่ในสารละลายของ Erythorbic acid เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

<u>การทดลองขั้นที่ 1</u> เป็นการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของ Erythorbic acid ที่ระดับความเข้มข้น 1 ,3 , 5 และ 7 %

ตารางที่ 3 แสดงผลของค่าสีจากการวัดสีของกล้วยไข่ด้วยการวัดด้วยระบบ Hunter ของการทดลองตอนที่ 1 การทดลองขั้นที่ 1

สภาวะ	ค่าสี					
	ก่อนแช่			หลังแช่		
	L	a	b	L	a	b
Erythorbic acid 1%	76.62	-0.017	+23.69	71.86	+0.02	+32.20
Erythorbic acid 3 %	74.90	+0.64	+28.77	67.88	+0.04	+32.93
Erythorbic acid 5%	74.23	+0.34	+28.10	67.61	+0.18	+32.72
Erythorbic acid 7 %	73.85	+0.25	+24.33	66.84	+0.65	+28.24
control	71.08	+0.34	+24.04	62.61	+3.27	+25.04

หมายเหตุ เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยค่าที่วัดได้จากการวัดค่าสีของผิวเนื้อกล้วย 3 ผล ผลละ 3 ซ้ำ

<u>การคำนวณหาค่า c</u>

หลังจากได้ค่า L, a, และ b มาแล้วนำมาคำนวณหาค่า c โดยจะได้มาจาก $\sqrt{a^2 + b^2}$

ตารางที่ 4 แสดงค่า c ที่ได้จากการคำนวณ

สภาวะ	ค่าสี	
	ก่อนแช่	หลังแช่
Erythorbic acid 1%	+23.69	+32.20
Erythorbic acid 3 %	+24.33	+28.48
Erythorbic acid 5%	+28.10	+32.90
Erythorbic acid 7 %	+28.78	+32.69
control	+24.06	+25.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าทั้งหมดนำมาหาความแตกต่าง ดังแสดงในตารางที่ 5

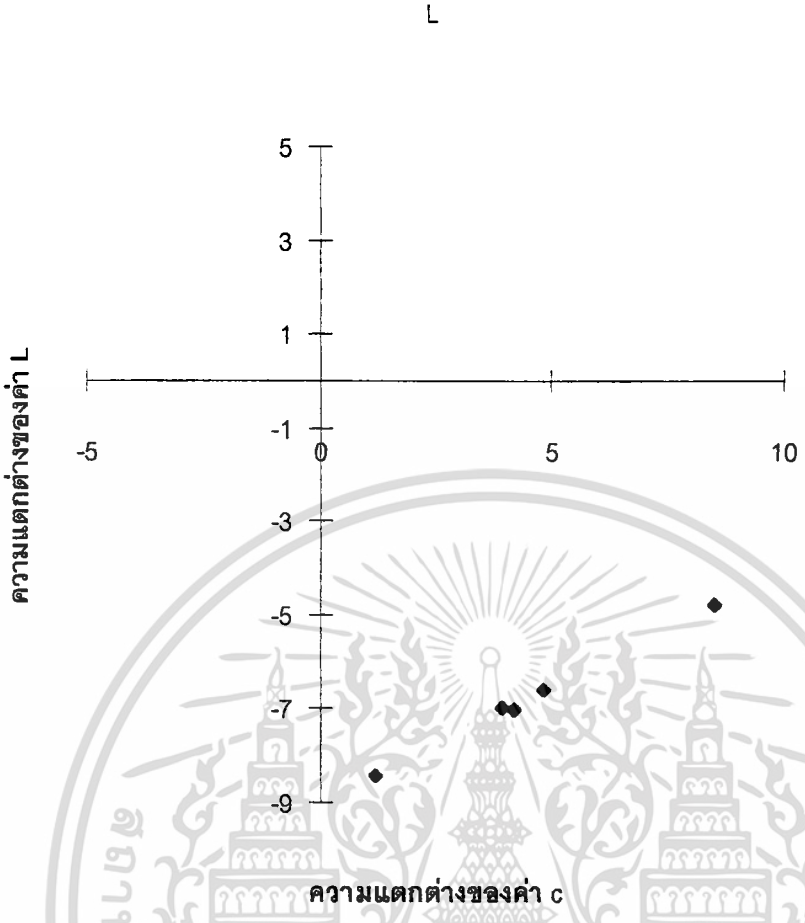
โดย Δ = หลังแช่ - ก่อนแช่

ตารางที่ 5 แสดงค่าความแตกต่างของ L ,a ,b และ c ในการทดลองตอนที่ 1 การทดลองขั้นที่ 1

สภาวะ	ความแตกต่าง			
	L	a	b	c
Erythorbic acid 1%	-4.76	+0.04	+8.51	+8.51
Erythorbic acid 3 %	-7.02	+0.11	+4.16	+4.16
Erythorbic acid 5%	-6.62	+0.52	+4.67	+4.80
Erythorbic acid 7 %	-7.01	+0.40	+3.91	+3.91
control	-8.46	+2.25	+1.00	+1.19

หลังจากนั้นนำค่า Δ L และ Δ c มาพลอตลงในกราฟระหว่าง Δ L กับ Δ c เพื่อใช้ในการพิจารณาหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกหาความเข้มข้นที่จะใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่ โดยจะพิจารณาจากจุดที่มีค่าของ Δ L เป็นค่าลบน้อยที่สุด (ใกล้จุด Original มากที่สุด) และมีค่า Δ c เป็นบวกมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 แสดงจุดต่าง ๆ บนกราฟระหว่างค่า Δ L และ Δ c ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 1

นำค่าความแตกต่างทั้งหมดไปทำการคำนวณหาความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความแตกต่างของค่าสีที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 1

ความแตกต่าง	Erythorbic acid 1%	Erythorbic acid 3 %	Erythorbic acid 5%	Erythorbic acid 7 %	control
L	-4.76a	-7.02a	-6.62a	-7.01a	-8.46a
a	0.04a	0.11a	0.52a	0.40a	2.25b
b	8.51a	4.16bc	4.80b	3.91bc	1.00c
c	8.51a	4.16bc	4.80b	3.91bc	1.19c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 7 และตารางที่ 6 จะพบว่าที่ความเข้มข้นของ Erythorbic acid 1 % มีประสิทธิภาพที่จะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่ โดยมี ΔL และ Δc ที่มากที่สุด และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากนั้นจึงมีการนำความเข้มข้นของErythorbic acid 1 % มาทำการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของErythorbic acid ที่เหมาะสมที่สุดต่อไปในการทดลองขั้นที่ 2

การทดลองขั้นที่ 2 เป็นการหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของErythorbic acid เพื่อใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่ที่ระดับความเข้มข้น 0. 4 , 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1%

ตารางที่ 7 แสดงผลการวัดค่าสีกล้วยไข่ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 2 โดยการวัดด้วยระบบ Hunter

สภาวะ	ค่าสี							
	ก่อนแช่				หลังแช่			
	L	a	b	c	L	a	b	c
Erythorbic acid 0.4 %	73.04	+0.58	+29.11	+29.11	66.70	+0.35	+29.83	+30.76
Erythorbic acid 0.5 %	75.42	+0.31	+29.12	+29.12	70.11	-0.30	+32.94	+33.01
Erythorbic acid 0.6 %	72.77	+0.31	+28.22	+28.22	69.78	+0.26	+32.08	+32.08
Erythorbic acid 0.7 %	74.50	+0.41	+29.60	+29.60	71.11	+0.22	+31.84	+31.87
Erythorbic acid 0.8 %	74.00	-0.06	+31.71	+31.71	70.19	+0.30	+32.02	+32.34
Erythorbic acid 0.9 %	74.03	0.00	+32.20	+32.20	71.45	-0.14	+32.56	+32.11
Erythorbic acid 1.0 %	79.82	-0.10	+31.31	+31.31	70.72	-0.71	+32.49	+32.94
contriol	75.00	+0.14	+28.64	+28.64	66.81	+2.47	+28.72	+31.43

หมายเหตุ เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยค่าที่วัดได้จากการวัดค่าสีของผิวเนื้อกล้วย 3 ผล ผลละ 3 ซ้ำ

เมื่อได้ค่าทั้งหมดนำมาหาความแตกต่างดังแสดงในตารางที่ 7

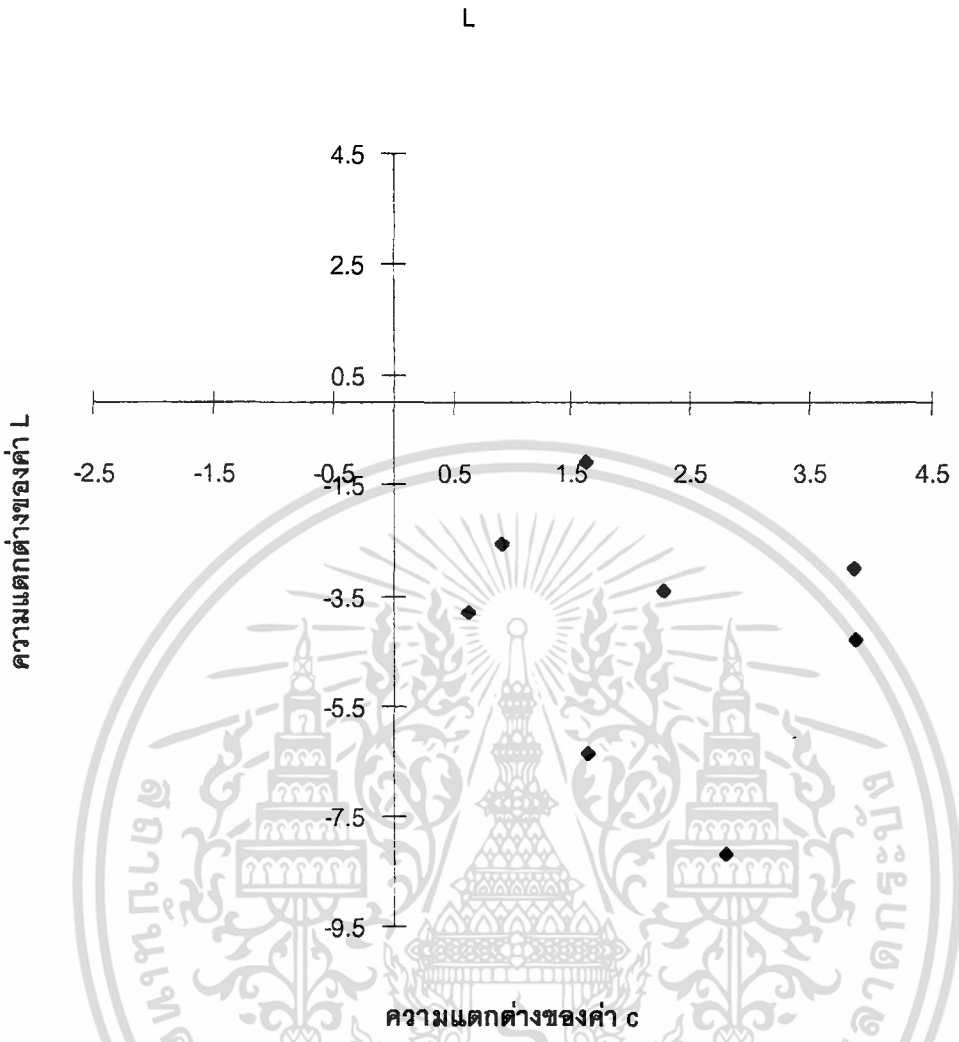
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงค่าความแตกต่างของ L ,a ,b และ c ในการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 2

สภาวะ	ความแตกต่าง			
	L	a	b	c
Erythorbic acid 0.4 %	-6.34	-0.23	+0.72	+1.65
Erythorbic acid 0.5 %	-4.31	-0.61	+3.82	+3.89
Erythorbic acid 0.6 %	-2.99	-0.05	+3.86	+3.86
Erythorbic acid 0.7 %	-3.39	-0.19	+2.24	+2.27
Erythorbic acid 0.8 %	-3.81	+0.36	+0.31	+0.63
Erythorbic acid 0.9 %	-2.58	-0.14	+0.36	+0.91
Erythorbic acid 1.0 %	-1.10	-0.61	+1.17	+1.63
contriol	-8.19	+2.33	+0.08	+2.79

หลังจากนั้นนำค่า ΔL และ Δc มาพล็อตลงในกราฟระหว่าง ΔL กับ Δc เพื่อหาจุดของความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 แสดงจุดต่าง ๆ บนกราฟระหว่างค่า ΔL และ Δc ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่2

นำค่าความแตกต่างทั้งหมดไปทำการคำนวณหาความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ได้ผลดังตารางที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ของการทดลองตอนที่ 1 ขั้นที่ 2

ความแตกต่าง	Erythorbic acid 0.4 %	Erythorbic acid 0. 5 %	Erythorbic acid 0.6 %	Erythorbic acid 0.7 %	Erythorbic acid 0.8 %	Erythorbic acid 0.9 %	Erythorbic acid 1.0 %	control
L	-6.34a	-4.31a	-2.99b	-3.39b	-3.81b	-2.58b	-1.10b	-8.19a
a	-0.23a	-0.61a	-0.05a	-0.19a	0.36a	-0.14a	-0.61a	2.33b
b	0.72a	3.82b	3.86b	2.24ab	0.31a	0.36a	1.17a	0.08a
c	1.65abc	3.89d	3.86d	2.27bc	0.63a	0.91ab	1.63abc	2.79cd

การศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของErythorbic acid โดยพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 8 และตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบได้ว่าที่ความเข้มข้นของErythorbic acid 0. 6 %มีค่า Δ L และ Δ c มากที่สุด ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่

เมื่อได้ความเข้มข้นของErythorbic acidที่เหมาะสมที่สุดแล้ว หลังจากนั้นจะนำไปศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของAscorbic acidที่ความเข้มข้น 0.6 % และ KMS 100 ppm

<u>หมายเหตุ</u> ในการเลือกความเข้มข้นของAscorbic acidที่ 0.6 % เนื่องจากว่าจะเป็นการทดสอบว่าที่ความเข้มข้นของErythorbic acidและแอสคอร์บิกที่เท่ากัน สารเคมีตัวใดจะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยไข่ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของค่าสีของกล้วยไข่ก่อนและหลังการแช่สารละลายของErythorbic acid ,Ascorbic acid ,KMS และน้ำกลั่น(control)

ตารางที่ 10 แสดงค่าสีผิวของเนื้อกล้วยไข่ ของการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่ก่อนและหลังการแช่สารเป็นเวลา 30 นาทีของสารเคมี 3 ชนิด คือ Erythorbic acid 0.6 % Ascorbic acid 0.6 % และ KMS 100 ppm โดยระบบ Hunter

สภาวะ	ค่าสี							
	ก่อนแช่				หลังแช่			
	L	a	b	c	L	a	b	c
Erythorbic acid 0.6 %	69.74	-0.37	+24.58	+24.58	68.04	-0.65	+30.09	+30.10
Ascorbic acid 0.6 %	70.43	+0.08	+28.27	+28.28	69.47	-0.78	+30.35	+30.37
KMS 100 ppm	73.04	-0.14	+28.12	+28.12	70.64	-0.58	+30.60	+30.62
Control	69.03	-0.13	+27.79	+27.79	66.59	+0.58	+27.72	+27.72

หมายเหตุ เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยค่าที่วัดได้จากการวัดค่าสีของผิวเนื้อกล้วย 3 ผล ผลละ 3 ซ้ำ

เมื่อได้ค่าทั้งหมดนำมาหาความแตกต่างดังแสดงในตารางที่ 10

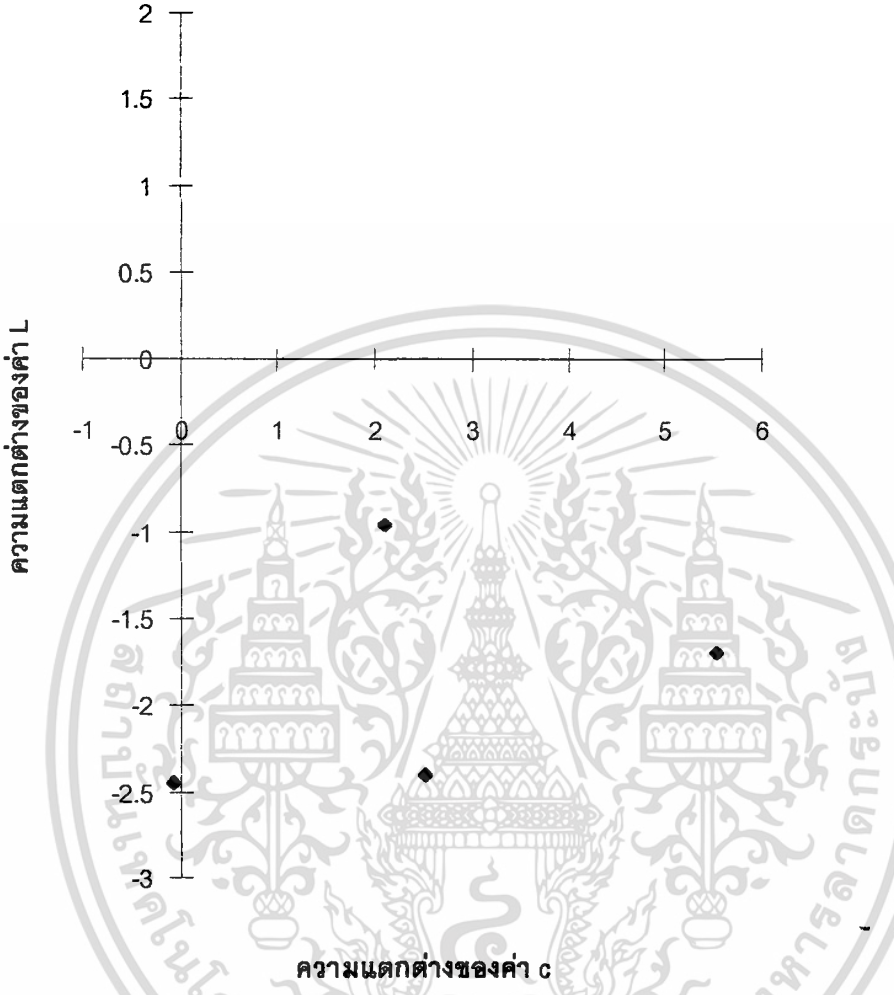
ตารางที่ 11 แสดงค่าความแตกต่างของ L ,a ,b และ c ของการทดลองตอนที่ 2

สภาวะ	ความแตกต่าง			
	L	a	b	c
Erythorbic acid 0.6 %	-1.70	-0.28	+5.51	+5.52
Ascorbic acid 0.6 %	-0.96	-0.86	+2.08	+2.09
KMS 100 ppm	-2.40	-0.44	+2.48	+2.50
Control	-2.44	+0.71	-0.07	-0.07

หลังจากนั้นนำค่า ΔL และ Δc มาพล็อตลงในกราฟระหว่าง ΔL กับ Δc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L



รูปที่ 9 แสดงจุดต่าง ๆ บนกราฟระหว่างค่า ΔL และ Δc ของการทดลองตอนที่ 2

นำค่าความแตกต่างทั้งหมดไปทำการคำนวณหาความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ได้ผลดังตารางที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความแตกต่างของการทดลองตอนที่ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ความแตกต่าง	Erythorbic acid 0.6%	Ascorbic acid 0.6 %	KMS 100 ppm	control
L	-1.70a	-0.96a	-2.40a	-2.44a
a	-0.28ab	-0.86b	-0.44b	0.71a
b	5.51a	2.08b	2.48b	-0.07b
c	5.52a	2.09b	2.50b	-0.07b

จากการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของErythorbic acid 0.6 %, Ascorbic acidที่ความเข้มข้นเดียวกัน และ KMS 100 ppm โดยดูผลจากกราฟรูปที่ 9 และตารางที่ 12 แสดงผลการทดสอบของความแตกต่างของค่าสีทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าErythorbic acidที่ความเข้มข้น 0.6 % มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผิวของกล้วยไข่ได้ดีกว่าAscorbic acidที่ความเข้มข้นเดียวกัน และ KMS 100 ppm โดยมีค่า Δ L และ Δ c มากที่สุด

4.2.3 ผลค่าสีและค่า pH, Brix ของกล้วยไข่บรรจุกระป๋องที่ผ่านการแช่ใน Erythorbic acid 0.6 %, Ascorbic acid 0.6 %และ KMS 100 ppm และผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 13 แสดงค่าของ pH และ °Brixของกล้วยไข่ที่ผ่านการบรรจุกระป๋องและเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน

สภาวะ	น้ำเชื่อม				เนื้อกล้วย			
	ก่อน		หลัง		ก่อน		หลัง	
	pH	Brix	pH	Brix	pH	Brix	pH	Brix
Erythorbic acid 0.6 %	3.18	21	4.58	22	4.92	9	4.63	10
Ascorbic acid 0.6 %	3.18	21	4.66	21.5	4.92	9	4.62	10
KMS 100 ppm	3.18	21	4.64	21.5	4.94	9	4.67	9
Control	3.18	21	4.56	22	4.94	9	4.70	9

หมายเหตุ ก่อน = ก่อนการบรรจุกระป๋อง

หลัง = หลังการเก็บรักษาอยู่ภายในกระป๋องเป็นเวลา 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ค่าสีที่ผิวของเนื้อกล้วยไข่ ของการทดลองตอนที่ 3 เมื่อวัดด้วยระบบ Hunter

สภาวะ	ค่าสี							
	ก่อนบรรจุกระป๋อง				หลังบรรจุกระป๋อง			
	L	a	b	c	L	a	b	c
Erythorbic acid 0.6 %	68.04	-0.65	+30.09	+30.10	57.74	+0.41	+26.75	+26.76
Ascorbic acid 0.6 %	69.47	-0.78	+30.35	+30.37	56.28	+0.29	+25.62	+25.62
KMS 100 ppm	70.64	-0.58	+30.60	+30.62	53.32	+0.69	+23.60	+23.61
Control	66.59	+0.58	+27.72	+27.72	53.77	+0.20	+22.55	+22.55

หมายเหตุ เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยค่าที่วัดได้จากการวัดค่าสีของผิวเนื้อกล้วย 3 ผล ผลละ 3 ซ้ำ

ก่อนบรรจุกระป๋อง = หลังจากผ่านการแช่สารเคมีต่าง ๆเป็นเวลา 30 นาที

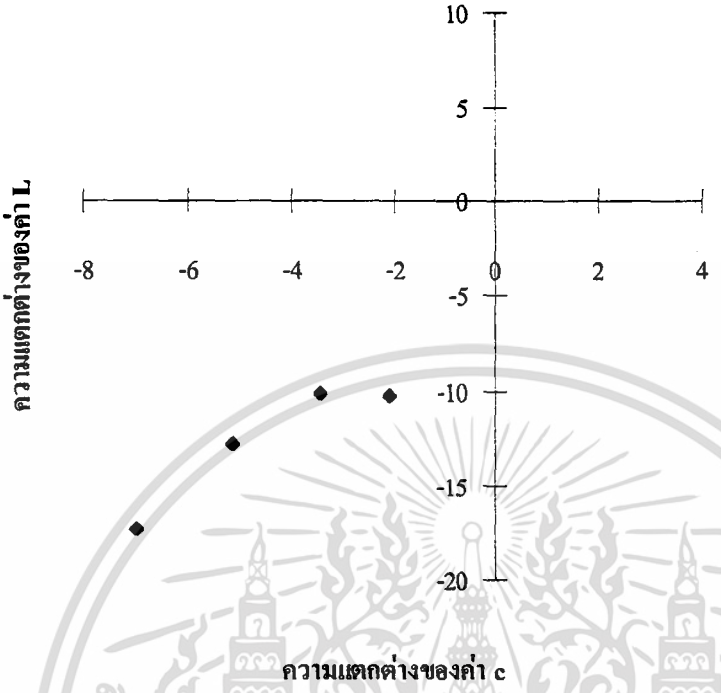
หลังการบรรจุกระป๋อง = หลังจากการบรรจุกระป๋องเป็นเวลา 14 วัน

ตารางที่ 15 แสดงค่าความแตกต่างของของ L ,a ,b และ c ของการทดลองตอนที่ 3

สภาวะ	ความแตกต่าง			
	L	a	b	c
Erythorbic acid 0.6 %	-10.30	+0.42	-2.10	-2.10
Ascorbic acid 0.6 %	-10.19	-0.38	-3.34	-3.43
KMS 100 ppm	-12.81	-0.62	-5.16	-5.16
Control	-17.32	+1.31	-7.00	-7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L



รูปที่ 10 แสดงจุดต่าง ๆ บนกราฟระหว่างค่า ΔL และ Δc ของการทดลองตอนที่ 3

นำค่าความแตกต่างทั้งหมดไปทำการคำนวณหาความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ได้ผลดังตารางที่ 16 -

ตารางที่ 16 แสดงการผลวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % การทดลองตอนที่ 3

ความแตกต่าง	Erythorbic acid 0.6%	Ascorbic acid 0.6 %	KMS 100 ppm	control
L	-10.30a	-10.19a	-12.81ab	-17.32b
a	-0.62a	-0.42ab	-0.38ab	1.31a
b	-2.10a	-3.34ab	-5.16bc	-7.00c
c	-2.10a	-3.43ab	-5.16bc	-7.00c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาทำการแปรรูปโดยการบรรจุกระป๋อง สามารถวัด cut - out Brix ของกล้วยไข่บรรจุกระป๋อง โดยน้ำเชื่อมของ Erythorbic acid และ KMS 100 ppm มีค่าองศา Brix เท่ากับ 22 และในน้ำเชื่อมของ Ascorbic acid และ control เท่ากับ 21.5 เนื้อกล้วยของ Erythorbic acid และ Ascorbic acid มีค่าเท่ากับ 10 ส่วนเนื้อกล้วยของ KMS 100 ppm และ control และสีของกล้วยไข่ภายหลังการบรรจุกระป๋อง จากค่าสีของกล้วยไข่ที่ผ่านการบรรจุกระป๋องพบว่า มีค่าความสว่าง(L) และมีค่าความอิ่มตัว(c) ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากล้วยไข่ที่ผ่านการแปรรูปจะมีสีคล้ำขึ้น แต่ในกล้วยไข่ที่ผ่านการแช่ด้วย Erythorbic acid 0.6 % เป็นเวลา 30 นาทีก่อนการบรรจุกระป๋องมีค่า L และ c ลดลงน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับกล้วยไข่ที่ผ่านการแช่ด้วย Ascorbic acid 0.6 % และ KMS 100 ppm ซึ่งจะมีค่า L และ c ลดลงมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ Control คือการแช่ในน้ำกลั่นพบว่า Δ L และ Δ c มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

รูปที่ 11 สีของกล้วยไข่หลังจากการบรรจุกระป๋องและเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

ลำไย

จากผลการทดลองสรุปว่า

1. สี

สีของลำไยที่เก็บรักษาในสารละลาย Erythorbic acid และ Ascorbic acid มีลักษณะสีของลำไยที่มีลักษณะสดมากกว่าลำไยที่แช่ในสารละลาย KMS ทั้ง 3 ความเข้มข้น

2. การเก็บรักษา

สามารถเก็บรักษาลำไยได้ในสารละลาย Erythorbic acid และ Ascorbic acid ได้เป็นเวลาประมาณ 1 เดือน (โดยไม่มีการเติมสารกันเสียในสารละลาย) และสามารถเก็บรักษาลำไยในสารละลาย KMS(โดยไม่มีการเติมสารกันเสียในสารละลาย) ได้เป็นเวลา 1 เดือนครึ่ง ภายหลังจากนี้ลำไยจะเกิดการเน่าเสียในลักษณะที่แตกต่างกันไป

กล้วยไข่

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. สามารถใช้ Erythorbic acid ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยไข่บรรจุกระป๋องได้ เนื่องจาก Erythorbic acid มีลักษณะโครงสร้างเหมือน Ascorbic acid และมีคุณสมบัติเป็น reduced agent ที่สามารถในการรีดิวซ์ สารคิวโนนที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยาออกซิเดชั่นของสารโพลีฟีนอลด้วยการกระทำของ PPO ให้กลับมาอยู่ในรูปสารประกอบฟีนอลตามเดิม

2. การพิจารณาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ Erythrobic acid ได้โดยการพิจารณาจากค่า ΔL และค่า Δc ที่มีค่ามากที่สุด เนื่องจากค่า L เป็นค่าที่บอกถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ ถ้าค่า L มีค่าสูงจะแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีความสว่างมากหรือเข้าใกล้สีขาวมาก แต่ถ้ามีค่าน้อยจะแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีสีคล้ำหรือเข้าใกล้สีดำมากขึ้น ในการทดลองครั้งนี้พบว่าค่า ΔL เป็นลบคือมีค่าความสว่างลดลง ส่วนค่า c เป็นค่าที่บอกถึงความอิ่มตัวของสีของผลิตภัณฑ์ว่ามีค่าเป็นอย่างไร จะคิดได้จาก $\sqrt{a^2 + b^2}$ จากการทดลองครั้งนี้พบ ว่าค่า Δc มีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความอิ่มตัวของสีเหลืองมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากทั้ง 2 ค่า คือค่า ΔL และ Δc โดยนำมาทำการพล็อตลงบนกราฟแล้วพบว่า การเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยไข่จะเป็นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลักษณะที่เป็นสีเหลืองที่อิ่มตัวในลักษณะที่ทึบขึ้น (vivid deep yellow) และจากการทดลองจะได้ความเข้มข้นของ Erythorbic acid ที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่ คือที่ 0.6 % ซึ่งเป็นจุดที่ได้จากการพล็อตลงบนกราฟระหว่าง ΔL กับ Δc แล้วเลือกพิจารณาหาจุดที่มีค่า ΔL และ Δc ที่มากที่สุด

3. เมื่อนำมาเปรียบเทียบ ความสามารถของ Erythorbic acid 0.6 % กับ Ascorbic acid 0.6 % และ KMS 100 ppm พบว่า Erythorbic acid สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่า Ascorbic acid และ KMS ที่ความเข้มข้นดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

ลำไย

1. อายุการเก็บรักษาลำไยควรจะเก็บได้นานกว่านี้ โดยควรมีการเติมสารกันบูดลงไปเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาด้วย

2. ควรมีการวัดค่าสีของผลของลำไยเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงไปที่อาจไม่สามารถสังเกตุเห็นได้ด้วยตาเปล่า

กล้วยไข่

1. เวลาที่ผิวของกล้วยไข่สัมผัสกับอากาศในระหว่างการทดลองไม่เท่ากัน ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ไม่เท่ากันในแต่ละผลของกล้วยไข่ เพราะฉะนี้นควรให้กล้วยไข่มีการสัมผัสกับอากาศน้อยที่สุด

2. ความแตกต่างกันของสีที่ไม่เท่ากันของในแต่ละการทดลอง อาจเนื่องมาจากกล้วยไข่ที่นำมาอาจมีความสุกไม่เท่ากัน จึงควรมีการวัดปริมาณแป้งของกล้วยไข่เพื่อหาความสุก

3. ควรมีการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่สารเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์,ดร.2531.ผักและผลไม้.ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เทวี โพริผละ.2525.กล้วยและผลิตภัณฑ์. ยาน่ารู้ 38(3):61-67

คารา พวงสุวรรณ และ คณะ.2532.กล้วยไข่ไทยไปเดนมาร์ก. กสิกร 62(5):434-440

ประสาร สวัสดิ์ชิตัง.2538.การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน. อาหาร 25(3):160-169

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด.2539.Ascorbic acid และErythorbic acid / แอนติออกซิแดนท์. อาหาร 26(1):7-13

สายชล เกตุษา.2525.การสูญเสียคุณค่าทางอาหารของผักและผลไม้สดหลังเก็บเกี่ยว. อาหาร 14(7):7-13

_____.2536.กล้วยไข่ในน้ำเชื่อมบรรจุขวดหรือกระป๋อง. เทคโนโลยี 14(3):47

deMan, J.M.1990. Principles of food chemistry.2nd Edition. Van Nostrand Reinhold. New York. 469 p.

Green, L.F.1976.Sulphur dioxide and food preservation - A review.Food Chem.1:103

Hudson, B.J.F. 1990. Food Antioxidant. Elsevier Applied Science. London and New York. 317p.

Joslyn, M.A.and J.P. Ponting.1951.Enzyme - catalyzed oxidative browning of fruit products.Adv. Food Res.3:1-44

Langdon, T.T.1987.Preventing of browning in fresh prepared potatoes without the use of sulfiting agent.Food Tech.41:64-67

Sapers, G.M.1993. Browning of foods : control by sulfites, antioxidants, and other means. (Scientific Status Summary edited by Mermelstien, N.H.) Food Technol. 47(10):75-48

_____.1990.Manual for Minolta Chromameter CR 200.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ความหมายของค่าสีในระบบ Hunter

L คือค่า Value ซึ่งแสดงถึงความสว่างของสี

มีค่า 0 - 100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ

100 แสดงถึงสีขาว

a, b คือค่า Hue ซึ่งเป็นค่าที่บอกสี

โดยแสดงในสองแกน : a คือสี แดง - เขียว

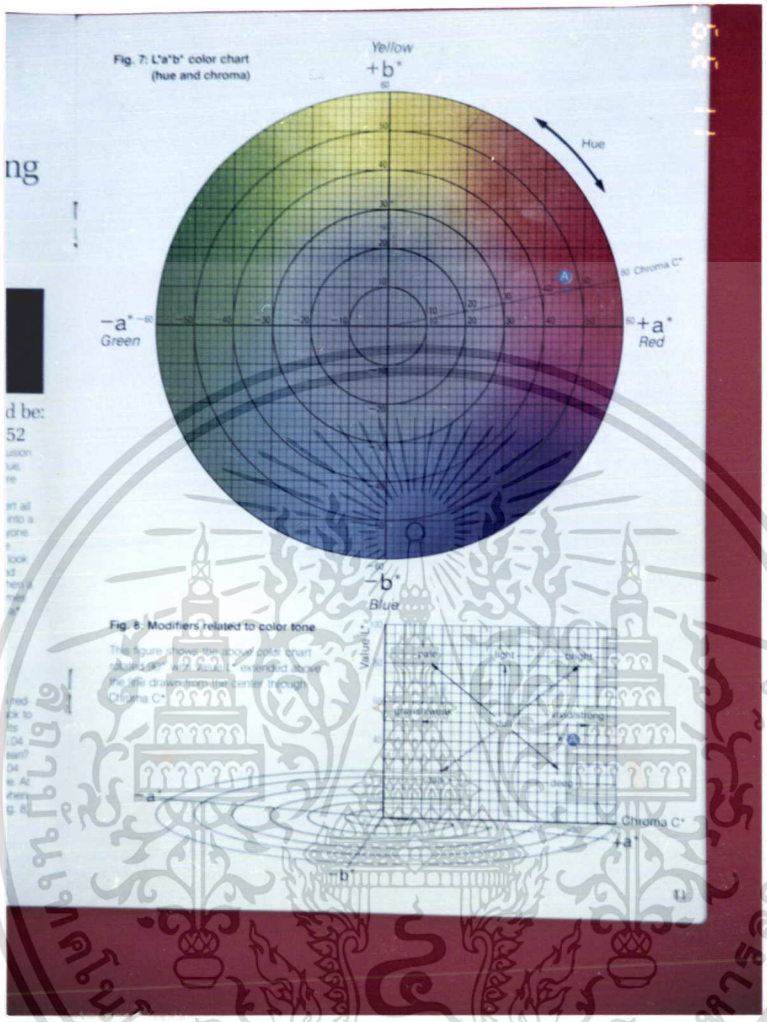
b คือสี เหลือง- น้ำเงิน

c คือค่า Chroma ซึ่งเป็นค่าที่บอกความอิ่มตัวของสี

ได้จากการคำนวณ $c = \sqrt{a^2 + b^2}$

รูปที่ 12 ภาพค่าสีในรูป Hue, Value, Chroma

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 ภาพแสดงค่าสี L*a*b* (L*a*b* color chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การอ่านค่าสีจากเครื่อง Minolta Chromameter CR200

ถ้าวัดค่าสีของแอปเปิ้ลออกมาเป็นตัวเลขได้ค่าดังนี้ L* = 42.83 ; a* = 45.05 ; b* = 9.52 อาจสรุปได้ทันทีเลยว่า สีแบ่งออกเป็น hue, value และ chroma ซึ่งต้องใช้วิธีการที่แม่นยำและถูกต้องในการวัดค่าสีเหล่านี้ เครื่อง Minolta Chromameter CR200 สามารถดัดแปลงค่าสีทั้งหมดใสพิสัยที่มนุษย์จะมองเห็นได้ออกมาเป็นตัวเลขที่เราจะเข้าใจได้เป็นสากล

เมื่อสังเกตจากรูป ซึ่งแสดงระบบค่าสี L* a* b* โดย L* คือ Value, a* และ b* คือ chroma ที่แสดงถึงแกนสี 2 แกน โดย a* แทน แกนสีแดง - เขียว และ b* แทน แกนสีเหลือง - น้ำเงิน

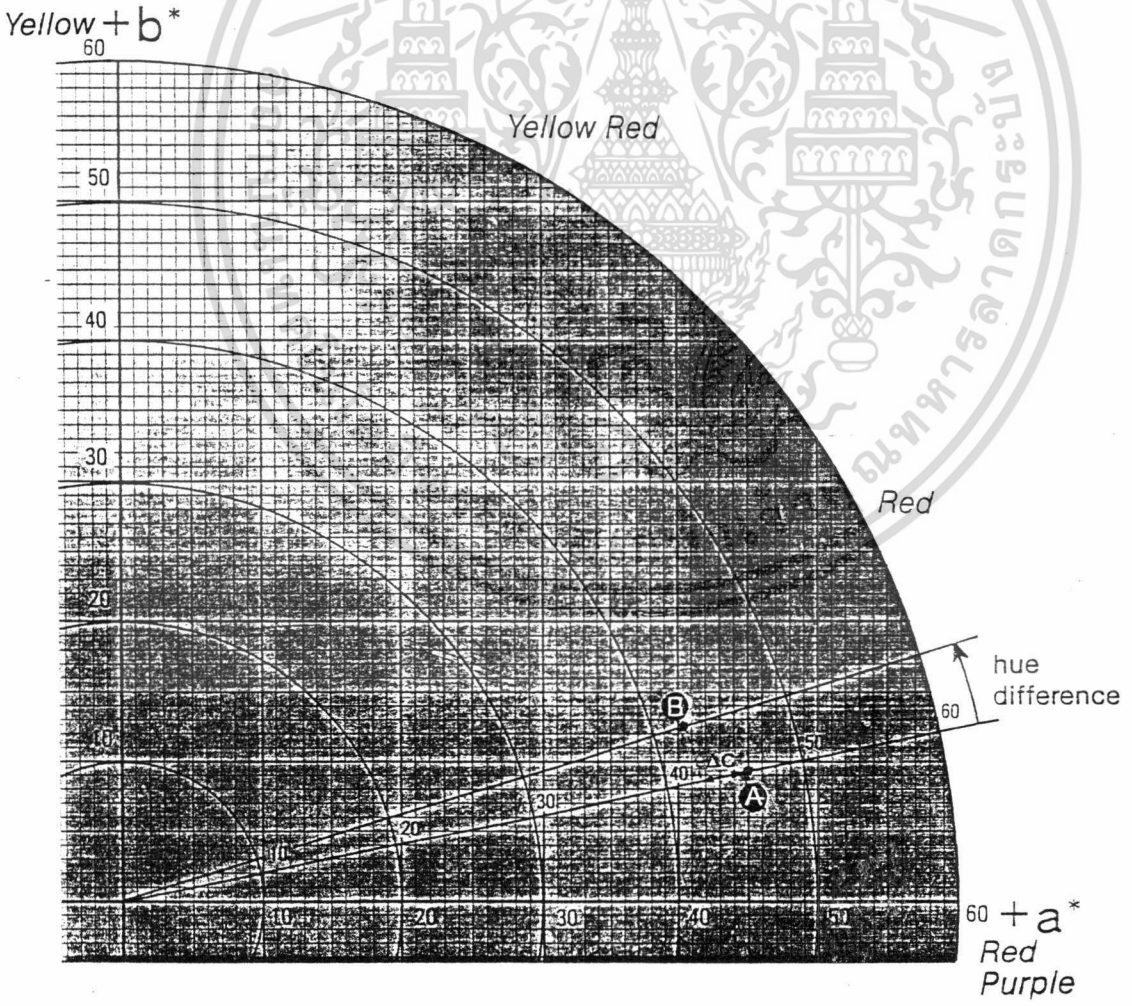
เมื่อวัดค่าสีได้ค่าออกมาตามค่าข้างต้น เราสามารถบอกได้ว่าตัวเลขเหล่านั้นบอกอะไรกับเรา จากภาพที่ จุดตัดกันของค่า a* และ b* ได้จุด A เป็นจุดที่บอกสีของแอปเปิ้ลลูกนี้ ขณะเดียวกันเมื่อมีค่า chroma (c*) เพิ่มขึ้นซึ่งได้จากสมการ $\sqrt{a^2 + b^2}$ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างแกนของค่า chroma และ value ดังจะเห็นได้ในรูปที่ จะได้ค่าสีของแอปเปิ้ล คือ vivid red purple โดยดูได้จากรูปที่ 16 ในภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

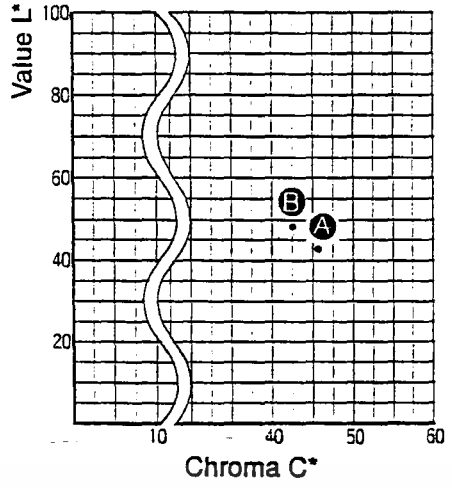
การอ่านความแตกต่างของค่าสีระหว่างสีเดียวกัน

การแสดงออกของตัวเลขที่แตกต่างกัน ตัวเลขของสีที่ออกมาแตกต่างกันนี่ก็คือ สีที่แตกต่างกัน การอ่านค่าตัวเลขระหว่างสีสองสีที่ใกล้เคียงกัน เช่น แอปเปิ้ล 2 ลูกที่มีค่าสีที่วัดโดยการใช้เครื่อง Minolta Chromameter CR200 L* = 42.83 ; a* = 45.05 ; b* = 9.52 และอีกลูกมีค่าสีเท่ากับ L* = 48.65 ; a* = 40.53 ; b* = 12.32 เมื่อสีถูกวิเคราะห์ออกมาด้วยระบบดิจิตอล สามารถแยกแยะได้ว่าสีเดียวกันเรียกว่า corler differentials เมื่อมาหาจุดตัดของค่า a และ b ของแอปเปิ้ลทั้ง 2 ลูก โดยที่จุด A แสดงสีของแอปเปิ้ลลูกที่ 1 และจุด B แสดงสีของลูกที่ 2 จะเห็นได้ว่าที่จุด B จะมีสีแดงมากกว่าจุด A หากพิจารณาค่า chroma c* และ Δc^* จะเห็นได้ว่าจุด B มีค่าต่ำกว่า เช่นเดียวกันหากพิจารณาในรูปที่ 10 จะสังเกตเห็นค่า Value ของ B มีสัดส่วนสูงกว่าที่จุด A และถ้าค่าสีที่จุด B นี้วัดออกมาได้ จะเห็นว่าเป็นสีจางกว่า ถ้าพูดโดยทั่วไปแล้วเรียกว่าสีแดงซีด (slightly pale red)

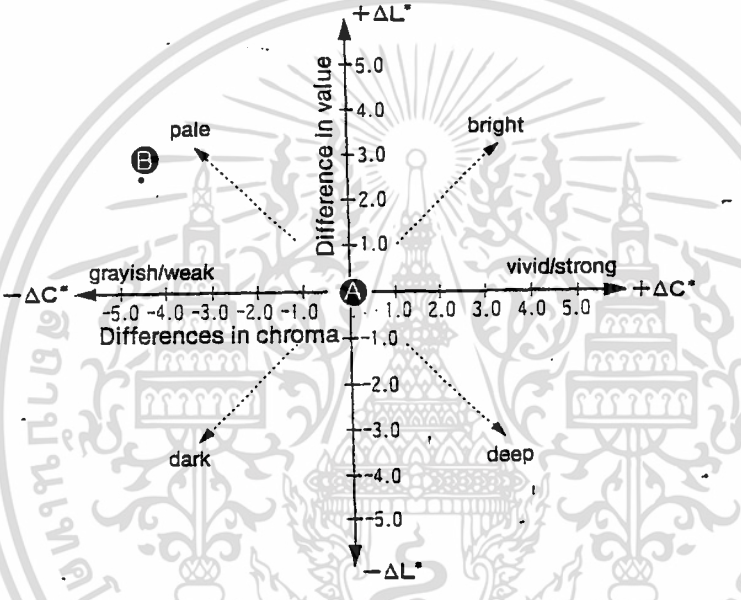


รูปที่ 14 ภาพแสดงค่าสี L*a*b* (ขยายจากรูปที่ 13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 ภาพแสดงโทนสี (Color tone Chart :Value and chroma)



รูปที่ 16 ภาพแสดงความแตกต่างของโทนสี

(Color tone :Value and chroma: tone differentces)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การแปลงค่าสีจากระบบ Lab เป็นระบบ MUNSELL

วิธีการนี้ดูรูป 17 และตารางที่ 17 จะสังเกตเห็นว่าการเปลี่ยนรหัส Lab และระบบ MUNSELL มีความสัมพันธ์กัน จะเห็นได้จากแอปเปิ้ล A ในภาคผนวก ข ซึ่งในรูปที่ 15 เป็นการผสมกันของรูปที่ 16 และสีในระบบMUNSELL สามารถเปลี่ยนค่าสีของแอปเปิ้ล A ไปยังระบบ MUNSELL ซึ่งสามารถวัดได้เท่ากับ L* = 42.83 ; a* = 45.05 ; b* = 9.52 ; c* = 46.04

1. กำหนดจุดตัดของ a* = 45.04 และ b* = 9.52 ดังในรูปที่ 16
2. เนื่องจาก L* = 42.83 เป็นค่า value ใน circle ที่ 2 ให้วาดเส้นจากจุดศูนย์กลางไปยังจุดตัดของ a* และ b*
3. เมื่อมองไปยังจุดซึ่งเส้นตัดกันที่ value circle 2 จะเห็นว่าเส้น hue แสดงถึง MUNSELL notation ของ 10RP (ถ้าวาดเส้นมาตัดกันที่ value circle 2 ระหว่างเส้น hue 2 เส้น จะใช้เส้นที่ใกล้ที่สุด)
4. เนื่องจาก c* = 46.04 ซึ่งหมายถึงคอลัมภ์ของ RP hue ในตารางที่ 1 และตำแหน่งของตัวเลขที่ใกล้ที่สุดกับ chroma ในกรณีนี้จะมีค่าเท่ากับ 44 ดังนั้น เมื่ออ่านค่าในตารางจะได้ค่า MUNSELL notation คือ 10

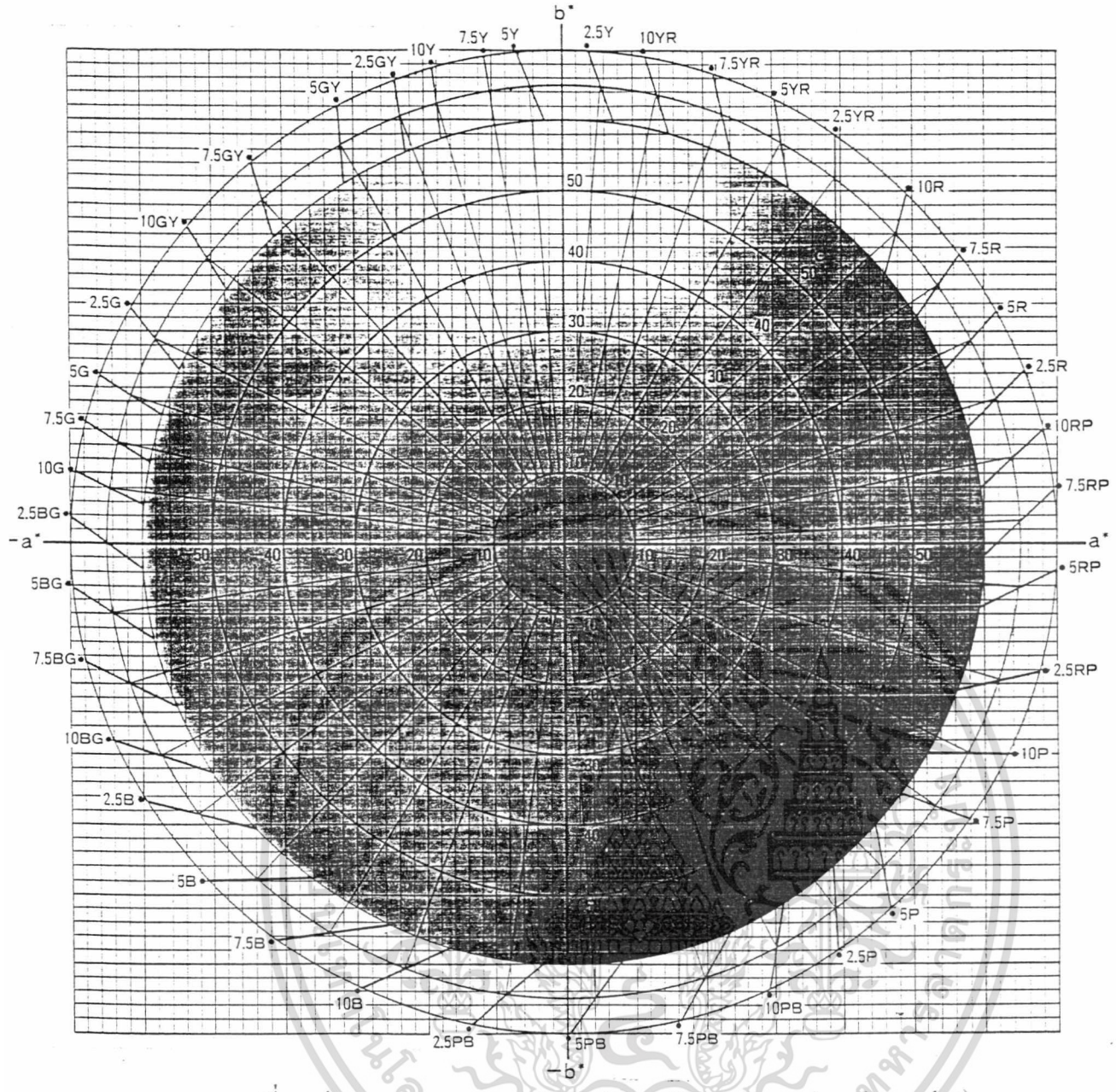
จากการหาค่าจะได้ค่าดังนี้ : hue = 10RP ; value = 4 และ chroma = 10 ซึ่ง MUNSELL notation จะเท่ากับ 10RP 4/10

ต่อไปก็คือการแปลงค่าสีในแอปเปิ้ล B ซึ่งวัดได้เท่ากับ L* = 48.65 ; a* = 40.53 ; b* = 12.32 ; c* = 42.36

1. กำหนดจุดตัดของ a* = 40.53 และ b* = 12.32 ดังในรูปที่ 17
2. เนื่องจาก L* = 48.95 (ประมาณ 50) เป็น value circle 2 ให้วาดเส้นจากศูนย์กลางไปยังจุดตัด a* และ b*
3. เมื่อมองจากจุดนี้ จะเห็นได้ว่าเส้น hue แสดงถึง MUNSELL notation ของ 2.5R
4. เนื่องจาก chroma c* = 42.36 แสดงถึงคอลัมภ์ R ในตารางที่ 1 และตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดของรูปไปยัง chroma ในกรณีนี้ คอลัมภ์ทางซ้ายจะมีค่า 37 กับ 46 และ MUNSELL notation เท่ากับ 9

จากการหาค่าของแอปเปิ้ล B ได้ค่าดังนี้ : hue = 9RP ; value = 5 และ chroma = 9 ซึ่ง MUNSELL notation จะเท่ากับ 9RP 5/9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 ค่า L*a*b* และ Munsell (l*a*b* and Munsell notations: hue, value)

ตารางที่ 17 ค่า Munsell และ L*a*b* (Munsell (chroma c) and L*a*b* (chroma c*) notations

Munsell hue notation / L*a*b* chroma / Munsell chroma	R	YR	Y	GY	G	BG	B	PB	P	RP
1	5	7	8	7	6	5	4	4	4	4
2	9	12	15	13	11	10	9	9	9	9
3	15	17	22	22 19	16	15	13	13	13	13
4	19	22 25	29	29 25	22	20	17	17	18	18
6	27 30	34 38	42 45	43 39	34 31	28	26	26	27	26
8	37 41	46 50	56 59	58 51	45 42	38	34	34	36	35
10	46 51	57 63	70 74	73 65	56 53	51 47	44 40	41 44	45	44
12	55 62	68 76	84 88	87 77				48 55	53	51
14	64 73	79 90	98					66	62	60
16	84	94 101	109					75		

In columns with two digits, left figures are for hues 1 – 5; right figures for hues 6 – 10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ

วิธีการ

1. อุปกรณ์ในการหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำคือ Hand Refrectometer ที่สามารถวัดได้ในช่วง 0 - 32 องศาบริกซ์

2. สำหรับการเตรียมหาองศาบริกซ์ในเนื้อผลไม้ นำเนื้อผลไม้มาชั่งน้ำหนักแล้วเติมน้ำเข้าไปเท่ากับน้ำหนักของผลไม้ บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด

3. หยดน้ำผลไม้ที่บดได้ 2 - 3 หยด ลงบน Refrectometer จากนั้นอ่านค่าองศาบริกซ์ที่ได้ หลังการทดลองทุกครั้ง ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วใช้กระดาษทิชชูเช็ดให้แห้งแล้วทำการทดลองซ้ำแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การหาความเป็นกรดเป็นด่างของผลไม้

ขั้นตอนการวัดค่าความเป็นกรด - ด่างในผลไม้และในน้ำเชื่อมโดยการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter มีขั้นตอนวัดดังนี้

1. ทำการปรับเครื่องโดยการวัด pH ของ buffer ที่มี pH เท่ากับ 7 จานั้นค่อยปรับต่อด้วย buffer ที่มี pH เท่ากับ 4
2. จุ่มหัววัดลงไปในน้ำเชื่อม หรือน้ำผลไม้ที่เตรียมไว้โดยนำไปบดรวมกับน้ำ
3. อ่านค่าตัวเลข pH ที่คงที่ บันทึกข้อมูลไว้แล้วทำการทดลองซ้ำ นำค่าที่ได้ไปเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

คุณค่าทางโภชนาการของกล้วย

สารอาหารจากกล้วยที่มีประโยชน์ต่อร่างกายส่วนใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่ ซึ่งกองโภชนาการกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ครั้งล่าสุดเมื่อกรกฎาคม พ.ศ.2530 นี้เอง ปรากฏดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 18 แสดงปริมาณส่วนประกอบคุณค่าอาหารของกล้วยชนิดต่างๆในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

ชนิดของกล้วย ปริมาณสารอาหาร	กล้วยน้ำว้า	กล้วยไข่	กล้วยหอมทอง	กล้วยเล็บมือนาง	กล้วยหักมุก
พลังงานเป็นกิโลแคลอรี่	122	145	131	81	112
โปรตีนเป็นกรัม	1.2	1.5	1.0	1.8	1.2
คาร์โบไฮเดรตเป็นกรัม	26.1	34.4	31.4	18.0	26.3
ไขมันเป็นกรัม	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
วิตามินต่างๆ					
เอ เป็นหน่วยสากล	375	633	132	133	116
บีหนึ่ง เป็นมิลลิกริมม	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04
บีสอง เป็นมิลลิกรัม	0.04	0.09	0.03	0.04	0.1
ไนอาซิน เป็นมิลลิกรัม	0.6	1.4	1.0	0.6	0.8
ซี เป็นมิลลิกรัม	14	16	7	8	16
เกลือแร่เป็นมิลลิกรัม					
แคลเซียม	12	24	26	10	18
ฟอสฟอรัส	32	22	46	24	22
เหล็ก	0.8	0.5	0.6	1.3	0.4
น้ำเป็นกรัม	71.6	62.8	66.3	79.2	71.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

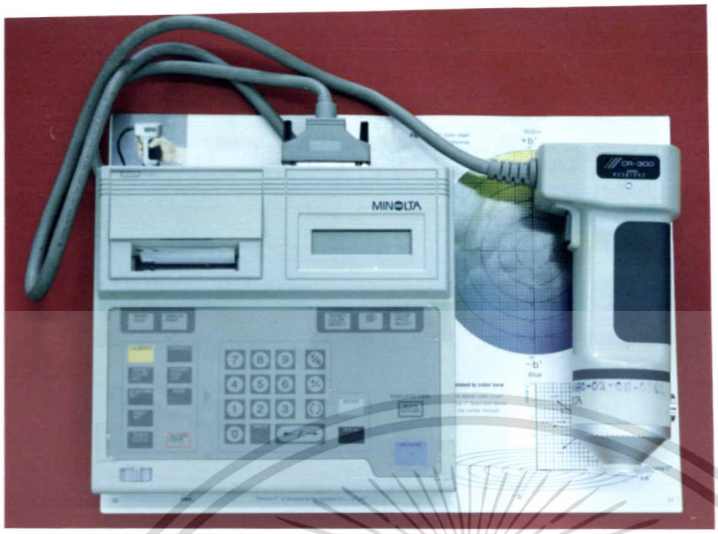
ตารางที่ 19 แสดงส่วนประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีนในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

กล้วย โปรตีนเป็นกรัมและกรดอะมิโน	กล้วยน้ำว้า	กล้วยไข่	นมแม่	ไข่
โปรตีน	1.0	1.6	1.0	13.3
กรดอะมิโนทั้งหมด	596	1169	1111	8533
กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมด	216	514	522	4020
ไอโซลูซิน	28	55	64	465
ลูซิน	45	96	108	707
ไลซิน	36	97	83	631
กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบทั้งหมด	12	21	36	489
เมทิโอนิน	3	9	16	243
ซิสตีน	9	12	20	246
กรดอะมิโนที่มีสูตรโครงสร้างเป็นวง	49	115	84	694
เฟนิลอลานิน	30	52	43	402
ไทโรซิน	19	63	41	292
ทรีโอนิน	36	50	63	357
ทริพโตเฟน	18	26	25	193
วาลิน	37	54	59	484
กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น				
อาร์จินิน	31	71	49	626
ฮิสติดีน	31	159	30	192
อลานิน	35	52	43	410
กรดแอสปาติค	69	103	102	1037
กรดกลูตามิค	66	113	189	1087
ไกลซีน	34	54	27	245
โปรลิน	31	47	94	312
ซีรีน	38	56	55	604
กรดอะมิโนที่มีน้อยที่สุด	S-c*	S-c*	S-c*	-

S-c* = กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ



รูปที่ 18 เครื่องมือวัดค่าสี Minolta Chromameter CR200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายทศพร วงศ์เกษม เกิดเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2516 ที่จ.เชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน ฝางชนูปถัมภ์ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางสาวนริศรา ตันวิรัช เกิดเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2520 ที่จ.ภูเก็ต ศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนีย์) จ.กรุงเทพมหานคร จนถึงชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พร้อมกับสอบเทียบได้ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 ได้ในปีพ.ศ. 2535 และสำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้